



**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA**  
**LUCCAS ALVES DAL PONTE**

**O FUTURO DOS MOTORES ELÉTRICOS NA AVIAÇÃO COMERCIAL**

**Palhoça**

**2021**

**LUCCAS ALVES DAL PONTE**

**O FUTURO DOS MOTORES ELÉTRICOS NA AVIAÇÃO COMERCIAL**

Monografia apresentada ao Curso de graduação em Ciências Aeronáuticas, da Universidade do Sul de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Marcos Fernando Severo de Oliveira, Esp.

Palhoça

2021

**LUCCAS ALVES DAL PONTE**

**O FUTURO DOS MOTORES ELÉTRICOS NA AVIAÇÃO COMERCIAL**

Esta monografia foi julgada adequada à obtenção do título de Bacharel em Ciências Aeronáuticas e aprovada em sua forma final pelo Curso de Ciências Aeronáuticas, da Universidade do Sul de Santa Catarina

Palhoça, 10 de junho de 2021

---

Orientador: Marcos Fernando Severo de Oliveira, Esp.

---

Prof. Cleo Marcus Garcia, MSc

## **AGRADECIMENTOS**

Dedico este trabalho a minha esposa Patrícia Vieira Machado por todo o seu apoio seja nos estudos como também como sempre tive ao longo da minha caminhada como aeronauta.

Dedico também a minha mãe Terezinha Alves Dal Ponte e meu pai Dirnei Dal Ponte por todo apoio e dedicação.

Muito obrigado por tudo.

## RESUMO

O uso do avião como um meio de transporte tem crescido a cada ano. Por ser um meio de transporte veloz e seguro o avião tem atraído cada vez mais passageiros e cargas. Segundo a IATA (2019) somente no ano de 2018 foram transportados 4,4 bilhões de passageiros no mundo todo. Por outro lado, com as mudanças climáticas sendo uma preocupação cada vez mais constante, a pressão pela redução na emissão dos gases de efeito estufa além da redução dos custos com combustível tem levado fabricantes e empresas aéreas a buscarem aeronaves mais limpas e eficientes. Os motores elétricos são vistos como uma solução para este problema pois são mais limpos e silenciosos que os motores de combustão interna além de demandarem menos manutenção e serem mais eficientes, porém o seu uso ainda depende de baterias grandes e pesadas, o que torna o seu uso na aviação comercial caro e muitas vezes inviável. A principal função deste trabalho é analisar a viabilidade do uso de motores elétricos na aviação comercial. Este trabalho foi embasado por pesquisa exploratória qualitativa, com natureza básica e com procedimento bibliográfico e documental. A coleta de dados foi feita através do estudo dos principais projetos de aeronaves elétricas e híbridas com o objetivo principal de compreender se os motores elétricos são substitutos viáveis aos motores de combustão interna. Através deste estudo foi possível concluir que aeronaves elétricas comerciais de pequeno porte já são realidade podendo assim conectar pequenas cidades aos grandes centros urbanos de forma sustentável.

Palavras-Chave: Avião. Motores Elétricos. Clima. Baterias.

## **ABSTRACT**

The use of airplanes as a means of transport has grown every year. As a fast and safe means of transport, the plane has attracted more and more passengers and cargo. According to IATA (2019) in 2018 alone, 4.4 billion passengers were transported worldwide. On the other hand, with climate change being an increasingly constant concern, the pressure to reduce greenhouse gas emissions, in addition to reducing fuel costs, has led manufacturers and airlines to seek cleaner and more efficient aircraft. Electric motors are seen as a solution to this problem because they are cleaner and quieter than internal combustion engines, in addition to requiring less maintenance and being more efficient, but their use still depends on large and heavy batteries, which makes their use in commercial aviation expensive and often unfeasible. The main function of this work is to analyze the feasibility of using electric motors in commercial aviation. This work was based on qualitative exploratory research, with a basic nature, with bibliographic and documentary procedure. Data collection was done through the study of the main projects of electric and hybrid aircraft with the main objective of understanding if electric motors are viable replacements for internal combustion engines. Through this study, it was possible to conclude that small commercial electric aircraft are already a reality, thus being able to connect small cities to large urban centers in a sustainable way.

Keywords: Airplane. Electric Engines. Climate. Batteries.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – SUGAR.....	18
Figura 2 – SUGAR Volt.....	19
Figura 3 – X57 Maxwell.....	20
Figura 4 – Airbus eFan X.....	21
Figura 5 – eFlyer 800.....	25
Fotografia 1 – Aerotec eCaravan.....	22
Fotografia 2 – Ipanema EMB-203 elétrico.....	23
Fotografia 3 – eFlyer 2.....	24

## LISTA DE ABREVIATURAS

APU - Unidade Geradora de energia da aeronave.

