



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
JOHNATAN CARVALHO THIAGO DE SÁ

**AERONAVES ELÉTRICAS E SEU USO POR ESCOLAS DE PILOTAGEM NA INS-
TRUÇÃO DE VOO**

Palhoça
2021

JOHNATAN CARVALHO THIAGO DE SÁ

AERONAVES ELÉTRICAS E SEU USO POR ESCOLAS DE PILOTAGEM NA INSTRUÇÃO DE VOO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Ciências Aeronáuticas da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Aeronáuticas.

Orientador: Prof. MSc. Angelo Damigo Tavares

Palhoça

2021

JOHNATAN CARVALHO THIAGO DE SÁ

AERONAVES ELÉTRICAS E SEU USO POR ESCOLAS DE PILOTAGEM NA INSTRUÇÃO DE VOO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Bacharel em Ciências Aeronáuticas e aprovado em sua forma final pelo Curso de Ciências Aeronáuticas, da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, SC, 9 de novembro de 2021

Orientador: Prof. MSc. Angelo Damigo Tavares

Avaliador: Prof. MSc. Antônio Carlos Vieira de Campos

RESUMO

O objetivo geral deste trabalho foi analisar de que forma o uso de aeronaves elétricas poderá trazer benefícios para a instrução de voo nas escolas de pilotagem.

Caracterizou-se como uma pesquisa descritiva, utilizando procedimentos bibliográficos e documentais, com abordagem tanto qualitativa quanto quantitativa. A principal forma de obtenção de dados se deu por meio eletrônico, com a leitura de artigos científicos, revistas e sites de aviação. Com o aumento das emissões de gases de efeito estufa como o CO₂ devido ao uso de combustíveis fósseis, há uma crescente pressão para que formas de energia alternativas sejam utilizadas, com destaque para a energia elétrica. Aeronaves que utilizam esse tipo de propulsão são uma realidade desde o século XIX, porém apenas em 2020 uma aeronave totalmente elétrica foi certificada, para voos de instrução, por uma agência reguladora. Trata-se do Pipistrel Velis Electro, certificado pela Agência de Segurança da Aviação da União Europeia (*European Aviation Safety Agency* – EASA). Projetado para ser uma aeronave de treinamento, seu uso se mostrou promissor, sendo operado atualmente por 9 países, com vários outros interessados, dentre os quais o Brasil, que em breve fará parte dessa lista. Após a análise, comparação e estudo das principais características de operação do Pipistrel Velis Electro e do Cessna 152, aeronave largamente utilizada na instrução de voo, bem como os custos necessários, ressaltaram-se vantagens e desvantagens que o uso de uma aeronave elétrica poderá oferecer às escolas de pilotagem com a tecnologia atualmente disponível, frente ao consagrado uso de aeronaves com motores de combustão interna. Concluiu-se que tal uso na instrução de voo oferece como principais vantagens a redução dos custos operacionais, principalmente aqueles referentes a manutenção e abastecimento, tornando sua operação mais eficiente para as escolas de pilotagem, cursos mais acessíveis financeiramente para os alunos e proporcionará também um aumento da segurança de voo, visto que os motores elétricos são mais simples que os motores a combustão interna.

Palavras-chave: Instrução. Aeronaves Elétricas. Vantagens. Segurança. Custos.

ABSTRACT

The general objective of this work was to analyze that the way of using electric aircraft can bring benefits to flight instruction in piloting schools.

It was characterized as a descriptive research, using bibliographic and documentary procedures, with both a qualitative and quantitative approach. The main way to obtain data was electronically, with the reading of scientific articles, magazines and aviation websites. With the increase in calls for greenhouse gases such as CO₂ due to the use of fossil fuels, there is growing pressure for alternative forms of energy to be used, with an emphasis on electricity. Aircraft that use this type of propulsion have been a reality since the 19th century, but only in 2020 was an all-electric aircraft certified, for instruction flights, by a regulatory agency. It is the Pipistrel Velis Electro, certified by the Aviation Safety Agency of the European Union - EASA. Designed to be a training aircraft, its use has shown promise, being currently operated by 9 countries, with several other interested parties, including Brazil, which will soon be part of this list. After analyzing, comparing and studying the main operating characteristics of the Pipistrel Velis Electro and the Cessna 152, aircraft widely used in flight instruction, as well as the operating costs, the advantages and disadvantages of using a electric aircraft that the use of an electric aircraft can offer to piloting schools with currently available technology, compared to the established use of aircraft with internal combustion engines. It was concluded that such use in flight instruction offers as main advantages the reduction of operating costs, mainly related to maintenance and fuel, making its operation more efficient for piloting schools, courses more financially used for students and will also provide an increase flight safety, as electric motors are simpler than internal combustion engines.

