

No ar: Carro voador como máquina autônoma sem emissão em análise de viabilidade

MAGALY PRADO^I

GUSTAVO GALBIATTI^{II}

É UM PÁSSARO? É um avião? Não, é um carro voador! O *hype* da simbiose humano-tecnologia é o carro voador autônomo, dentro de um espectro de tecnologia disruptiva no transporte urbano. A proposta é refletir diante da linha do tempo das últimas décadas a difícil empreitada para o lançamento de algo que não é carro, nem é avião, mas tenta ser uma mistura eficiente dos dois. O objetivo deste estudo é analisar a confiabilidade, o impacto sobre segurança aérea e tentar esclarecer dois pontos cruciais: a questão da autonomia e a alardeada emissão zero. O método adotado foi entrevistar engenheiros especialistas. O maior problema levantado é: quanto custarão os esforços para desenvolver, produzir e sustentar essas tecnologias em relação ao retorno financeiro desses?

Assim, elencamos alguns dos motivos de comparação entre os helicópteros (sabendo do seu alto custo energético) e o eVTOL – modelo, se considerarmos uma licença poética, adotaremos essa denominação informal, de “carro voador”, cujo “e” refere-se à propulsão elétrica, e VTOL a pouso e decolagem vertical (do inglês *Vertical Take-Off and Landing*). Nesse caso, são desnecessárias pistas longas para decolagem ou para pouso.

Do ponto de vista do marketing da inovação, é preciso estar na onda do elétrico. Já podemos almejar o autônomo, ou ao menos, controlado remotamente. No entanto, como tudo gira na esfera do negócio, outra questão aparece: qual seria a vantagem dessa tecnologia se o custo de um piloto no comando encarecesse tal aquisição?

É fácil dizer que é preciso implementar tecnologia em tudo que imaginamos. Muito porque ela existe, obviamente. Ouvimos, de forma recorrente, dizerem que deveríamos ter máquinas ocupando os lugares dos humanos. Mesmo que o *input* inicial seja nosso, poderíamos estar convivendo com elas mais amiúde. Então por que ainda não estamos? Fomos à Lua em 1969, só para ficar em um único contundente exemplo.

Carro voador ou qualquer outro veículo verdadeiramente autônomo provoca controvérsia. “Fazer carros-robôs que podem dirigir com mais segurança do que as pessoas é imensamente difícil porque os sistemas de software autônomos simplesmente não têm a capacidade dos humanos de prever e avaliar riscos rapidamente”, é o que dizem Nick Carey e Paul Lienert (2022), da Reuters. Sendo assim, para alguns, “a ideia de que os supervisores humanos podem estar aqui para ficar, levanta mais dúvidas sobre a tecnologia”.

Os avanços tecnológicos levarão os eVTOLs para mais perto da autonomia total? Calvin Trubiene, engenheiro aeroespacial pela Universidade Federal do ABC, que trabalha na área da Segurança Operacional, da Gol Linhas Aéreas e tem uma *startup* que lançou um satélite ao espaço com a SpaceX neste ano, nos explica em entrevista exclusiva para este artigo: “Trarão desde a novidade da eletrificação até a necessidade de um novo sistema de controle do tráfego aéreo. Dentro de um espaço aéreo urbano, é projetada a operação simultânea de dezenas de eVTOLs e drones de entregas, em adição ao ecossistema existente de aeronaves”, lembrando que os drones não são só de entregas, mas de serviços em geral, por exemplo, para monitoramento de eventos, multidões, busca e resgate, segurança etc. Para o controle eficaz e ágil, Trubiene informa, na mesma entrevista, que “novos sistemas digitais serão necessários para a segurança operacional. Por conta destes novos sistemas de gerenciamento, é previsto o desenvolvimento e estabelecimento do Urban Air Traffic Management – UATM [Gestão de Tráfego Aéreo Urbano], que será base para o futuro das aeronaves autônomas. No Brasil, a empresa Atech, do grupo Embraer, está desenvolvendo um sistema de controle para UATM”.

Em que medida os algoritmos de inteligência artificial estarão no cerne do carro voador autônomo? Trubiene responde que “os equipamentos dos eVTOLs que estão sendo certificados neste momento possuirão alta tecnologia para suporte à tomada de decisão dos pilotos. Para os eVTOLs autônomos em desenvolvimento, como o Wisk Aero, eles possuirão sistemas de inteligência artificial para a melhoria contínua do conceito de *fully autonomous self-flying* [voo autônomo totalmente autônomo]” e complementa: “A inteligência artificial e o *machine learning* [aprendizado de máquina] podem, por exemplo, contribuir para uma otimização e segurança ao longo de uma rota possivelmente impactada pela projeção de condições meteorológicas críticas”.

Carey e Lienert (2022) constatam que “a premissa central dos veículos autônomos – que computadores e inteligência artificial reduzirão drasticamente os acidentes causados por erro humano – tem impulsionado grande parte da pesquisa e investimento”. A inteligência artificial pode trabalhar os recursos de detecção e a prevenção de acidentes. Assim, o momento cultural e tecnológico seriam os propulsores desse *hype*. Esse investimento vem junto de implementações tecnológicas recentes como os veículos autônomos, seja com uma alta automatização e apoio de um humano em um regime híbrido, seja de maneira

totalmente guiada por uma inteligência artificial (Pan; Alouini, 2021).

Contudo, como não são construídas aeronaves em larga escala para todo e qualquer mortal, além da questão explicitamente comercial, na qual ainda não mostra proveito – falta determinar especificamente quem se responsabiliza pela segurança das atuações dessas máquinas. Por mais que os humanos simulem (por meio de suas experiências) e armazenem todo tipo de situação que pode vir a acontecer (infelizmente nem todas são previsíveis) para que a máquina trabalhe sozinha, sempre haverá a necessidade de tomada de decisão rigorosa, que analise não só medidas para lidar/conter as consequências de um erro, mas também para evitar situações em que ele possa ocorrer. Pode-se dizer até que, seria necessária certa dose de jogo de cintura, intuição ou mesmo criatividade da máquina. Da máquina? Elas ainda não têm essas destrezas. Contando ainda que tudo precisa ser definido em questões de segundos pelo constructo lógico do pensamento, em situações inesperadas, um segundo é o tempo suficiente para uma fatalidade.