CO<sup>2</sup> - Dióxido de carbono

HP – Cavalos de força

Kw - Kilowatts

Nós – Unidade de velocidade. Um nó equivale 1,85 quilômetros por hora

Pés – Unidade de medida de altitude. Um pé equivale a 0,33 metros

## **LISTA DE SIGLAS**

ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil. Agência reguladora de aviação brasileira

EASA - Europe Union Aviation Safety Agency. Agência reguladora Europeia

FAA - Federal Aviation Administration. Agência reguladora de aviação Americana

IATA - Associação Internacional de Transportes Aéreos

NASA – National Aeronautics and Space Administration. Agência americana

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	10
1.1 PROBLEMA DA PESQUISA.....	11
1.2 OBJETIVOS.....	11
<b>1.2.1 Objetivo Geral</b> .....	11
<b>1.2.2 Objetivos Específicos</b> .....	11
1.3 JUSTIFICATIVA.....	11
1.4 METODOLOGIA.....	14
<b>1.4.1 Natureza e tipo da pesquisa</b> .....	14
<b>1.4.2 Sujeitos da pesquisa</b> .....	14
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	14
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	16
2.1 UMA BREVE HISTÓRIA DO AUTOMÓVEL ELETRICO.....	16
2.2 PROJETOS EM ANDAMENTO.....	17
<b>2.2.1 SUGAR – Subsonic Ultra Green Aircraft Research</b> .....	17
<b>2.2.2 NASA X-57 Maxwell</b> .....	18
<b>2.2.3 Airbus E-Fan X</b> .....	19
<b>2.2.4 Aerotec eCaravan</b> .....	22
<b>2.2.5 Embraer EMB-203 elétrico</b> .....	23
<b>2.2.6 Bye Aerospace eFlyer 2</b> .....	23
<b>2.2.7 Bye Aerospace eFlyer 800</b> .....	24
<b>3 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	26
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	28

## 1 INTRODUÇÃO

A aviação é um modal de transporte estratégico que permite a movimentação de pessoas e cargas em tempo reduzido, sendo adequado aos Estados com dimensões continentais, como o caso do Brasil. Além de seus aspectos operacionais, é essencial que as operações aéreas sejam também ambientalmente sustentáveis a longo prazo. Para esse propósito, as externalidades decorrentes das operações de aeronaves associadas à qualidade do ar local, às mudanças climáticas e aos níveis de exposição ao ruído aeronáutico, observados nas comunidades nos arredores dos aeroportos, devem ser monitoradas e controladas. (ANAC, 2019).

A aviação é um dos meios de transporte mais utilizados. Apenas no ano de 2018 4,4 bilhões de passageiros foram transportados ao redor do mundo (IATA, 2019). Já no mercado doméstico brasileiro neste mesmo período foram transportados 93,6 milhões de passageiros (ANAC, 2019).

Com a pressão cada vez mais crescente para uma redução significativa na emissão de gases de efeito estufa na atmosfera a busca por motores mais eficientes e ecológicos passou a ser vista como uma solução.

Em 2015, 195 nações assinaram o acordo de Paris no qual uma das principais metas é manter o aumento da temperatura média global bem abaixo de 2°C em relação aos níveis pré-industriais, e envidar esforços para limitar esse aumento da temperatura a 1,5°C em relação aos níveis pré-industriais.

Planos de utilizar os motores elétricos como uma fonte limpa de propulsão nos aviões tem ganhado força. Motores elétricos não produzem nenhuma emissão durante sua operação fazendo deles uma tecnologia crucial para o meio ambiente. (IATA, 2020).

Os motores elétricos são muito mais eficientes do que os motores de combustão interna e demandam menos manutenção. Eles são 90% eficientes pois quase toda a potência é transformada em trabalho útil, enquanto os motores de combustão interna têm menos de 30% de eficiência. (NASA, 2019).

Um dos principais desafios do avião elétrico é a energia necessária para gerar a potência para a decolagem. Os motores elétricos são alimentados por baterias que são geralmente pesadas e grandes para a aeronave (NASA, 2019).

Neste estudo será visto alguns projetos de aeronaves elétricas e híbridas e assim analisar a viabilidade de seu uso na aviação comercial e seus impactos na busca de uma redução na emissão de gases de efeito estufa na atmosfera.

## 1.1 PROBLEMA DA PESQUISA

O motor elétrico pode ser considerado um substituto viável aos motores de combustão interna na aviação?

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Estudar os projetos de aeronaves elétricas para assim compreender se os motores elétricos são substitutos viáveis aos motores de combustão interna.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- a) Avaliar qual a eficiência dos motores elétricos.
- b) Compreender seu funcionamento e avaliar se é viável a sua utilização na aviação comercial.
- c) Definir se é possível futuramente a substituição dos motores de combustão interna pelos motores elétricos.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

A finalidade deste trabalho foi estudar a utilização dos motores elétricos na aviação comercial.