Keywords: Instruction. Electric aircraft. Advantages. Safety. Costs.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pipistrel Velis Electro.....	17
Figura 2 – Cessna 152.....	18
Figura 3 – Custo por Hora de Voo – Cessna 150.....	19
Figura 4 – Comparativo de Custos Operacionais.....	20
Figura 5 – Custo estimado da hora de voo do Pipistrel Velis Electro.....	20
Figura 6 – Distribuição do tempo em um voo de instrução no Velis Electro.....	28
Figura 7 – Carregador <i>Off-Board</i>	31
Figura 8 – Estação <i>Skycharge</i>	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Escala de voo para instrução no Velis Electro.....	29
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

dBa – Decibel

EASA - *European Aviation Safety Agency* (Agência de Segurança da Aviação da União Europeia)

ENEL – *Ente Nazionale per L'energia Elettrica* (Agência nacional de Eletricidade)

HP – Cavalo de força

KW – Kilowatt

NASA – *National Aeronautics and Space Administration* (Administração Nacional da Aeronáutica e do Espaço)

W – Watt

LISTA DE SIGLAS

AVGAS – Gasolina de aviação

IAM – Inspeção anual de manutenção

IFR – Regras de voo por instrumentos

IS – Instrução suplementar

TBO – *Time Between Overhaul* (Tempo entre Revisão Geral)

VCA – Voltagem em corrente alternada

VFR – Regras de voo visual

CO₂ – Dióxido de Carbono

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 PROBLEMA DA PESQUISA.....	12
1.2 OBJETIVOS.....	12
1.2.1 Objetivo geral.....	12
1.2.2 Objetivos Específicos.....	12
1.3 JUSTIFICATIVA.....	13
1.4 METODOLOGIA.....	14
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	14
2 DESENVOLVIMENTO.....	16
2.1 CARACTERÍSTICAS DO PIPISTREL VELIS ELECTRO E CESSNA 152.....	16
2.1.1 Custo da hora de voo das aeronaves.....	19
2.2 CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DO VELIS ELECTRO E CESSNA 152.....	21
2.2.1 Autonomia, alcance e tempo de recarga/abastecimento.....	21
2.2.2 Características de manutenção.....	24
2.3 UTILIZAÇÃO DO VELIS ELECTRO E CESSNA 152 NO CURSO DE PILOTO PRIVADO.....	26
2.4 PLANEJAMENTO DE VOOS PARA A UTILIZAÇÃO DO VELIS ELECTRO.....	27
2.5 CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA E GASOLINA DE AVIAÇÃO – AVGAS.....	29
2.6 IMPLANTAÇÃO DA REDE DE ESTAÇÕES DE RECARGA.....	30
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	33
REFERÊNCIAS.....	36

1 INTRODUÇÃO

A aviação, um dos principais meios de transporte da atualidade, é responsável por 2,5% das emissões mundiais de CO₂ tendo em vista o uso de combustíveis fósseis nas aeronaves. Em face à crescente preocupação mundial com as emissões de gases de efeito estufa, essa atividade está sendo motivo de debates internacionais e alvo de movimentos como o “Flight Shame”, que visa boicotar o uso de aeronaves com o objetivo de reduzir as emissões de dióxido de carbono. Por esse fato, os fabricantes de aviões realizam diversos investimentos em pesquisas com o objetivo de buscar soluções energéticas limpas e renováveis, sendo a energia elétrica um dos temas mais estudados ao redor do mundo, uma vez que diversos protótipos têm sido construídos para ampliar conhecimentos e possibilitar a construção de aeronaves totalmente elétricas.

É oportuno enfatizar que o uso de motores elétricos em aeronaves é uma realidade desde antes da construção de aparelhos mais pesados que o ar, sendo utilizados em dirigíveis no século XIX. Com a evolução da aviação no século XX, o primeiro voo em uma aeronave totalmente elétrica ocorreu em 1973 com a aeronave Militky MB-E1, um motoplanador convertido para uma aeronave movida a eletricidade. A partir deste marco, as aeronaves com essa característica têm se desenvolvido de forma constante e em 2011 o Pipistrel Taurus G4 venceu o concurso “Green Flight Challenge” (Desafio Voo Verde) da NASA, ao voar quase 200 milhas náuticas sem escalas, sendo este o voo mais longo feito por uma aeronave com motores totalmente elétricos até então.

Apesar dos avanços no desenvolvimento de tecnologias para a construção de aeronaves elétricas, ainda persistem diversos desafios a serem superados para viabilizar um projeto de avião sustentável economicamente, principalmente em aeronaves para transporte de passageiros, geralmente de médio e grande porte. Alguns desses problemas são o excessivo peso das baterias, a baixa autonomia e o tempo de recarga elevado. Esses problemas tornam inviável a construção de aeronaves dos portes citados, no momento do desenvolvimento deste trabalho.

Em contrapartida, a aviação de pequeno porte já possui aeronaves elétricas experimentais sendo comercializadas. Algumas questões operacionais, logísticas e científicas ainda precisam de amadurecimento para otimizar a comercialização. Em 2020, foi certificada a primeira aeronave elétrica do mundo, da fabricante Pipistrel, por meio da adaptação de uma aeronave com motor de combustão interna, o Pipistrel Virus, para que utilizasse um motor elétrico, criando, assim, o Pipistrel Velis Electro. Essa aeronave foi desenvolvida com o intuito de ser utilizada para instrução e foi certificada para voo em condições VFR diurnas. Atualmente, está sendo testada por várias instituições ao redor do mundo, incluindo a Força Aérea da Dinamarca e, bem breve, será operado no Brasil. Essas iniciativas denotam o interesse e o potencial emprego dessas aeronaves em diversas atividades, principalmente naqueles referentes à instrução aérea.