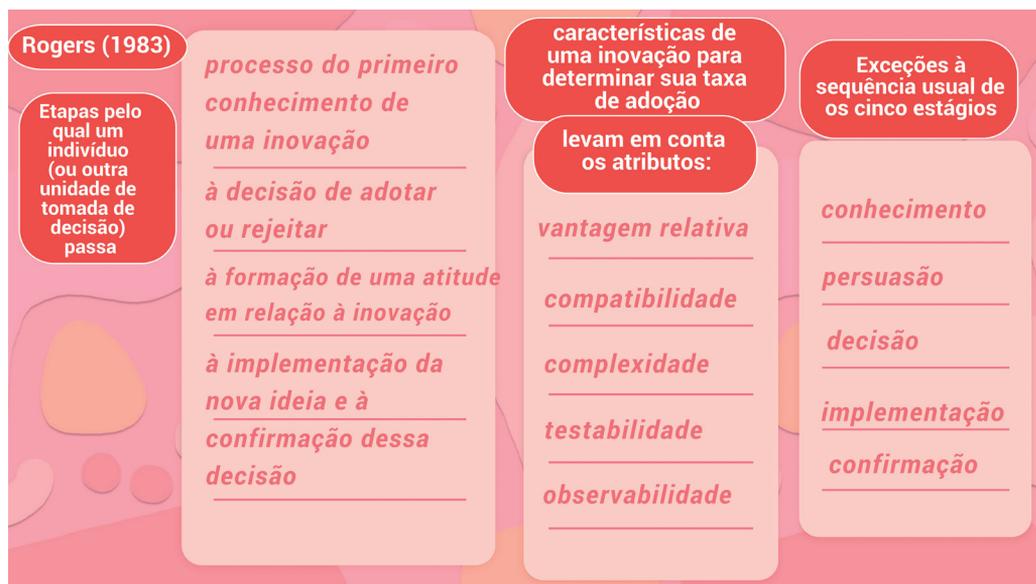
Todavia, se fosse apenas a rapidez em que é preciso desviar de obstáculos, em princípio essa não seria um problema, pois um dos fortes atributos das máquinas é agir com velocidade. Entretanto, não basta ter informação se a máquina não tiver discernimento para as soluções que acarretem num nível de clareza e faculdade intelectual que permita julgamento para detectar qual é a melhor opção para todos, pois foge da alçada das máquinas. Para exemplificar: não é raro no andamento de uma navegação descobrir um contratempo meteorológico – raios, neve, chuva ou areia –, que pode provocar uma situação difícil para pilotar.

Nova tecnologia em substituição a uma velha tecnologia

Na literatura de estudos de inovação, é possível lançar mão da teoria de difusão de inovações, elaborada por Everett M. Rogers (1931-2004), quando o processo pelo qual uma inovação, ao longo dos tempos, é comunicada através de determinados canais, entre os membros de um sistema social (1983). Conforme Bronwyn Hall (2004, p.2), “A contribuição da inovação e das novas tecnologias para o crescimento econômico e o bem-estar é amplamente determinada pela taxa e maneira pela qual as inovações se difundem pela população relevante, mas esse tópico tem sido um tanto negligenciado na economia da inovação”.

Rogers, citado por Ferreira, Ruffoni e Carvalho (2018, p.178), define, ainda, que em uma economia trata-se de um processo pelo qual indivíduos e empresas adotam uma nova tecnologia ou substituem uma velha tecnologia por uma nova. Nesse sentido, é ressaltado que a massificação do consumo de determinados produtos em detrimento de outros foi questionada inicialmente por Gabriel Tarde (apud Ferreira; Ruffoni; Carvalho, 2018), quando indagou qual seria o motivo pelo qual algumas inovações se massificam pela sociedade e outras são esquecidas. Em outras palavras, o que determinaria a difusão de um novo produto/tecnologia na sociedade?

De acordo com Rogers (1983), “o grau de dogmatismo é uma das explicações para o fato de que uma inovação pode ser atrativa para os inovadores e, ao mesmo tempo, ser alvo da resistência dos indivíduos mais conservadores” (apud Hernandez; Caldas, 2001, p.42), já que o dogmatismo é “a propensão a rejeitar novas ideias e é, frequentemente, citado na literatura como uma das barreiras potenciais às iniciativas às mudanças” (ibidem, p.41). Tarde propôs “como uma de suas mais fundamentais ‘leis da imitação’ que quanto mais semelhante uma inovação é àquelas ideias que já foram aceitas, mais provável é que a inovação seja adotada” (apud Rogers, 1983, p.41).



Fonte: Rogers (1983). Arte nossa

Figura 1 – Quando o estágio de decisão precede a fase de persuasão.

Na visão que remonta ao conceito de Modelo de Inovação de Negócios (*Business Innovation Model/ BMI*) – uma metodologia adaptável e que requer tentativa e erro, e não algo sólido que deva ser seguido à risca para o sucesso de um negócio –, conforme Henry Chesbrough (2010) é importante a capacidade de uma transição eficiente de um modelo de negócio para outro, assim que novos dados e experimentos são realizados. De forma similar, Jaehun Lee et al. (2019) se baseiam na definição de outros autores para delimitar ser um processo de aplicação como dependente das condições ambientais mutáveis e do surgimento de tecnologias disruptivas. Exatamente a particularidade dos eVTOLs.

Alinhada ao BMI está a estratégia do ciclo virtuoso de inteligência artificial, de Lee et al. (2019), que representa o processo de melhoria contínua, pela coleta de novos dados e experimentação, tanto ao criar produtos, quanto ao testar com novos usuários. É possível ver esse ciclo de inteligência artificial em ação nos carros autônomos onde quanto mais usuários, mais o avanço em

melhoria. Possivelmente esse conceito se repetirá para os carros voadores (controle autônomo está presente na maioria dos modelos propostos, em maior ou menor grau).

Vários autores pesquisados por Garrow, German e Leonard (2021) aplicaram o Modelo de Aceitação de Tecnologia de Davis (1989) para mostrar que a utilidade percebida e a facilidade de uso são preditoras de uso ou intenções comportamentais de ter novas tecnologias de base em veículos autônomos e elétricos.