Com o constante crescimento da aviação pelo mundo, a necessidade de uma redução significativa da liberação dos gases de efeito estufa na atmosfera e as

empresas aéreas buscando cada vez mais a redução dos custos com combustível, novos tipos de motores e combustíveis vêm sendo desenvolvidos.

As mudanças climáticas são uma realidade e a tentativa de frear os efeitos do aquecimento global tem unido o mundo em busca de soluções. A redução da emissão dos gases de efeito estufa é uma destas ações que tem ganhado o foco nos últimos anos.

Mesmo a aviação sendo responsável por pouco menos de 2% da liberação de gases de efeito estufa na atmosfera a ICAO tem se comprometido em buscar soluções para uma redução na emissão de CO<sup>2</sup> através do ICAO 2050 vision. (ICAO, 2018)

Dentre soluções como o desenvolvimento de biocombustíveis e melhorar a eficiência das aeronaves através do seu desenvolvimento tecnológico para a redução do consumo de combustível, o uso de motores elétricos tem sido visto como uma alternativa.

O uso de motores elétricos nos carros não é novidade. Os primeiros carros elétricos já surgiram no século 19 (MATULKA, 2015) porém começaram a ganhar mais popularidade no final do século 20.

Hoje em dia os carros elétricos têm ganhado popularidade e são vistos como uma substituição aos carros convencionais.

Segundo uma matéria divulgada pelo The Guardian mais de 500 mil carros elétricos foram vendidos na Europa apenas no ano de 2020 (JOLLY, 2020).

No Brasil os carros elétricos ainda são uma realidade para poucos. O carro elétrico ainda tem alto preço, custando mais de R\$100 mil no Brasil. O que mais onera a produção é a bateria, que representa de 30 a 50% do valor total do veículo. Mas a tendência é de queda à medida que a produção ganhe escala. As projeções apontam que a partir de 2022 a produção vai aumentar, diminuindo substancialmente o custo das baterias (ROTTA, 2017)

Mas e na aviação? Este tipo de motor poderá ser visto também como uma substituição viável aos motores de combustão interna?

Muitos fabricantes de aeronaves e seus engenheiros buscam essa resposta desenvolvendo aeronaves híbridas, ou seja, combinando os motores elétricos com os motores convencionais, ou então, desenvolvendo aeronaves totalmente elétricas.

Uma dessas empresas é a Airbus, que em parceria com a Rolls Royce e Siemens, está conduzindo o projeto do E-fan X. Este projeto consiste em substituir um dos quatro motores de um avião comercial com um motor elétrico.

No Brasil a Embraer também está desenvolvendo o seu projeto em parceria com a EPD. Um protótipo da aeronave agrícola EMB-203 Ipanema, com um motor elétrico, que deve decolar ainda no ano de 2021. (EMBRAER, 2020)

Porém em 2020 nos EUA uma parceria com as empresas AeroTEC e MagniX decolaram o até então maior avião elétrico. O projeto seria o eCaravan, que seria uma adaptação do Cessna Grand-Caravan, uma aeronave monomotora com capacidade para onze ocupantes, com um motor elétrico. (BARANIUK, 2020)

Equipado com um motor Magni500 de 751 HP pesando apenas e 133 quilogramas o eCaravan decolou em Moses Lake, Washington, em 28 de maio de 2020 e voou em segurança por 30 minutos.

A Boeing também tem o seu projeto de avião elétrico. O Sugar Volt, é um projeto de um avião híbrido o qual combina os motores elétricos com os motores convencionais. De acordo com a Boeing o principal objetivo deste projeto é alcançar uma economia de 70% em relação a um avião comercial convencional.

Outro projeto que aposta nos motores elétricos é o X-57 da NASA. O X-57 Maxwell, é uma aeronave 100% elétrica baseada no avião italiano Tecnan P2006T, um avião bimotor de 4 ocupantes, asa alta. O projeto do X-57 substitui os atuais motores convencionais do Tecnan por dois motores elétricos principais nas pontas das asas além de outros 6 motores menores ao longo de cada uma das asas para melhorar o desempenho da aeronave para pousos e decolagens.

Segundo a NASA o grande desafio deste projeto, está na energia exigida para os motores desempenhar a potência necessária para o voo de forma segura. (NASA, 2019)

Apenas para a decolagem todos os motores combinados do X-57 necessitariam de mais de 200 Kilowatts de potência. Para efeito de comparação esta energia seria suficiente para alimentar 100 residências. (NASA, 2019).

Sendo assim nota-se que o avião elétrico e híbrido teria um papel fundamental tanto para o meio ambiente como para a economia das empresas aéreas.

## 1.4 METODOLOGIA

Este trabalho teve como finalidade a realização de um estudo exploratório com o objetivo de compreender a viabilidade dos motores elétricos na aviação comercial.