Com uma autonomia de aproximadamente uma hora e dez minutos, contando com o tempo reserva para voos VFR locais, nenhuma emissão de CO₂ e tempo de recarga das baterias de quarenta minutos a duas horas, o Pipistrel Velis Electro é uma aeronave que promete revolucionar a aviação. Tais evoluções denotam o desenvolvimento científico das características básicas essenciais a viabilidade econômica desse tipo de avião que são a autonomia, o tempo de recarga e baterias adequadas.

O Pipistrel Velis Electro será utilizado como modelo base de aeronave elétrica por ter sido a primeira aeronave deste tipo a ser certificada no mundo. No presente estudo analisar-se-ão suas características de operação, tanto na instrução de voo quanto financeiramente para a instituição que irá operá-lo, comparando-o com uma das aeronaves de instrução mais utilizadas no mundo, o Cessna 152.

1.1 PROBLEMA DA PESQUISA

De que forma o uso de aeronaves elétricas trará benefícios para a instrução de voo nas escolas de pilotagem?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar de que forma o uso de aeronaves elétricas trará benefícios para a instrução de voo nas escolas de pilotagem.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Analisar as particularidades das aeronaves elétricas e daquelas movidas com motores de combustão interna.
- b) Comparar o custo do combustível e da energia elétrica.
- c) Estudar a possibilidade de implantação de uma rede de estações de recarga para aeronaves elétricas.
- d) Concluir se o uso de aeronaves elétricas, com a tecnologia existente no momento, é vantajosa.

1.3 JUSTIFICATIVA

A evolução tecnológica tem se acentuado velozmente no século XXI com o surgimento de novas tecnologias que possibilitam a otimização dos mais variados recursos empregados, principalmente os que suportam a infraestrutura dos meios de transporte, em particular o aéreo. Nesse ínterim, ocorre uma demanda para redução do uso de combustíveis fósseis, a fim de reduzir as emissões de gases do efeito estufa, notadamente do CO₂, bem como uma diminuição dos custos financeiros referentes aos aspectos logísticos e operacionais. Na aviação, tal transição já vem ocorrendo com o lançamento de modelos de aeronaves movidas a eletricidade, em particular as destinadas a instrução de voo. Essas aeronaves apresentam vantagens e desvantagens que vão se modificando à medida que a evolução tecnológica avança e promove impactos na performance dos modelos.

Verifica-se que as vantagens fazem despontar o interesse para o uso de aviões elétricos, principalmente pelos benefícios ao meio ambiente e as reduções de custo na área operacional e de manutenção. Contudo, diversos questionamentos despontam ao se analisar o emprego incipiente de aviões elétricos no ensino de pilotagem.

Uma das principais características na formação de pilotos é o alto custo envolvido, que, por vezes, causa prolongamento ou desistência do treinamento por parte de alunos com situação financeira menos favorável. O uso de aeronaves elétricas poderá permitir um menor custo de formação, podendo, também, atrair mais alunos para as escolas de pilotagem.

Em face à constante busca por formas de energia alternativas, o cenário futuro é promissor para aeronaves que as utilizam, principalmente para aquelas que utilizam energia elétrica, uma fonte totalmente livre de emissões de CO₂ e renovável de diversas formas.

Apesar de ser um tema bastante discutido, poucos são os estudos que analisam o uso de aeronaves elétricas de pequeno porte na instrução de voo.

Com base nesse cenário, há a necessidade de se desenvolver um trabalho a fim de permitir que se conheçam as características de operação de tais aeronaves, o que se mostra importante para que as escolas de pilotagem possam se preparar para uma possível atualização ou substituição das aeronaves de suas frotas por aeronaves elétricas.

Este trabalho contempla a análise da operação de duas aeronaves: o Pipistrel Velis Electro e o Cessna 152, desde os valores envolvidos na compra das aeronaves, até a infraestrutura para instalação de estações para a recarga das baterias das aeronaves elétricas. A escolha desse tema foi motivada pela leitura de artigos que apontam os possíveis benefícios das aeronaves movidas a eletricidade no ensino de voo. Contudo, elencam-se pontos negativos que precisam ser solucionados para que a operação dessas aeronaves seja viável. Sendo assim, este trabalho visa a levantar informações

comparativas sobre os aspectos operacionais e logísticos dos dois modelos e concluir sobre uma projeção da viabilidade do emprego de aviões movidos a eletricidade nas instruções de voo.

1.4 METODOLOGIA

A presente pesquisa caracterizou-se como descritiva, com procedimento bibliográfico e documental e com abordagem tanto quantitativa como qualitativa.

No tocante à pesquisa descritiva, Cervo, Bervian e Silva (2007, p.61), abordam que “[...] a pesquisa descritiva observa, registra, analisa e correlaciona fatos ou fenômenos (variáveis) sem manipulá-los.” Como complemento, Barros e Lehfeld (2000, p.70) comentam que a pesquisa descritiva, “procura descobrir com que frequência um fenômeno ocorre, sua natureza, suas características, causas, relações e conexões com outros fenômenos.”