Os mais significativos:

Estes incluem estudos de Globisch et al. (2018) e Wolff e Madlener (2019) que examinaram a aceitação de VEs [veículos elétricos] em frotas comerciais, e estudos de Panagiotopoulos e Dimitrakopoulos (2018) e Lee (et al., 2019) que examinaram a aceitação de AVs [veículos autônomos] e descobriram que além da utilidade, da facilidade de uso, da confiança, a influência social ajuda a prever as intenções comportamentais de ter ou usar AVs. Zhang, Tao (et al. 2020) estenderam o modelo para mostrar que, no início da comercialização de AV, a facilidade de uso e a utilidade ajudam a descrever a intenção de uso, mas a influência social e a confiança inicial contribuíram mais para explicar se os usuários aceitariam ou não AVs. Zhang (et al., 2019) mostraram que a confiança inicial pode ser aprimorada melhorando a utilidade percebida e reduzindo o risco de segurança percebido. Para Adnan (et al., 2018b), Khastgir (et al., 2018) e Xu, Zhang (et al. 2018) a confiança é importante para a aceitação de AVs e a experiência com AVs pode aumentar a confiança, além de fornecer conhecimento sobre as verdadeiras capacidades e limitações do sistema AV. Du et al. (2019) descobriram que as informações sobre AVs fornecidas aos entrevistados antes de participarem de um experimento de simulador de direção ajudaram a aumentar a confiança e a preferência por AVs. Wang et al. (2018a e 2018b) usaram o modelo estendido para mostrar que a falta de conhecimento e percepção de risco dos consumidores podem ser barreiras para a aceitação de VEs. (Garrow; German; Leonard, 2021, p.13)

Se determinada tecnologia não foi ainda empregada, pode-se constatar que não era o momento (cultural e histórico) para ser utilizada ou mesmo porque faltou iniciativa ou criatividade em aplicá-la.

No caso de eVTOLs, ser pioneiro significa investir recursos e tempo para auxiliar a homologação de todos os entraves burocráticos (necessários), principalmente os de certificação – afinal, precisamos de máxima segurança para entrar em veículos que sobem aos céus. Tanto por isso, que acabam deixando os humanos em suas posições, dominando a situação.

Sobre a aeronavegabilidade do tráfego aéreo, trouxemos os estudos de Lineberger, Hussain e Rutgers (2019) para a empresa Deloitte, em que realizaram uma pesquisa com cerca de 10 mil indivíduos representando as regiões Estados

Unidos, Canadá, Reino Unido, França, China, Japão e Austrália e descobriram que “quase metade dos entrevistados considerava os veículos UAM [*Urban Air Mobility*] autônomos como uma solução potencialmente viável para o congestionamento das estradas, mas 80% tinham preocupações com segurança”. Afinal, Tarde (apud Ferreira; Ruffoni; Carvalho, 2018) identificou a adoção ou rejeição das inovações como uma questão crucial de pesquisa.

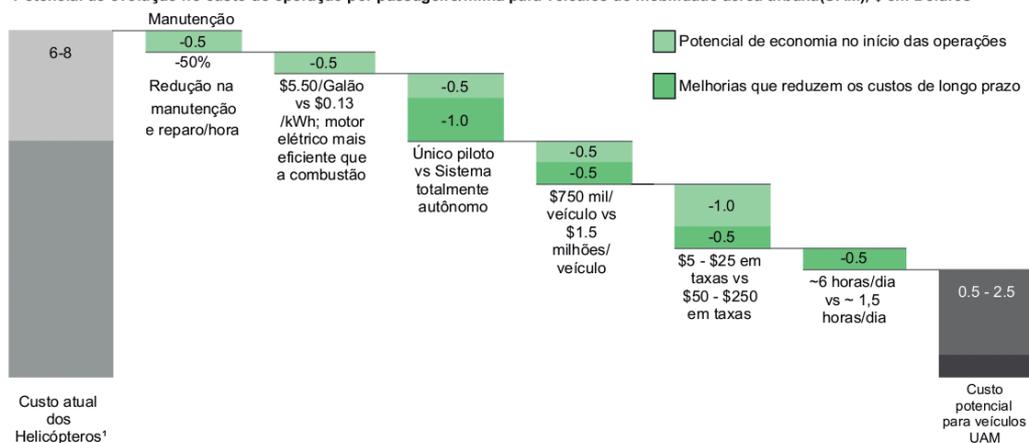
Ao cabo, máquinas quebram, dão *tilt*, desligam do nada; enfim, erram. Assim como os humanos, que vez ou outra dão problema (derrame, câibra, cegueira temporária). Tanto que, nos aviões, os pilotos trabalham em dupla; mas na ocorrência de falha quanto a julgamento, para entendimento de uma situação, ainda somos superiores às máquinas. Além disso, máquinas são atacadas por *hackers*.

Os custos de operação e sustentação terão o papel em tornar ou não viáveis os carros voadores

De nada adianta, contudo, lamentar que não temos ainda carros voadores autônomos, aviões sem pilotos (o tempo todo do voo) etc. Podemos ter. Existe tecnologia para tanto. Foguetes são lançados sozinhos, como outro exemplo categórico. Só não vão para o espaço com mais frequência, obviamente, pelos custos envolvidos.

Custos operacionais devem reduzir para veículos de mobilidade aérea urbana

Potencial de evolução no custo de operação por passageiro/milha para veículos de mobilidade aérea urbana(UAM), \$ em Dólares



1 - Custo atual varia por diversos fatores, incluindo número de passageiros e modelo de helicóptero

Fonte: Johnston, Riedel e Sahdev (2020). Arte, tradução e adaptação nossa.

Figura 2 – Estimativa de custos operacionais.

Como vimos, um dos motivos que emperram a adoção imediata de um carro voador é o custo; por um lado, a não existência de um helicóptero barato se dá em razão da alta precisão de peças e manutenção associada, pois o risco é grande (para tripulantes e para pedestres); se fosse possível produzir algo que possa falhar sem gerar risco, o preço poderia baratear com economia no rigor

da contingência (qualidade das peças, testagem, manutenção, certificações e outros, ou seja, tudo o que uma aeronave precisa ter), a potência/velocidade, capacidade de viagem para longas distâncias e outros detalhes técnicos e de desempenho particular de cada modelo também influenciam; e, por outro lado, exige análise profunda.

	Helicóptero	Aeronave eVTOL
Esquema da aeronave	 <p>Rotor principal</p> <p>Rotor traseiro*</p>	 <p>Rotores</p>
Rotor	<ul style="list-style-type: none"> • Um Rotor principal • Junto de rotor na calda 	<ul style="list-style-type: none"> • Múltiplos rotores pequenos • Sem rotor na calda**
Origem da energia para os motor(es)	Motor principal	Motores individuais
Fonte de energia	Combustível	<ul style="list-style-type: none"> • Apenas baterias • Combinação de baterias e gerador de turbina a gás
Alcance de voo***	Aproximadamente 600 – 800 km	Aproximadamente dezenas de km – 300 km
Capacidade de passageiros***	No máximo 15	Aproximadamente de 5 (máximo)
Tamanho da área pista decolagem e aterrissagem***	Maior do que o comprimento e a largura da aeronave	-

Notas:
 *Pelo fato da aeronave buscar rotacionar na direção oposta do rotor principal, o rotor de calda produz uma força que cancela essa rotação
 **Devido ao eVTOL ser equipado com rotores que rotacionam tanto em sentido horário quanto anti-horário, a força de rotação oposto é nula.
 *** Devido a muitas variações entre modelos, as figuras são para referência apenas.