### 1.4.1 Natureza e tipo da pesquisa

A metodologia escolhida para essa pesquisa foi a exploratória com natureza básica e abordagem qualitativa baseando-se no estudo bibliográfico em artigos referentes a projetos de aeronaves elétricas e híbridas que já estão em desenvolvimento.

A pesquisa exploratória, conforme Marconi e Lakatos (2003, p.188).

São investigações de pesquisa empírica cujo objetivo é a formulação de questões ou de um problema, com tripla finalidade, que é: Desenvolver hipóteses, aumentar a familiaridade do pesquisador com um ambiente, fato ou fenômeno, para a realização de uma pesquisa futura mais precisa ou modificar e classificar conceitos.

### 1.4.2 Sujeitos da pesquisa

Os sujeitos da pesquisa foram os principais fabricantes de aeronaves elétricas como Airbus, Embraer, Aerotec, Nasa e Boeing.

Os materiais analisados foram:

**Bibliográficos:** Manuais de fabricantes, livros e publicações de especialistas.

**Documentais:** Documentos diversos sobre a legislações e os estudos publicados a respeito do tema.

## 1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho foi desenvolvido para atingir os objetivos pretendidos e foi organizado da seguinte maneira.

No primeiro capítulo foi apresentada a introdução do trabalho mostrando a origem do problema. Em seguida foi apresentado o problema da pesquisa, Objetivos gerais e específicos, justificativa e metodologia utilizada.

No segundo capítulo é apresentado o referencial teórico que inicia com um breve resumo da história dos veículos elétricos. Após é apresentado projetos de aeronaves híbridas e elétricas que estão em desenvolvimento.

No quarto capítulo é apresentado a conclusão do trabalho e suas considerações finais.

Por fim, é apresentada as referências usadas na pesquisa.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 UMA BREVE HISTÓRIA DO AUTOMÓVEL ELÉTRICO

Para um melhor entendimento a respeito dos possíveis caminhos do avião elétrico é importante fazer um resumo de como foi a evolução do automóvel elétrico.

A história do automóvel elétrico começou em meados do século 19. Os primeiros veículos elétricos, que utilizavam baterias de chumbo e ácido, vieram no início da década de 1880. No final do século 19 três tecnologias concorriam no mercado de automóveis. O carro elétrico, o carro a vapor e o carro a gasolina (BARAN, 2010).

Em 1903, havia cerca de quatro mil automóveis registrados na cidade de Nova York sendo 20% deles elétricos. Em 1912 a frota de carros elétricos nesta mesma cidade já era de mais de 30 mil unidades sendo a frota de carros a gasolina trinta vezes maior. (BARAN, 2010)

Os veículos elétricos eram silenciosos e não emitiam odores desagradáveis igual aos motores a gasolina, o que os fez populares especialmente entre as mulheres. À medida que a energia elétrica foi se popularizando no início do século 20 ficou cada vez mais fácil carregar o carro elétrico aumentando ainda mais a sua popularidade (MATULKA, 2014).

Porém na década de 1910, com o lançamento do Ford T os carros elétricos começaram a perder seu espaço. Custando muito mais barato que um carro elétrico o Ford T rapidamente ganhou a preferência (MATULKA, 2014).

A partir de então a venda dos carros elétricos sofreu uma forte queda. Entre as principais razões da perda de interesse no carro elétrico, além do preço mais elevado, a descoberta de petróleo no Texas, que tornou a gasolina mais acessível e a rápida expansão dos postos de combustíveis entre as cidades fazendo assim o automóvel a gasolina muito mais atraente. (BARAN, 2010)

Na década de 1980, devido a debates sobre problemas ambientais os carros elétricos voltaram a atrair a atenção do público. Na década de 1990, na Califórnia, autoridades locais pressionaram as montadoras a também oferecerem veículos elétricos a seus consumidores determinando uma cota mínima de veículos

elétricos que deveria ser de 2% em 1998, 5% em 2001 e 10% em 2003. (BARAN, 2010)

Porém em 1997 a Toyota lançou o Prius no Japão. O que se tornou o primeiro automóvel híbrido produzido em massa no mundo. Em 2000 o Prius foi lançado mundialmente se tornando um sucesso entre as celebridades aumentando assim sua popularidade. Com o sucesso do Prius veio os lançamentos de outras montadoras como a Honda e Nissan e Tesla. Hoje com o barateamento dos veículos elétricos e com a alta do petróleo os veículos elétricos estão cada vez mais populares (MATULKA, 2014).

## 2.2 PROJETOS EM ANDAMENTO

Alguns projetos de aviões elétricos e híbridos estão em andamento, um deles já fez sua primeira decolagem. Este estudo irá abordar mais detalhadamente a respeito dos principais projetos.