O procedimento para coleta de dados caracterizou-se como bibliográfico. Conforme Marconi e Lakatos (2003, p.183), sua finalidade é “colocar o pesquisador em contato direto com tudo o que foi escrito, dito ou filmado sobre determinado assunto, inclusive conferências seguidas de debates que tenham sido transcritos por alguma forma, quer publicadas, quer gravadas”. Sendo assim, a pesquisa em questão tem por finalidade realizar uma busca por informações teóricas e práticas sobre o assunto. No tocante ao procedimento documental, Marconi e Lakatos (2003, p.183) abordam que “[...] a característica da pesquisa documental é que a fonte de coleta de dados está restrita a documentos, escritos ou não, constituindo o que se denomina de fontes primárias. Estas podem ser feitas no momento em que o fato ou fenômeno ocorre, ou depois”.

A abordagem da pesquisa foi quantitativa, por ter se baseado no estudo da questão com profundidade, com a avaliação de informações sobre o objeto de estudo e na descrição detalhada sobre a situação observada e qualitativa por ter se baseado na interpretação dos fenômenos observados e na particularidade dos objetos estudados (THESAURUS, 2016).

A principal forma de obtenção de dados se deu por meio eletrônico, pela leitura de artigos científicos, artigos de revistas e sites de aviação, caracterizando uma coleta documental e bibliográfica. Os dados analisados envolveram informações técnicas sobre as aeronaves, custos diversos, legislações aeronáuticas e opiniões e relatos de especialistas e aeronavegantes.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

No primeiro capítulo contextualizou-se o problema, ao abordar, na introdução, o constante desenvolvimento das aeronaves elétricas, culminando na primeira certificação de uma aeronave

elétrica no mundo, e se essa aeronave, projetada para a instrução de voo, ofereceria benefícios nessa função frente a aeronaves com motores de combustão interna.

No segundo capítulo comparam-se os modelos Pipistrel Velis Electro e Cessna 152, detalhando-se a respeito das características de construção e operacionais dessas aeronaves. Além disso, analisaram-se os custos da energia elétrica e da AVGAS, bem como da implantação de uma rede de estações de recarga para aeronaves elétricas.

No terceiro capítulo, emitiram-se as considerações finais sobre a questão estudada.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 CARACTERÍSTICAS DO PIPISTREL VELIS ELECTRO E CESSNA 152

Em 10 de junho de 2020, após um trabalho conjunto entre a fabricante eslovena Pipistrel e a Agência de Segurança da Aviação da União Europeia (*European Aviation Safety Agency* - EASA) foi certificada a primeira aeronave elétrica do mundo, o Pipistrel Velis Electro. Essa aeronave foi construída a partir da conversão de um Pipistrel Virus SW 121, um dos modelos da empresa que utilizam motor a combustão interna, para utilizar um motor elétrico. O novo modelo conta com diversas modificações tecnológicas que impactarão na emissão de poluentes, na eficiência dos motores e nos custos operacionais.

O *Two-Seater*¹, destinado principalmente ao treinamento de pilotos, é uma aeronave revolucionária em termos de inovações tecnológicas e eficiência de custos, pode ser operado comercialmente e é totalmente aprovado para treinamento de pilotos, bem como outras operações. (PIPISTREL, 2020, online)

Seu motor elétrico, um E-811 certificado pela EASA, fornece 57,6 kW (equivalente a 77 hp) em potência máxima e, 49,2 kW (equivalente a 66 hp) em potência máxima contínua. Algumas das principais vantagens do uso desse motor são a redução do ruído, e a redução da emissão de gases de efeito estufa para zero. “Apresentando níveis de ruído de apenas 60 dBA, o Velis Electro é consideravelmente mais silencioso do que outros aviões e não produz gases de combustão.” (PIPISTREL, 2020, online)

Com relação ao ruído produzido pelos motores elétricos CALDERWOOD (2021, online) discorre assim:

Outros benefícios do Velis Electro sendo citados pela Pipistrel são o ruído mais baixo – cerca de 70% menor que uma aeronave de pistão – e as emissões.

“Isso permitiu a reintrodução das operações de voo durante os fins de semana e feriados, uma atividade que já havia sido banida em aeródromos com populações próximas, como Toussus-le-Noble, na França”, disse Taja Boscarol, da Pipistrel.

O baixo ruído produzido pelo motor ocasiona a redução da poluição sonora, e permite que a aeronave possa ser operada em aeroportos com restrições de ruído, além de diminuir o incômodo causado aos moradores na cercania dos aeroportos. Tal fato pode viabilizar o aumento da disponibilidade de horas de voo.

Por não produzir gases de efeito estufa, representa uma diminuição de 100% na emissão de CO₂ que as aeronaves movidas a AVGAS (RUSCHEL; HENKES, 2021). Dessa forma, o Velis Electro con-

¹ Aeronave de dois lugares.

tribuirá para que os impactos ao meio ambiente sejam reduzidos, e para que a aviação se torne mais sustentável.

Figura 1 - Pipistrel Velis Electro



Fonte: Pipistrel Group, 2020.

Já a série Cessna 150/152 de aeronaves traz o terceiro modelo de aeronave mais popular já fabricado, ficando atrás do Cessna 172 e do Piper Cherokee (CESSNA 150-152 CLUB, 2021, online). O Cessna 152 é uma aeronave da aviação geral com motor a combustão, possui dois lugares e, trem de pouso triciclo fixo e foi introduzida pela Cessna em 1977. Baseado no Cessna 150, o 152 é usado principalmente para treinamento de voo e uso pessoal. Essa aeronave é largamente empregada pelas escolas de pilotagem brasileiras para a instrução de voo.