Fonte: Kinjo (2018). Adaptação da arte e tradução nossa.

Figura 3 – Comparação de helicópteros *versus* eVTOL.

“O ecossistema para o transporte aéreo não tripulado é vasto, com fabricantes aeroespaciais, empresas de caronas e startups de tecnologia, todos atuando neste espaço”, dizem os pesquisadores da Deloitte (Lineberger; Hussain; Rutgers, 2019), e alertam: “Desenvolvimentos na arena de eVTOL apontam para interrupção iminente para fabricantes de helicópteros, que provavelmente precisarão repensar seus modelos de negócios”.

Um motor elétrico elimina um complicado mecanismo de rotação a combustão e junto de seu sistema de alimentação a combustível, portanto, espera-se que com essa remoção (motor a combustão), simplifique a estrutura da aeronave e reduza os custos de manutenção. Diz-se que o custo de manutenção de um helicóptero é de aproximadamente 60% do seu custo de operação, mas supõe-se que o custo de manutenção de um eVTOL pode ser reduzido para aproximadamente 20% do custo de operação. (Kinjo, 2018, p.3)

No entanto, para uma comparação de modelos, consultamos o relatório de Kenneth I. Swartz (2017) “Charging Forward New eVTOL Concepts Advance”, no qual ressalta pontos comparativos relevantes alinhados com os resultados de autores acadêmicos – especialmente, com relação a parte das vantagens de rotores elétricos – como os estudos de Ahmed et al. (2020), mostrando uma sinergia entre os reais avanços e as expectativas realizadas.

No sentido de pontuar, um carro voador construído pela fabricante chinesa de veículos eletrônicos Xpeng Inc. fez seu primeiro voo público em outubro de 2022, em Dubai, nos Emirados Árabes Unidos. Segundo consta em sua apresentação, não produz emissões de dióxido de carbono durante o voo, assim busca o transporte urbano verde. Servirá para futuros voos de baixa altitude em viagens urbanas de curta distância, como passeios turísticos e transporte médico. Para reduzir o peso, o Xpeng X2 possui uma estrutura em fibra de carbono. “Com um sistema de controle de voo inteligente e capacidades de voo autônomo”, como informa Abdelhadi Ramahi (2022), da agência de notícias Reuters, o X2, com capacidade para dois lugares, é uma aeronave eVTOL “levantada por oito hélices. O voo de teste não tripulado de 90 segundos foi descrito pela fabricante, como uma base importante para a próxima geração de carros voadores”. A seguir a imagem de outro modelo, um multirrotor, o Xiaopeng Huitian X3, com visual de carro convencional, suas hélices são retráteis e pode rodar nas estradas e ruas. O protótipo de teste pesando duas toneladas fez o primeiro voo em junho de 2022.



Foto: Divulgação/Autohome e CityHawk, o eVTOL que será movido a hidrogênio. Montagem nossa.

Figura 4 – Xiaopeng Huitian X3.

Tabela 1 – Alguns dos modelos

Empresas	Alguns dos envolvidos	Modelo	Alcance (km)	N.º de rotores vert. + horiz.	Lugares	Propulsão/ categoria	Link
Embraer / EVE (Brasil)	Nautilus Aviation (Austrália)	EVE V3	100	10	4	Lift + Cruise (sustentação + cruzeiro)	https://eveair-mobility.com/
Honda (Japão)	-	-	400	8	4	Multicopter	https://global.honda/newsroom/news/2021/c210930beng.html?from=message_area
Lilium Air Mobility (Alemanha)	Azul (Brasil)	Lilium Jet	250	36	7	Vectored thrust (empuxo vetorial)	www.lilium.com
Vertical Aerospace Ltd (Estados Unidos)	Gol (Brasil), America Airlines (Estados Unidos)	VA-X4	160	8	4	Vectored thrust	https://vertical-aerospace.com/vx4/
Supernal (Estados Unidos)	Hyundai (Coreia do Sul)	(S – A1)	100	12	4	Lift + Cruise	https://supernal.aero/
Airbus	Munich Airport (Alemanha)	CityAirbus	80	8	4	Lift + Cruise	https://www.airbus.com/en/innovation/zero-emission/urban-air-mobility/cityairbus-nextgen
Volocopter (Alemanha)	Mercedes-Benz (Alemanha)	Volocity	35	18	2	Multicopter	www.volocopter.com
Xpeng (China)	Dubai International Chamber (Emirados Árabes)	Voyager X2	60*	8	2	Multicopter	www.aeroht.com
Xpeng (China)		Xiaopeng Huitian X3		8			www.aeroht.com
Urban Aeronautics	Universal Avionics (Estados Unidos)	CityHawk	150	2			www.urba-naero.com
Joby Aviation	Toyota (Japão), U.S. Army (Estados Unidos)	Joby S4	241	6	4	Lift + Cruise	www.jobyaviation.com

Fonte: Produção da tabela nossa.

Seria um design favorito para um avanço sustentável ou ecologicamente correto?

A abordagem mais incentivada é a voltada para energias limpas ou não poluentes, por ser uma preocupação do mercado, tornando os eVTOLs um candidato em potencial para locomoção sustentável, podendo superar a eficiência energética de carros movidos à combustão (Kasliwal et al., 2019). É preciso boa dose de ceticismo quanto às possibilidades de um veículo puramente elétrico (Johnston; Riedel; Sahdev, 2021), o que pode não atender a necessidades específicas de alguns setores/atividades como ambulâncias, entregas rurais, viaturas policiais etc.

Para demarcarmos o uso do hidrogênio, o exemplo é a CityHawk, da Urban Aeronautics, de Israel, aeronave elétrica com várias pilhas de células de combustível de hidrogênio para geração de energia limpa, que geram eletricidade e emitem apenas calor e água, com potencial para zero emissões de carbono. É uma combinação de *design* compacto, do tamanho de um carro para quatro passageiros, sem rotores ou asas expostas. De início movido a combustível de aviação, mas vem sendo desenvolvido para converter em hidrogênio líquido e, eventualmente, em hidrogênio comprimido, desde que essas opções se tornem comercialmente viáveis. É projetado para atingir essas qualidades, atendendo aos critérios de design que são a base para uma eventual certificação FAA/EASA, conforme informações do site urbanaero.com.

Embora o CityHawk seja inicialmente pilotado por um piloto humano, os sistemas de controle e gerenciamento de voo do veículo “serão capazes de um alto grau de autonomia desde o início. A tecnologia está sendo desenvolvida e testada no protótipo Cormorant da Tactical Robotics, que já voa de forma totalmente autônoma. À medida em que a tecnologia de autonomia e infraestrutura regulatória amadurecem, o CityHawk eventualmente transportará passageiros de forma robótica” (urbanaero.com).