### 2.2.1 SUGAR – Subsonic Ultra Green Aircraft Research

Entre 2009 e 2010 a Boeing em parceria com a NASA iniciou um estudo em busca de conceitos e tecnologias para a produção de aeronaves visando a diminuição do consumo de combustível e emissões de gases de efeito estufa, além de redução de ruído. O objetivo seria a decolagem do protótipo entre 2030 e 2035. Neste projeto além de estudos na aerodinâmica da aeronave e o uso de combustíveis mais limpos está o uso de motores híbridos. (NASA, 2015).

O projeto, entre outras aeronaves convencionais, possui três aeronaves híbridas. O SUGAR Eel, que seria baseado em uma aeronave convencional, o SUGAR Volt que seria uma aeronave com as asas fixadas no topo da fuselagem e o SUGAR Sting Ray no qual seria uma aeronave cujo formato assemelha-se a uma asa delta (NASA, 2015).

O projeto analisou as aeronaves comparando o consumo das híbridas com uma aeronave convencional no qual, para um voo de até 1667 quilômetros, identificou uma economia de combustível de até 79% (NASA, 2015).

O projeto se baseia no motor Hfan, que seria um motor turbofan híbrido. Neste tipo de turbina um motor elétrico alimentado por baterias adiciona potência ao eixo do compressor de um turbofan convencional melhorando assim sua eficiência e reduzindo o seu consumo de combustível (NASA, 2015).

Figura 1 - SUGAR

	N	N+3	N+3 Hybrid Electric	N+4
Conventional Tube & Wing	Baseline "SUGAR Free" 	Reference "Refined SUGAR" 		N+4 Reference "Super Refined SUGAR" 
Unconstrained* Conventional Tube & Wing <i>* Optimum span</i>		"Super Refined SUGAR" 	"SUGAR Electric Eel" 	
High Span Truss Braced Tube & Wing		TBW High L/D "SUGAR High" 	"SUGAR Volt" 	Advanced N+4 Technology "SUGAR Freeze" 
HWB		HWB "SUGAR Ray" 	"SUGAR Sting Ray" 	

Fonte: NASA, 2015

No projeto do SUGAR Volt, as baterias ficarão armazenadas em compartimentos próprios abaixo das asas. Como o combustível das aeronaves são armazenados nas asas da aeronave, um compartimento próprio para as baterias separado dos tanques de combustível não comprometeria a autonomia da aeronave (NASA, 2015).

Os compartimentos terão um formato aerodinâmico no qual minimiza o arrasto da aeronave (NASA, 2015).

Figura 2 - SUGAR Volt



Fonte: Boeing, 2014

O SUGAR Volt, que é o modelo mais citado no estudo, terá capacidade para transportar 154 passageiros distribuídos em duas classes com um alcance de 6482 quilômetros (NASA, 2015).

### **2.2.2 NASA X-57 Maxwell**

O X-57 Maxwell, é um avião 100% elétrico tracionado por hélices que está em desenvolvimento pela NASA. O projeto é baseado em uma modificação de uma aeronave que já existe, o bimotor para quatro ocupantes Tecnam P2006T, substituindo seus dois motores convencionais por 14 motores elétricos. Dois principais nas pontas das asas e outros 12 motores menores ao longo das asas (NASA, 2019).

Os motores principais nas pontas das asas têm o principal objetivo de operar a aeronave em cruzeiro além de interagir com o vórtex de ponta de asa e são capazes de gerar 115 HP cada um. Os demais motores terão 5 pás de hélices cada um e têm o objetivo de acelerar o fluxo de ar sob as asas melhorando assim sua performance em baixas velocidades (NASA, 2019).

Figura 3 – X-57 Maxwell



Fonte: NASA, 2016

Além da modificação dos motores o X-57 também terá uma modificação nas asas no qual terá uma área menor em relação ao seu projeto original. Apesar o peso da aeronave ser o mesmo a área da asa do X-57 será apenas um terço do tamanho da asa do Tecman P2006. O objetivo desta mudança será a redução do arrasto causado pela fricção do ar na superfície da asa melhorando assim sua sustentação e performance durante o voo (NASA, 2019).

O grande desafio para este projeto é a bateria capaz de alimentar os motores elétricos da aeronave. Ao contrário das aeronaves convencionais, a performance das baterias varia de acordo com o seu tamanho e temperatura, o que não acontece com o combustível dos motores de combustão interna. Com o aumento da potência durante a decolagem ou arremetida, tem um aumento na demanda por energia fazendo a bateria aquecer e por consequência do aquecimento ela reduz sua eficiência. (NASA, 2020).

O tipo da bateria escolhida para o projeto é uma bateria Li-Ion agrupada em um único pacote semelhante a uma torre, porém o seu tamanho e quantidade de células ainda está em estudo. Devido a sua variação de eficiência de acordo com a demanda exigida ainda não é possível definir o alcance da aeronave (NASA, 2020).