Utiliza o motor Lycoming O-235, geralmente desenvolvendo potência máxima de 110 hp, podendo a série do motor variar de acordo com o número de série da aeronave.

Por utilizar um motor de combustão interna, essa aeronave produz gases de efeito estufa e ruído. De acordo com a Administração de Informações de Energia dos Estados Unidos (*U.S Energy Information Administration* – EIA), a AVGAS emite 8,31 Kg de CO₂ por galão. O Cessna 152 consome, aproximadamente, vinte e cinco litros de AVGAS por hora², realizando-se a conversão de litros para galões, obtém-se o valor de 6,6 galões por hora. Com base nessas informações, Realiza-se a multiplicação do consumo em galões pela quantidade de CO₂ emitida e obtém-se 54,8 Kg de CO₂ por hora.

² O consumo do Cessna 152 será abordado de forma detalhada no item 2.2.1

Figura 2 – Cessna 152

Fonte: O autor (2020)

O Pipistrel Velis Electro é anunciado em sua página oficial por €185.000 em sua configuração básica, que inclui uma estação de recarga³, com o comprador podendo optar por adicionais que aumentam o preço total.

A Escola de Aviação Civil SAFE, localizada em São José dos Campos - SP, anunciou em evento intitulado *Safe Event Day* a intenção de importar uma aeronave Pipistrel Velis Electro para ser utilizada na instrução de voo naquela escola. A empresa tem uma projeção dos custos para importação e homologação de uma aeronave no total de R\$ 1.600.000,00. (SAFE Escola de Aviação, 2021).

Por outro lado, o Cessna 152 teve sua produção encerrada em 1985; por esse motivo, as aeronaves desse modelo disponíveis para compra possuem cerca de 36 anos desde sua fabricação. Podem ser encontrados à venda por um preço que varia desde R\$98.000,00 até R\$350.000,00, dependendo de sua configuração interna de instrumentos, estado de conservação e horas disponíveis até a próxima TBO⁴. É comum se verificar o preço em torno dos R\$230.000,00.

Existe uma clara diferença de valor entre as aeronaves, e essa diferença poderá representar um desafio para as escolas que desejam operar o Pipistrel Velis Electro. O valor de compra dessa aeronave é elevado em relação ao valor do Cessna 152, praticamente na proporção de três para um. Porém, apesar do alto investimento necessário, o Pipistrel Velis Electro se mostra eficiente a longo prazo, pois é uma aeronave que reduzirá os custos de operação e manutenção, resultando em uma hora de voo mais barata para o público, tornando os cursos mais acessíveis, principalmente para aqueles com dificuldades financeiras.

A Escola de Aviação SAFE planeja adquirir o Pipistrel Velis Electro com a divisão dos custos em dezesseis cotas. Nesse sistema cada investidor aportará a quantia de R\$ 100.000,00. A ex-

3 Aeronaves elétricas necessitam que suas baterias sejam recarregadas, por isso são necessárias estações de recarga, que nada mais são que carregadores projetados para fornecer energia suficiente para que as baterias sejam carregadas de forma eficiente.

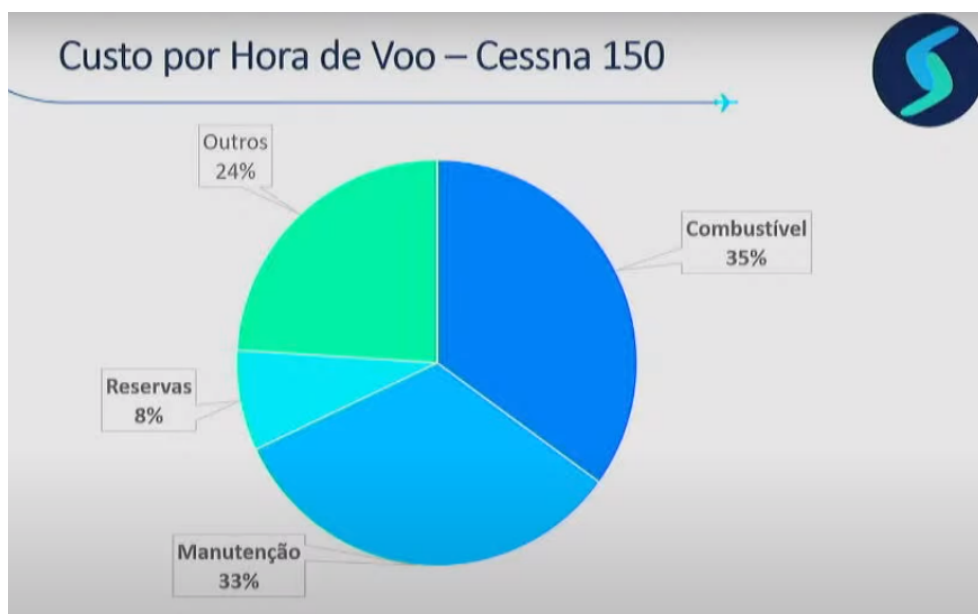
4 Número de horas ou data recomendada pelo fabricante do motor aeronáutico antes que necessite de grande revisão.

pectativa de retorno do investimento aos cotistas é vantajoso, em comparação aos existentes no mercado. (SAFE Escola de Aviação, 2021). No momento de realização deste trabalho todas as cotas já haviam sido vendidas, o que demonstra interesse de investidores por esse tipo de aeronave.