Garrow, German e Leonard (2021, p.2) constatarem que “dadas as limitações atuais da bateria de eVTOLs, grande parte da pesquisa até o momento concentrou-se em viagens intraurbanas ou urbanas”, tanto que “à medida que as tecnologias de baterias avançam, as aeronaves eVTOLs poderão voar em missões mais longas”. Há uma “falta de convergência em projetos e modelos de negócios subjacentes” imaginados pela comunidade eVTOL (ibidem): “A não convergência de conceitos de *design* reflete a novidade dessas tecnologias de bateria e propulsão elétrica e as incertezas sobre como essas novas tecnologias afetarão o desempenho das aeronaves”. Uma forma de reduzir esse custo de sustentação é utilizar veículos autônomos ou semiautônomos, quando se remove o custo do condutor. Não há uma conta que demonstre as vantagens em comparação aos riscos de remover o humano da posição de comando, então será que a economia de custos e o receio fazem jus ao investimento? É necessário questionar os envolvidos (governo e empresas) (ibidem).

Sem entrar em muitos detalhes quanto às decisões das manobras necessárias, no caso dos carros voadores com ou sem pilotos, pelo tráfego aéreo tão caótico quanto o terrestre, é bom frisar que não conseguimos controlá-lo a contento, imagine nas aerovias! Sabemos que tanto no julgamento rápido e preciso do que é imprescindível alterar na rota dos procedimentos quando do perigo de algo dar errado, quanto na possibilidade do controle autônomo da máquina e a do controle remoto pelo humano – nesse caso, barateando o custo do deslocamento do profissional, pois um mesmo profissional pode controlar mais de um avião ao mesmo tempo, as questões são complexas. Aliás, nesse quesito, é bom lembrar da elaboração de regulações específicas dentro do espectro burocrático.

Este sistema deve abranger a alocação e gestão do espaço aéreo bem como certificações de aeronavegabilidade. [...] Os governos nacionais precisariam trabalhar em conjunto, bem como em conjunto com municípios locais a estabelecerem um conceito operacional e estabelecer um conjunto universal de requisitos que permitiriam que os eVTOLs fossem amplamente implantados. Isso inclui garantir a interoperabilidade com o sistema globalmente de gerenciamento de tráfego aéreo existente. (Lineberger; Hussain; Rutgers, 2019, p.6)

Em posição de desvantagem, outros inconvenientes devem ser considerados e ficamos apenas com alguns registros: carros voadores devem transitar em um tráfego acima dos edifícios – onde é notório o perigo por conta de obstáculos como pássaros, drones ou um pé de vento – e seus pousos também devem ser em locais adequados, como, nas copas dos prédios, mesmo porque, em cidades não há estacionamento livre o suficiente, ou adaptados para pouso.

Então, se já existe dificuldade nesse sentido para helicópteros e para aviões de pequeno porte, o que dirá para uma frota de carros voadores. Bom frisar que, se fosse possível, os pousos certamente privilegiariam os locais centrais, conseqüentemente, lotados. De nada adiantaria estacionar longe e pegar um táxi (terrestre). No máximo um táxi aéreo, como é justo o caso da Delta Air Lines que investiu US\$ 60 milhões na empresa de eVTOL Joby Aviation, sediada na Califórnia (Estados Unidos) para oferecer aos passageiros uma experiência viajando de casa para o aeroporto.

Estado da arte dos carros voadores em céus brasileiros

O processo de desenvolvimento de uma inovação consiste em todas as decisões, atividades e os impactos que ocorrem a partir do reconhecimento de uma necessidade ou problema, por meio de pesquisa, desenvolvimento e comercialização de uma inovação, e na sequência, por meio da difusão e adoção da inovação, até às suas conseqüências (Rogers, 1983).

Vamos ver carros voadores sobrevoando o Brasil com previsão a partir de 2025. A parceria da Azul foi estabelecida com a empresa Lilium (Alemanha), que anunciou um plano para adquirir 220 eVTOLs Lilium Jet – por um montante de até US\$ 1 bilhão. A companhia aérea Gol anunciou em setembro o

acordo de intenção de compra com a empresa de *leasing* Avolon de 250 aeronaves VA-X4 eVTOL, modelo criado pela Vertical Aerospace (Reino Unido).

Como dito anteriormente, para este estudo, o método foi entrevistar profissionais da aviação, que responderam as questões em outubro de 2022. Para sanar dúvidas em certos pontos, o comandante de B737 NG e MAX Sergio Quito, bacharel em Relações Internacionais pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, nos concedeu uma entrevista exclusiva. Ele é conselheiro sênior de Segurança e Operações de Voo da GOL e chefe de implementação do projeto eVTOL, do grupo de trabalho conjunto entre Avolon e Vertical Aerospace.

Sobre a adoção de biocombustíveis com o intuito de alcançar a neutralidade de carbono, Quito explica que “Hoje as companhias aéreas têm na sua agenda ESG [*Environment, Social and Governance*, ou Meio ambiente, Social e Governança, em português], para reduzir as emissões de CO₂, o uso de combustível sustentável não fóssil chamado SAF [*Sustainable Aviation Fuel*], bem como a substituição das aeronaves atuais por outras mais tecnológicas, como é o caso dos B737-8 MAX, que são mais eficientes em um pouco mais de 15%, se compararmos com o B737-800 NG, que são aeronaves do final dos anos de 1990”.



Fonte: Divulgação.

Figura 5 – Projeção do VA-X4 da Gol.

Ao ser questionado se poderemos chamar o eVTOL um carro voador sem emissão ou emissão zero, agregando valor em termos de sustentabilidade, além de como fica a questão elétrica em termos de consumo de energia, Quito respondeu que “Em relação às aeronaves eVTOL, embora seja totalmente zero emissão de CO₂, contribuirão pouco na equação de descarbonização, uma vez que transportam apenas quatro passageiros na sua versão original. Também a matriz elétrica tem desafios de infraestrutura para equiparmos de grids [grades]

elétricos nos futuros locais de operação”. Quito nos compartilha um dado técnico: “para um Vertiporto de tamanho médio, é necessária uma capacidade média instalada de 5 a 8 megawatts, atendendo simultaneamente até 4 aparelhos; a tensão é de 800 volts e as baterias estariam plenamente carregadas em 15 minutos no trânsito (com 13 minutos, já teríamos 80% de carga)”.