### 2.2.3 Airbus E-Fan X

O E-Fan X é um projeto da Airbus em parceria com a Rolls Royce e a Siemens para uma aeronave comercial híbrida.

O projeto consiste em adaptar uma aeronave BAE 146-100, uma aeronave quadrimotora para 112 passageiros, substituindo um de seus quatro motores por um motor elétrico (JAYME, 2019).

Figura 4 - Airbus Efan-X



Fonte: Airbus, 2019

O novo motor elétrico instalado no E-Fan X seria alimentado por um motor turboeixo, que seria um sistema semelhante à APU dos aviões comerciais, e uma bateria. Durante a decolagem o motor elétrico seria alimentado pela energia gerada pelo motor turboeixo em adição com a energia armazenada na bateria. Durante o cruzeiro o motor turboeixo alimentaria o motor elétrico além de recarregar a bateria (JAYME, 2019).

O projeto não apresentou bons resultados. Apesar de ter uma redução significativa na emissão dos gases de efeito estufa e ter apresentado uma economia de combustível de 0,5% a performance do E-Fan X se mostrou ser 12% mais cara que sua versão original, o BAE 146. (JAYME, 2019)

O projeto do E-Fan X acabou sendo cancelado pela Airbus em abril de 2020 (AIRBUS, 2020)

### 2.2.4 Aerotec eCaravan

O Projeto do eCaravan, consiste em adaptar o Cessna Grand-Caravan, um monomotor para 9 passageiros, substituindo seu motor turboélice por um motor elétrico. (BARANIUK, 2020)

Fotografia 1- Aerotec eCaravan



Fonte: Aerotec, 2020

O motor elétrico foi desenvolvido pela empresa Magnix. De acordo com especificações do fabricante o motor Magnix Magni500 de 133 quilos é capaz de desenvolver uma potência de 750 HP com uma eficiência de 93% em relação ao motor PT6A-114 que é o motor original do Cessna Grand-Caravan.

O protótipo decolou em maio de 2020 em Moses Lake, Washington, se tornando o voo do, até então, maior avião elétrico. O voo teve a duração de 30 minutos (BARANIUK, 2020)

O Cessna Grand-Caravan é uma aeronave monomotor para 9 passageiros que é utilizada em voos regionais em todo o planeta. No Brasil é utilizada por pequenas empresas assim com também é utilizada pela Azul Conecta, empresa que pertence a Azul Linhas aéreas, no qual conecta pequenas cidades como Juína-MT a sua capital servindo de ligação destas pequenas cidades aos grandes centros.

Este é o objetivo proposto pela Aerotec com o seu protótipo eCaravan. O desenvolvimento de uma aeronave de pequeno porte, capaz de decolar de pequenos aeroportos com baixo custo e emissão zero. (AEROTEC, 2020)

O projeto ainda segue suas etapas de certificação.

### 2.2.5 Ipanema EMB-203 elétrico

A Embraer em parceria com a EPD está desenvolvendo um projeto de aeronave 100% elétrica. Trata-se de uma modificação no Embraer Ipanema EMB-203, um monomotor utilizado em pulverizações agrícolas, substituindo seu motor convencional por um motor elétrico.

Fotografia 2 – Ipanema EMB-203 Elétrico



Fonte: Airway, 2020

A decolagem do protótipo da Embraer está prevista para 2021 e deverá ser a primeira aeronave 100% elétrica desenvolvida no Brasil (EMBRAER, 2020).

### 2.2.6 BYE Aerospace eFlyer 2

Desenvolvido para ser uma aeronave de instrução o eFlyer 2 é um avião monomotor 100% elétrico para dois ocupantes. O Projeto está sendo desenvolvido pela BYE Aerospace.

O eFlyer 2 é equipado com o motor Engineus 100 de 110kw capaz de gerar uma potência de 150HP, voar a uma velocidade média de 96 nós com uma autonomia de 3 horas e altitude máxima de 14 mil pés. (BYE AEROSPACE, 2021)

O eFlyer teve sua primeira decolagem em abril de 2018 e segue com sua homologação perante o FAA. (BYE AEROSPACE, 2021)

Fotografia 3 – eFlyer 2



BYE Aerospace

O motor escolhido para o protótipo, o Engineus 100, é produzido pela Safran e apresenta, de acordo com as especificações do fabricante, uma eficiência de 94%.