2.1.1 Custo da hora de voo das aeronaves

De acordo com a SAFE Escola de Aviação uma hora de voo na aeronave Cessna 150, movida por um motor de combustão interna, é calculada tendo como base os valores referentes ao combustível, manutenção, Reservas e outros gastos envolvidos na operação. Esses gastos foram organizados no gráfico apresentado no evento *Safe Event Day*.

Figura 3 – Custo por Hora de Voo – Cessna 150

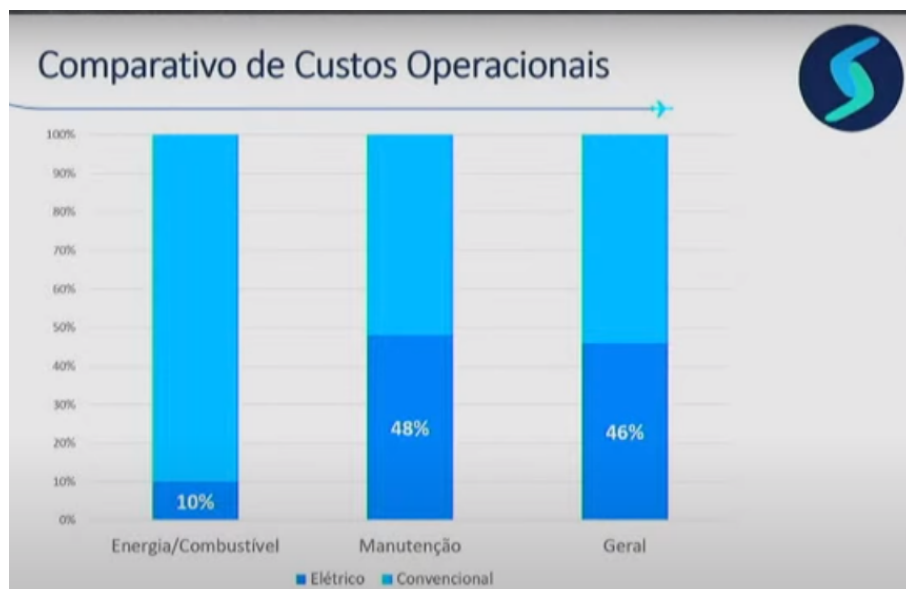


Fonte: SAFE Escola de Aviação (2021)

Uma hora de voo em uma aeronave Cessna 152, no momento da realização deste trabalho, custa em média R\$ 530,00. Para a realização do curso de Piloto Privado, que possui um mínimo de 35 horas de voo, mas geralmente alcança a 45 horas, o valor a ser pago pelo aluno⁵ é de R\$23.850,00, considerando um total de 45 horas de voo.

A hora de voo do Pipistrel Velis Electro, de acordo com a SAFE, terá um valor reduzido, pois haverá reduções nos custos operacionais, principalmente de combustível e manutenção.

⁵ Valor referente apenas ao pagamento das horas de voo, sem contar custos como deslocamento, alimentação e outros.

Figura 4 – Comparativo de Custos Operacionais

Fonte: SAFE Escola de Aviação (2021)

De acordo com o exposto na figura, há uma redução de 90% no gasto com o combustível, visto que a energia elétrica tem um custo menor que a AVGAS, além disso, há uma redução de 52% no custo da manutenção, visto que o motor elétrico possui uma manutenção mais simples que o motor de combustão interna, há também a redução de 54% dos demais custos de operação.

Com tais reduções no custo operacional da aeronave, a SAFE estipulou o valor de R\$345,00, como apresentou no *Safe Event Day*.

Figura 5 – Custo estimado da hora de voo do Pipistrel Velis Electro

Custos operacionais e reservas*	R\$215,00
Dividendos	R\$130,00
Valor da hora de voo	R\$345,00

Fonte: SAFE Escola de Aviação (2021)

Com esse valor, o curso de Piloto Privado passará a custar R\$15.525,00, considerando 45 horas de voo. Esse valor representa uma diminuição de 35% do custo do curso, caso fosse realizado no Cessna 152. Tal redução no preço da hora de voo traz benefícios tanto para as escolas de pilotagem, que poderão receber mais alunos devido ao baixo preço, o que aumentaria a quantidade de pacotes de horas de voo adquiridos pelos alunos. Dessa forma, a diminuição do preço da hora de voo pode acarretar aumento das margens de lucro das escolas.

Para os alunos, a redução no preço da hora de voo demandará menores aportes financeiros, facilitando o pagamento e consequentemente reduzindo a taxa de evasão, visto que devido ao alto preço, muitos alunos abandonam o curso, o que poderá causar um aumento no número de pilotos formados. Além disso, por ser necessário um menor investimento, os alunos poderão reduzir o tempo de formação.