A respeito da utilização do termo “carro voador”, Quito observa que “Uma aeronave eVTOL – no caso da GOL, optamos pela aeronave VX4, da britânica Vertical Aerospace – está muito mais para um avião de médio porte, medindo 15 metros de envergadura, 13 metros de comprimento e 4 metros no ponto mais alto. Pesa 3.200 quilos, sendo que só o pacote de bateria excede 800 quilos no qual mais de 10.000 células de baterias são acomodadas em oito módulos independentes, um para cada um dos rotores elétricos, que são da marca Rolls-Royce. Esse equipamento tem capacidade de operação autônoma e remota desde a sua concepção, porém a decisão da Vertical, com a qual concordamos, é ter um piloto treinado nos comandos desde o primeiro voo do protótipo, ocorrido em setembro de 2022. A tecnologia embarcada oferece uma excelente precisão de Navegação Aérea, entrando aqui outro desafio que definimos como fundamental. O Departamento de Controle do Espaço Aéreo (Decea) desenvolve soluções entregáveis em 2025 para que a evolução do voo dos eVTOL seja continuada, sem interferências externas”.

Questionado sobre a questão de o carro voador ser verdadeiramente autônomo e se o conjunto de sensores a bordo e o sistema de desvio de obstáculos serão responsáveis por isso, ou até mesmo se será híbrido ou se terá um piloto em terra, por exemplo, Quito esclareceu que “Essa tecnologia é necessária para a operação segura do eVTOL. Embora possamos afirmar que o custo de um piloto a bordo encareça o business case, temos que satisfazer um dos pilares que é a aceitação pública. Os demais seriam, a navegação aérea e a infraestrutura de pouso e decolagem, tanto do ponto de vista da experiência do cliente quanto da viabilização dos pontos de recarga”.

Para responder à pergunta que povoa a cabeça dos leigos, sobre qual a grande diferença entre um carro voador e um helicóptero, Quito é taxativo: “Os eVTOL são diferentes dos helicópteros, fundamentalmente porque são aeronaves com asas, para reduzir o consumo de energia elétrica em voo, cuja autonomia é cerca de 160 quilômetros, também diferente dos helicópteros, que [a autonomia] é maior. A capacidade de carga paga, passageiros e bagagem (540 quilos) é semelhante a um helicóptero médio, tipo um Esquilo. De qualquer forma, o custo operacional é mais baixo e o nível de ruído muitíssimo reduzido, sendo 30 vezes menor em pousos e decolagem e 100 vezes menor em cruzeiro (<45db)”.

Por fim, indagamos sobre os motivos da Gol entrar nesse mercado e por que não encomendou seus eVTOLs na Embraer. Sobre isso, Quito explicou: “A entrada da GOL nesse mercado é no sentido de dar acesso a esse tipo de transporte, típico dos helicópteros, a um custo mais baixo e que possa incluir outra

parcela dos nossos clientes, em especial, inicialmente aos clientes premium. A GOL decidiu seguir com a Vertical, pelo fato de termos parceria com a irlandesa Avolon, empresa de leasing da qual somos clientes há mais de 20 anos, e também por baixar o risco do negócio por meio de processo de leasing operacional, não necessariamente financiamento”.

Eve, a representante brasileira

A Eve – Eve Air Mobility, empresa da Embraer, formalizou o processo para a obtenção de um Certificado de Tipo para o projeto do eVTOL junto à Agência Nacional de Aviação Civil (Anac), conforme reporta Luísa Laval, do jornal *O Estado de S. Paulo*, de fevereiro de 2022. Com isso, a Eve “oficializa o compromisso de demonstrar cumprimento com os padrões técnicos internacionais e requisitos de aeronavegabilidade obrigatórios para a certificação”. A reportagem menciona um “em breve” quando traz que “com o apoio da Anac, a Eve dará continuidade às interações com as principais autoridades aeronáuticas estrangeiras, formalizando em breve o processo de validação do certificado de acordo com a sua estratégia global de negócio”. Porém, Roberto Honorato, superintendente de aeronavegabilidade da Anac, ouvido por Laval, ressalta que: “Do ponto de vista da regulação há muito trabalho a ser feito, não somente em relação à tecnologia da aeronave, mas na definição de todo ecossistema”.

Ainda no cenário dos eVTOLS, conversamos com Hudson Mura, que atua como Analista e Suporte ao Cliente na Eve Air Mobility. Ex-Comandante da Aeronáutica Brasileira e Brigadeiro do Ar, bacharel em Engenharia da Computação pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), é mestre em ciência na área de Engenharia Eletrônica e Computação.



Fonte: Embraer/Divulgação.

Figura 6 – Imagem do eVTOL, da Eve.

O lançamento do eVTOL, da Eve, é para 2026, conforme Mura, e os impedimentos identificados até agora são: “Os desafios que afetam a todos os OEM (*Original Equipment Manufacturer*, ou fabricante do equipamento original), tais como indefinições de infraestrutura, como alocação dos vertipoints, vertiports e vertihubs, malha de distribuição de energia elétrica, como também adaptações nas legislações de espaço aéreo e de certificações de tipo, de treinamento”. Mura acrescenta ainda que “Os eVTOL são disruptivos e como tal, se faz necessário um regramento jurídico para harmonizar as partes envolvidas. Os desafios são inerentes e semelhantes aos da aviação civil, com adaptações contempladas no cenário urbano tais como ruídos, privacidade das pessoas”.

Com relação à sustentabilidade dos eVTOLs depender da procedência da produção da energia, Musa exemplifica que “Os eVTOLs serão construídos para aproveitar a fonte de energia elétrica e as origens dessa fonte dependem das políticas públicas de cada país”, ou seja, mostrando a necessidade de um alinhamento político para com as energias limpas.

Ao considerar se existe algum outro motivo além da sustentabilidade para a escolha de VTOLs elétricos, em comparação com os abastecidos com combustíveis fósseis ou os híbridos, Musa explica que “O ‘moto’ [importância] da sustentabilidade tem liderado a questão da prevalência dos elétricos sobre os híbridos e os puramente à combustão. Adicionalmente, as questões envolvidas quanto à complexidade para prover infraestrutura para os modelos híbridos, bem como manutenção etc. são indicativos da preferência dos OEM pela simplicidade, comparativa e potencialmente a ser alcançada nos modelos puramente elétricos”.

Tabela 2 – Controle autônomo eVTOL X carro

Pilotar	Falha em rotores / Aterrissagem de emergência	Lidar com pássaros Vento Fila de espera para pouso
Dirigir	Pneu furado/ Parar	Lidar com pedestres Cruzamentos Semáforos Ciclistas
	Anormalidades/ Contingências	Operação normal

Fonte: Hudson Mura (2022). Arte nossa.