### **2.2.7 Bye Aerospace eFlyer 800**

O eFlyer 800 é um projeto da BYE Aerospace de uma aeronave executiva 100% elétrica para 8 ocupantes, com o objetivo de atender executivos e empresas de taxi aéreo, com apenas um quinto do custo operacional em relação a aeronaves turboélicas equivalentes com zero emissão de CO<sup>2</sup>. (LINCOLN, 2021)

O eFlyer 800 será equipado com dois motores Safran Engineus de 500KW e será capaz de voar a uma atitude máxima de 35 mil pés com uma velocidade de 280 nós e alcance de 925 quilômetros. (BYE AEROSPACE, 2021)

Figura 5 – eFlyer 800



BYE Aerospace, 2021

O eFlyer 800 ainda está em fase de desenvolvimento e ainda não possui uma previsão para a sua primeira decolagem.

### 3- CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi estudar os projetos de aeronaves elétricas e híbridas em desenvolvimento e assim analisar se seria viável a substituição dos motores de combustão interna pelos motores elétricos. Através de um estudo bibliográfico e exploratório foram analisados projetos de aeronaves elétricas e híbridas.

Atendendo aos objetivos específicos, primeiro foi analisado a eficiência dos motores elétricos. Sua relação peso potência é melhor que a de um motor convencional, pois a exemplo do motor MAGNI500, que foi o motor escolhido para equipar o Aerotec eCaravan, ele é 93% mais eficiente que o PT6A-114, que é o motor original do Cessna Caravan.

Segundo, quanto a sua viabilidade, após estudar os protótipos em desenvolvimento vimos que seu uso na aviação geral é viável, porém aeronaves comerciais de grande porte ainda estão em desenvolvimento com previsão de decolagem somente para a próxima década.

Terceiro, quanto a possibilidade da substituição dos motores de combustão interna pelos motores elétricos, os protótipos estudados mostram que é sim possível sua substituição. O que os estudos em andamento ainda faltam desvendar é se essa substituição será viável financeiramente, principalmente se tratando das grandes aeronaves comerciais.

Quanto ao problema da pesquisa, o motor elétrico pode ser considerado um substituto viável aos motores de combustão interna na aviação? Para aeronaves de pequeno porte sim.

As aeronaves de pequeno porte elétricas já são uma realidade, pois o protótipo da Aerotec, o eCaravan, já fez sua primeira decolagem no ano de 2020 e já segue seus passos para sua homologação. Já o protótipo da Embraer que aguarda o seu primeiro voo para 2021 e segue o mesmo princípio do protótipo da Aerotec, que seria um modelo de aeronave monomotor bem consolidada no mercado aeronáutico que teve seu motor convencional substituído por um motor elétrico com potência equivalente.

Por outro lado, os aviões de porte maior com capacidade para voos comerciais ainda estão em fase de desenvolvimento. A aeronave da Airbus, o Efan-

X, foi cancelado após o estudo indicar um custo que inviabilizou seu projeto. Já o modelo da Boeing, o SUGAR, ainda está em desenvolvimento, porém sua decolagem está prevista apenas para a década de 2030, sendo assim, ainda é cedo afirmar se é um projeto viável com a tecnologia que temos no presente.

Concluindo, para voos regionais com aeronaves de pequeno porte, os motores elétricos já estão se mostrando viáveis como substitutos dos motores convencionais e turboélices. Para aeronaves com capacidade semelhantes ao Boeing 737 ou Airbus A320, que são as aeronaves mais utilizadas nos voos comerciais domésticos transportando entre 100 e 200 passageiros, sua viabilidade ainda é uma dúvida.

Finalizando, o grande desafio desta pesquisa foi o pouco material disponível sobre as aeronaves comerciais elétricas devido ao fato de que os projetos ainda estão em desenvolvimento. Fica a sugestão de estudo a respeito das tecnologias que estão em estudo de baterias com grande capacidade de armazenamento e a redução do tempo de sua carga que viabilizaria o seu uso na aviação comercial.

## REFERÊNCIAS

AEROTEC. *The inaugural flight of the all-electric Cessna 208b grand caravan marks another milestone ushering in the new era of electric aviation.* Disponível em: <https://www.aerotec.com/magnix-and-aerotec-announce-successful-first-flight-of-the-worlds-largest-all-electric-aircraft/> Acesso em: 03 maio 2021

AIRBUS. **Electric flight:** Laying the groundwork for zero-emission aviation. Disponível em: <https://www.airbus.com/innovation/zero-emission/electric-flight.html#news> Acesso em: 03 maio 2021

AIRBUS. **Our decarbonization journey continues:** looking beyond E-Fan X. Disponível em: <https://www.airbus.com/newsroom/stories/our-decarbonisation-journey-continues.html> Acesso em 03 maio 2021

ANAC. **Inventário nacional de emissões atmosféricas da aviação civil 2019.** Disponível em: [https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/meio-ambiente/arquivos/inventario-nacional-de-emissoes\\_v6.pdf](https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/meio-ambiente/arquivos/inventario-nacional-de-emissoes_v6.pdf) Acesso em: 03 maio 2021