2.2 CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DO VELIS ELECTRO E CESSNA 152

2.2.1 Autonomia, alcance e tempo de recarga/abastecimento

A autonomia é o tempo que uma aeronave consegue permanecer em voo com determinada quantidade de combustível e alcance é a distância que se consegue voar com determinada autonomia - que pode variar de acordo com as condições meteorológicas⁶ encontradas em rota.

O Pipistrel Velis Electro, de acordo com o Certificado de Tipo emitido pela EASA, é homologado apenas para operação VFR diurna. E tem uma autonomia de cinquenta minutos mais a reserva⁷.

Durante a preparação da aeronave para a decolagem, apesar de possuir instrumentos digitais modernos, o Velis Electro possui um checklist simplificado, necessitando que apenas quatro interruptores sejam usados. Além disso, seu motor não precisa de tempo para aquecer antes do voo. “Nessa aeronave você só precisa de 4 interruptores e está pronto, não precisa de aquecimento, nada, então, quatro interruptores e está pronto.” (THE FLYING REPORTER, 2020). Por possuir um motor movido por meio da indução elétrica, ao reduzir a potência para a mínima, este é desligado, voltando a funcionar tão logo seja comandado aumento de potência. Este procedimento simplificado permite que a aeronave passe menos tempo no solo realizando checklists, e, com o desligamento de seu motor nas paradas, reduz o ruído e economiza bateria.

De acordo com o site oficial da fabricante, a velocidade de cruzeiro do Velis Electro é de noventa nós. A essa velocidade, com uma autonomia de cinquenta minutos e desconsiderando as condições meteorológicas, a aeronave pode voar setenta e cinco milhas náuticas até que precise recarregar. Porém, a Pipistrel afirma que o Velis Electro é projetado para voos locais, devendo trabalhar ao lado de outras aeronaves da fabricante. Portanto, voos para localidades distintas daquela prevista

6 Condições meteorológicas afetam diretamente o desempenho de uma aeronave e estão constantemente em mudança. Por esse motivo, o desempenho das aeronaves é definido em uma condição estabelecida como padrão, sem a interferência das constantes variações ocorridas.

7 Toda aeronave ao realizar um voo deve possuir uma autonomia maior que a necessária para o mesmo, para que possa permanecer no ar em espera ou voar para um aeródromo alternativo. Essa autonomia extra é chamada de reserva e seu tempo varia de acordo com o tipo de voo a ser realizado.

para a decolagem não fazem parte de uma missão típica. Autonomia para missões locais é, portanto, o parâmetro apropriado para citar. (PIPISTREL, 2020, online).

Existe uma empresa aérea que opera o Velis Electro em uma linha regular, com algumas paradas para recarga. A Nebo Air, localizada na Inglaterra, oferece um voo partindo do Aeródromo Damyns Hall com destino ao Aeródromo de Wickenby, realizando uma escala para recarga no meio da rota. O voo é realizado em duas etapas: a primeira tem como destino o campo de aviação de Shipmeadow, base de operações da Nebo Air, e tem um tempo de voo de 45 minutos; a segunda tem como destino o Aeródromo de Wickenby, com um tempo de voo de 55 minutos.

Localizado em uma fazenda de 38 acres no leste da Inglaterra, o Campo de Aviação Shipmeadow é a base de operações da Nebo Air, que oferece uma combinação de atividades que inclui experiências de voo, interação com animais e uma ampla gama de tratamentos de Bem-Estar e Yoga.

O serviço oferecido pela empresa começa no Aeródromo Damyns Hall, na região leste da capital Londres. O tempo de voo é de 45 minutos até a escala na base da companhia no campo de aviação de Shipmeadow.

Demora pouco menos de uma hora para recarregar a bateria da aeronave para o próximo voo até o destino final – segundo a Nebo, tempo suficiente para uma xícara de chá e uma introdução à vida na fazenda.

Então, a próxima etapa tem como destino o Aeródromo Wickenby, em Lincolnshire, em um voo de 55 minutos. (BASSETO, 2021, online)

No tocante ao tempo de recarga das baterias, a fabricante Pipistrel destaca o seguinte aspecto no seu campo de perguntas frequentes, constante no seu endereço eletrônico:

A lógica de carregamento foi ajustada em um compromisso entre o tempo de carregamento, robustez da temperatura ambiente e vida útil do sistema da bateria. Um ciclo normal de carregamento de 35% a 95% SOC (estado de carga) leva até 1 hora e 20 minutos. Uma carga completa de 30% a 100%, dependendo da temperatura ambiente e da idade da bateria, leva até 2 horas. A experiência operacional e as melhorias técnicas nos permitirão ativar perfis lógicos de carregamento para tempos de carregamento mais curtos.

Qual saída de alimentação é necessária para carregar as baterias?

Embora uma tomada de parede normal monofásica de 240 VCA possa ser usada para cobranças noturnas, a Pipistrel recomenda uma conexão trifásica de 380 VCA para permitir o carregamento rápido. (PIPISTREL, 2021, online)

De acordo com as especificações apresentadas acima, o tempo de recarga varia entre 1h 20 min a até 2h. Esse fato irá impactar diretamente no arranjo das escalas de voo e nas horas disponíveis para as aulas práticas. A empresa trabalha em melhorias técnicas aliadas à experiência profissional para reduzir os tempos de carregamento. A Pipistrel ainda recomenda uma conexão trifásica⁸ de 380 VCA na rede elétrica, para possibilitar carregamento mais rápidos.