Vantagens e desvantagens do carro voador da Eve

Marcelo Augusto Vieira Graglia é engenheiro mecânico, mestre em Engenharia pela Unesp e doutor em Tecnologias da Inteligência e Design Digital pela PUC-SP. Tem experiência em desenvolvimento de produtos, tendo trabalhado na área de projetos mecânicos da Embraer, entre outras empresas, e liderado o desenvolvimento de uma startup de simuladores de voo. Em entrevista exclusiva, ele discorre sobre a Eve: “Trata-se de um nome provisório para a aeronave, é o nome da startup, da EmbraerX, divisão de inovação. A ideia de criar outra divisão, com atuação descolada da empresa maior, é para não frear o desenvolvimento e não deixar a burocracia emperrar modelos de inovação diferentes”.

Na questão das vantagens de um eVTOL em relação ao helicóptero, Graglia elenca que eles custam cerca de 80% mais barato que um helicóptero e, além disso, são silenciosos por serem elétricos. Segundo ele, muitas vezes, o que impede a instalação de um heliporto em determinado lugar é a vizinhança, que não aceita o barulho. “Em termos da operação das equipes de terra, um eVTOL é mais seguro porque as hélices são protegidas, ou seja, elas ficam embutidas na carenagem e não há o risco de uma hélice atingir alguém”, explica. Outra vantagem é quanto à segurança da operação: “Diferente de um helicóptero, o Eve, por exemplo, tem muitas hélices, são 8 motores; se acontece de perder um ou outro motor, a aeronave é controlada com os demais. Existe a ideia da redundância, o sistema é duplicado. Como se fosse um espelho, porque se um sistema crítico se perde, tem outro para substituir. Esse sistema está presente no Eve”. Graglia completa que, de qualquer forma, inicialmente “é de condução mais simples que a de um avião. Por exemplo, ele não é desenhado para voar à noite. Somente para voos visuais, ou seja, seguem os requisitos de normas para aviões de até nove lugares”.

Sobre a bateria ser uma restrição ao projeto da aeronave, o engenheiro comenta que “Tem a ver com a capacidade de armazenamento de energia, o que é um sistema crítico para várias tecnologias, o tamanho e o peso – movimentar o próprio peso. No caso do Eve, restringe tempo de voo para uma duração de 15 a 45 minutos (a 160 quilômetros de velocidade máxima) na fase de desenvolvimento, mas não é impeditiva”.

Conforme Graglia, é para funcionar em um sistema de integração, de mobilidade associada a outras infraestruturas de transporte (ônibus, metrô): “Os vertiportos, em cima de prédios, por exemplo, podem servir para embarque, desembarque, pequenas manutenções, recargas de bateria. A princípio, o eVTOL não está sendo feito para resolver um ponto a ponto de transporte, e sim como um taxi aéreo, a não ser que as pequenas distâncias atendam o uso pessoal”.

“Há uma expectativa de que até 2025 a aeronave esteja certificada e que uma versão autônoma esteja disponível por volta de 2030, mas isso vai depender do mercado, da aceitação do usuário envolvendo uma mudança de comportamento e daí passará a comportar seis passageiros”, informa Graglia. Para ele,

essa é uma tendência que depende de uma série de procedimentos, “assim como o carro autônomo não atingiu sua maturidade, o carro voador também passará por essa fase. Hoje o veículo autônomo já é realidade no campo (por exemplo, colheitadeiras, caminhões etc.) onde tem menos obstáculos, mas nas cidades ainda não. No começo, o espaço aéreo não estará tão adensado o que torna menos complexo fazer um planejamento de tráfego aéreo para os novos voos”.

Andre Stein, diretor executivo da Eve, corrobora e intenta que “a pilotagem da aeronave seja fácil e intuitiva. Os softwares é que devem fazer a maior parte do trabalho, precisando de poucos comandos do piloto e garantindo uma evolução fácil para a versão autônoma do ‘carro voador’. [...] A companhia trabalha para que a velocidade seja controlada pelo computador, e não pelo piloto”, conforme reportagem de Luciana Dyniewicz, do jornal *O Estado de S. Paulo*, de dezembro de 2021.

A expectativa, segundo Stein, é que a aeronave deverá ser “o mais simples possível, com peças fixas, pois isso facilita o trabalho de manutenção, tornando a operação mais barata. E como os motores serão elétricos, não emitirão gases de efeito estufa, reduzirão o barulho e ainda serão leves – isso permitirá que vários deles sejam instalados em uma única aeronave”, reporta Dyniewicz (2021).

Contudo, Ahmed et al. (2020) ressaltam que essa redução nas emissões só ocorrerá em locais onde a matriz energética possui fontes geradoras consideradas renováveis (hidrelétrica, nuclear, eólica, solar, geotérmica), em vez de combustíveis fósseis (termoelétricas).

Não entramos nas considerações acerca de tentar descobrir se as operações impactarão a rede elétrica (e se a rede pode até suportar essas operações). Conforme alerta Garrow, German e Leonard (2021, p.23), ao apontar que “dadas as informações da literatura de VE que sugerem que a rede elétrica já estará estressada ao lidar com os requisitos de carregamento de veículos elétricos em terra”, considerar em conjunto os perfis dos veículos voadores “pode ser importante para garantir que a rede elétrica possa suportar as necessidades de carregamento” de ambas as possibilidades. Os pesquisadores encorajam a pesquisa interdisciplinar: “Nunca antes tentamos pilotar tantos veículos aéreos em nossas cidades – e atingir esse objetivo não será um problema resolvido isoladamente pela comunidade aeroespacial”.

Expectativas e promessas

Até o momento, em fase de desenvolvimento, mas, mais dia, menos dia, os carros voadores virão, porém não de forma popular. No entanto, “o tempo ainda é uma dimensão importante nesse processo de decisão de inovação”, diz Rogers (1983). O que amarra as coisas são as questões práticas. Não por desafio tecnológico. Tem que ter certificado para voar sozinho. Não é impossível certificar. Mas não é legalmente autorizado, por enquanto. O problema é quem se responsabiliza pelos acidentes? Ninguém quer assumir o óbice. Então, isso só vai ocorrer quando o benefício for maior que o risco, ou seja, quando for vanta-

joso comercialmente, economicamente viável. Podemos fazer um paralelo com o retorno supersônico, é claro, sabemos fazer, mas não é feito hoje. Quer andar rápido? Vai ter de gastar combustível em demasia. As leis da física não mudaram.

Para registro: diversas empresas fabricantes de carros, aviões, entre as principais cidades do mundo, fazem testes de voo com protótipos e devem continuar fazendo. Afinal, além de muita espuma, gera *buzz* e *clickbait*, e o marketing serve para alimentar a mídia.