BARAN, Renato; LEGEY, Luiz Fernando . **Veículos elétricos:** História e perspectivas no Brasil. 2010 Disponível em: <https://bit.ly/3edQ7vQ> Acesso em: 03 maio 2021

BARANIUK, Chris. **The largest electric plane ever to fly.** BBC 2020. Disponível em: <https://www.bbc.com/future/article/20200617-the-largest-electric-plane-ever-to-fly> Acesso em: 03 maio 2021

BOEING. **No futuro não somente os carros serão elétricos.** Disponível em: <https://www.boeing.com.br/ inova%C3%A7%C3%A3o/avi%C3%B5es-el%C3%A9tricos.page> Acesso em: 03 maio 2021

BRASIL. **DECRETO Nº 9.073.** Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ ato2015-2018/2017/decreto/d9073.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ ato2015-2018/2017/decreto/d9073.htm) Acesso em: 03 maio 2021

EMBRAER. **Embraer E EDP Se Unem Na Pesquisa Do Avião Elétrico.** Disponível em: <https://embraer.com/br/pt/noticias?slug=1206810-embraer-e-edp-se-unem-na-pesquisa-do-aviao-eletrico> Acesso em: 03 maio 2021

IATA. **Aircraft Technology Roadmap to 2050**. Disponível em; <https://www.iata.org/contentassets/8d19e716636a47c184e7221c77563c93/technology20roadmap20to20205020no20foreword.pdf> Acesso em: 03 maio 2021

IATA. **Mais conectividade e eficiência são destaques das estatísticas do setor de companhias aéreas de 2018**. Disponível em: <https://bit.ly/2RiAvhU> Acesso em: 03 maio 2021

ICAO. **Resolution A40-18**: Consolidated statement of continuing ICAO policies and practices related to environmental protection - Climate change. Disponível em: <https://bit.ly/3edQx5x> Acesso em: 03 maio 2021

JAYME, Benegas. **Evaluation of the Hybrid-Electric Aircraft Project Airbus E-Fan X**. Disponível em: <https://bit.ly/3vxWD6s> Acesso em: 03 maio 2021

JOLLY, Jasper. **More than 500,000 full electric cars sold so far this year in Europe**. The Guardian 2020. Acesso em: <https://www.theguardian.com/business/2020/dec/03/more-than-500000-full-electric-cars-sold-in-europe-in-10-months> Acesso em: 03 maio 2021

MAGNIX. **Magni500**. Disponível em: <https://www.magnix.aero/products#magni500> Acesso em: 03 maio 2021

MARCONI E LAKATOS. **Fundamentos da metodologia científica**. Disponível em: [http://docente.ifrn.edu.br/olivianeta/disciplinas/copy\\_of\\_historia-i/historia-ii/china-e-india/at\\_download/file](http://docente.ifrn.edu.br/olivianeta/disciplinas/copy_of_historia-i/historia-ii/china-e-india/at_download/file) Acesso em: 17 junho 2021

MATULKA, Rebecca. **The History of The Electric Car**. US DEPARTMENT OF ENERGY. Disponível em: <https://bit.ly/3f0dQiy> Acesso em: 03 maio 2021

NASA (U.S.A.). **Battery Evaluation Profiles for X-57 and Future Urban Electric Aircraft** Disponível em: [https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20205005267/downloads/EATS\\_jcc.pdf](https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20205005267/downloads/EATS_jcc.pdf) Acesso em: 03 maio 2021

NASA (U.S.A.). **Battery Innovations Power All-Electric Aircraft**. Disponível em: [https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2019/t\\_1.html](https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2019/t_1.html) Acesso em: 03 maio 2021

NASA (U.S.A.). **Subsonic Ultra Green Aircraft Research: Phase II – Volume II – Hybrid Electric Design Exploration**. Disponível em: <https://go.nasa.gov/3tl0dQc> Acesso em 03 maio 2021

NASA (U.S.A.). **Whirl flutter and the development of the NASA x-57 maxwell.** Disponível em: <https://go.nasa.gov/3xGciTb> Acesso em: 03 maio 2021

ROTTA, Fernando. **Carros Elétricos chegaram para ficar.** Disponível em: <https://www.abdi.com.br/postagem/carros-eletricos-chegaram-para-ficar> Acesso em: 03 maio 2021

BYE Aerospace. **Electric training aircraft.** Disponível em: <https://byeaerospace.com/electric-airplane/> Acesso em: 19 maio 2021

LINCOLN, Alexis. **Bye Aerospace Unveils 8-Seat All-electric eFlyer 800.** Disponível em: <https://byeaerospace.com/bye-aerospace-unveils-8-seat-all-electric-eflyer-800/> Acesso em: 19 maio 2021

SAFRAN. **Our Engineus electrical motors.** Disponível em: <https://www.safran-electrical-power.com/electrical-systems/our-engineusm-electrical-motors> Acesso em: 19 maio 2021