A série de desenho animado Os Jetsons, produzida pela dupla Hanna-Barbera, está completando 60 anos, o mote era uma família futurista vivendo em uma época automatizada. Mas os carros voadores que apareciam ainda não fazem parte do nosso dia a dia. Quem sabe até 2062, ano em que a série era ambientada, conseguiremos?

Referências

AHMED, S. S. et al. The Flying Car – Challenges and Strategies Toward Future Adoption. *Frontiers in Built Environment*, n.6, 2020.

CAREY, N.; LIENERT, P. Truly autonomous cars may be impossible without helpful human touch. *Reuters.com*, 12 set. 2022.

CHESBROUGH, H. Business Model Innovation: Opportunities and Barriers. *Long Range Planning*, v.43, n.2-3, p.354-63, 2010.

DAVIS, F. D. Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, v.13, n.3, p.319-40. 1989. <https://doi.org/10.2307/249008>

DYNIEWICZ, L. Como é a sensação de pilotar o novo carro voador da Embraer. *O Estado de S. Paulo*, 5 dez. 2021.

FERREIRA, J. L.; RUFFONI, J.; CARVALHO, A. M. Dinâmica da difusão de inovações no contexto brasileiro. *Rev. Bras. Inov.*, v.17, n.1, p.175-200, jan./jun. 2018.

GARROW, L. A.; GERMAN, B. J.; LEONARD, C. Urban air mobility: A comprehensive review and comparative analysis with autonomous and electric ground transportation for informing future research. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, v.132, n.103377, 2021.

HALL, B. H. Innovation and diffusion. *Working paper series*, Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, 2004. n.10212.

HERNANDEZ, J. M. C.; CALDAS, M. P. Resistência à mudança: uma revisão crítica. *RAE Revista de Administração de Empresas*, v.41, n.2, p.31-45, abr./jun. 2001.

JOHNSTON, T.; RIEDEL, R.; SAHDEV, S. *To take off, flying vehicles first need places to land*. McKinsey Center for Future Mobility. 2021.

KASLIWAL, A. et al. Role of flying cars in sustainable mobility. *Nat Commun*, v.10, n.1555, 2019.

- KINJO, H. Development trends and prospects for eVTOL: a new mode of air mobility. Mitsui & Co. Global Strategic Studies Institute, 2018.
- LAVAL, L. Embraer formaliza a Anac pedido de certificação para carro voador. *O Estado de S. Paulo*, 10 fev. 2022.
- LEE, J. et al. Emerging Technology and Business Model Innovation: The Case of Artificial Intelligence. *J. Open Innov. Technol. Mark. Complex*, v.5, n.44, 2019.
- LINEBERGER, R.; HUSSAIN, A.; RUTGERS, V. *Change is in the air*. The elevated future of mobility: What's next on the horizon? Deloitte, 2019.
- MCINTOSH A. Technology behind the Lilium Jet. Lilium Jet, *Release Details*, 8 abr. 2021.
- PAN, G.; ALOUINI, M. S. Flying Car Transportation System: Advances, Techniques, and Challenges. *IEEE Access*, v.9, p.24586-603, 2021.
- RAMAHI, A. Chinese 'flying car' makes first public flight in Dubai. *Reuters*, 13 out. 2022.
- ROGERS, E. M. *Diffusion of innovations*. 4.ed. Free Press, 1983.
- SWARTZ, K. I. Charging Forward New eVTOL Concepts Advance. *Vertiflite*, p.24-29, jul./ago. 2017.
- TARDE, G. *Les lois de l'imitation: étude sociologique*. Paris: Félix Alcan, 1890.

RESUMO – Este estudo traz uma análise desconfiada de que carros voadores não saem dos testes com protótipos quando o intuito é de que sejam autônomos. Baseado na teoria de Difusão e Inovação, de Everett Rogers, aplicada ao setor de mobilidade aérea urbana, o objetivo foi explorar determinados entraves dessa tecnologia, sendo o principal os riscos relacionados à segurança, sabendo que a adoção ou rejeição das inovações é o que Gabriel Tarde identificou como uma questão crucial de pesquisa. Como método, a ideia foi verificar as informações recentes por meio de busca documental entre artigos, relatórios e notícias, para chegar com munição às entrevistas com especialistas em aviação (um deles da Gol Linhas Aéreas que optou em adquirir um modelo estrangeiro, um da Eve e dois ex-Embraer), resultando discutir e demonstrar as trajetórias nos contextos dos eVTOLs (decolagem e aterrissagem vertical elétrica) com expectativas em termos de sustentabilidade quando prometem emissão zero de carbono.

PALAVRAS-CHAVE: Carro voador autônomo, eVOLT, Carbono zero, Mobilidade Aérea Urbana.

ABSTRACT – This study brings a suspicious analysis that flying cars do not come out of prototypes testing when the intention is to be autonomous. Based on the theory of Diffusion and Innovation, by Everett Rogers, applied to the urban air mobility sector, the objective was to explore certain barrier of this technology, the main goal being the risks related to security, knowing that the adoption or rejection of innovations is what Gabriel Tarde identified as a crucial research question. As a method, the idea was to verify recent information by documental search among articles, reports and news, to get prepared to interviews the aviation experts (one from Gol Airlines, which chose to acquire a foreign model, other from Eve, e two other ex-Embraer), resulting in discussing

and demonstrating the trajectories in the eVTOLs (electric vertical take-off and landing) context, with bets on sustainability when they promise zero carbon emissions.

KEYWORDS: Autonomous flying car, eVOLT, Zero carbon, Urban Air Mobility.

Magaly Parreira do Prado fez estágio pós-doutoral na Escola de Comunicações e Artes da Universidade de São Paulo, onde é pesquisadora na Cátedra Oscar Sala, do Instituto de Estudos Avançados. É doutora em Comunicação e Semiótica e mestre em Tecnologias da Inteligência e Design Digital, ambos programas da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. @ – magalyprado@usp.br / <https://orcid.org/0000-0003-2792-0264>.

Gustavo H. Palacio Galbiatti é mestrando no Programa de Pós-Graduação em Pesquisa Operacional (PPG-PO) em associação entre a Universidade Federal de São Paulo (Unifesp) e o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). É pesquisador na Cátedra Oscar Sala, do Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo. Graduado em Engenharia de Produção pela Universidade Metodista de São Paulo (Umesp).

@ – galbiatti@hotmail.com / <https://orcid.org/0000-0002-3792-2741>.

Recebido em 18.11.2022 e aceito em 19.9.2023.

^{1,II} Universidade de São Paulo, Instituto de Estudos Avançados, São Paulo, Brasil.