O Cessna 152 é homologado para voos VFR diurnos e pode ser homologado para voos VFR noturnos e, para realizar voos IFR, caso possua os instrumentos necessários. De acordo com o ma-

⁸ No sistema trifásico, a rede elétrica dispõe de quatro condutores, três condutores de fase (R, S, T) e um condutor neutro. Assim como no sistema bifásico, as tensões de fase e linha podem variar entre 127/220V ou 220/380V e em algumas situações os sistemas trifásicos fornecerem em média potências de até 75KW (75000W), muito usado em indústria e comércio.

nual de operações, o modelo tem uma capacidade de 98,4 litros, sendo 92,7 litros utilizáveis, com um consumo de vinte e cinco litros por hora (comumente utilizado para cálculos de autonomia nas escolas de pilotagem). Esse consumo pode mudar de acordo com as condições meteorológicas encontradas em voo, com a altitude mantida durante o voo e o ajuste de potência e mistura⁹ que for configurado pelo piloto, podendo ser maior ou menor¹⁰. Com essa quantidade de combustível e consumo, a aeronave tem uma autonomia de três horas e quarenta e dois minutos. Por outro lado, considerando trinta minutos de reserva VFR, a aeronave possui uma autonomia de três horas e doze minutos.

Após acionado, o Cessna 152 necessita que seu motor seja mantido em regime de marcha lenta por 5 a 10 minutos antes da decolagem, para que seja aquecido. Diferentemente do Velis Electro, seu motor não é desligado durante as paradas no solo, além de possuir diversos checklists a serem realizados. Esses procedimentos fazem com que o Cessna 152 permaneça de doze a quinze minutos no solo antes de realizar a decolagem, consumindo combustível e produzindo gases de efeito estufa e ruído.

A velocidade de cruzeiro média do Cessna 152 é de aproximadamente oitenta e cinco nós. A essa velocidade, com uma autonomia de três horas e doze minutos e desconsiderando as condições meteorológicas, a aeronave pode voar duzentas e setenta e duas milhas náuticas, até que precise reabastecer. Por outro lado, o reabastecimento completo leva de quinze a vinte minutos, se realizado por apenas uma pessoa, podendo esse tempo ser inferior a dez minutos, se essa pessoa receber auxílio. Com isso, o Cessna 152 pode realizar até três horas de voo sem precisar de reabastecimento e passar, em média, quinze minutos no solo para que a operação seja feita.

Os motores aeronáuticos, para serem eficientes, devem apresentar uma alta eficiência térmica, que “é a relação entre a potência mecânica produzida e a potência térmica liberada pelo combustível.” (HOMA, 2007, p. 28). nesse quesito, os motores elétricos podem alcançar eficiências de até 90%. “Na prática, a eficiência dos motores aeronáuticos é da ordem de 25% a 30%, o que é muito pouco, considerando-se que os motores elétricos de alta potência têm eficiências que superam facilmente 90%” (HOMA, 2007, p.28). Isso mostra que os motores elétricos conseguem um aproveitamento quase total da energia armazenada nas baterias, enquanto motores a combustão interna perdem grande parte da energia que o combustível pode fornecer na forma de calor. Tal fato poderá impactar nos custos de operação, visto que um motor elétrico não desperdiçará energia da mesma forma que um motor aeronáutico convencional.

9 O termo “mistura” refere-se à quantidade de combustível disponibilizada para a formação da mistura de ar e combustível que será fornecida para queima nos cilindros. Essa quantidade pode ser ajustada pelo piloto utilizando a manete de mistura, e por vezes resulta em uma economia de combustível, aumentando a autonomia.

10 Para cálculos precisos, o manual da aeronave deverá ser consultado, no qual constam tabelas específicas para o cálculo de consumo.

Os motores elétricos são capazes de fornecer potência contínua para aeronave em todas as fases do voo, fato esse que viabiliza a operação em pistas com comprimentos reduzidos. Esses componentes não sofrem variação de rendimento com a altitude, visto que não necessitam de oxigênio para seu funcionamento. Isso se traduz em redução dos gastos para os operadores, pois, ao utilizarem aeronaves com motores de combustão interna, a escolha de um nível de voo, ajuste de mistura e densidade do ar afetam drasticamente o consumo e o desempenho desses motores, resultando em gastos principalmente devido ao consumo de combustível.

2.2.2 Características de manutenção

Motores elétricos possuem menos partes móveis que motores a combustão interna; por esse motivo a manutenção a ser realizada é mais simples e o motor se torna muito mais confiável e mais seguro além de reduzir os custos de manutenção. No caso do Velis Electro, a fabricante apresenta a seguinte observação com relação ao motor do modelo:

[...] Empregando o motor elétrico certificado pelo tipo do Pipistrel, o Velis Electro fornece potência instantaneamente e sem hesitação - usando uma interface de usuário simplificada em uma cabine que mantém a mesma aparência de seus irmãos com alimentação convencional. O número reduzido de peças móveis diminui drasticamente os custos de manutenção e o risco de mau funcionamento é ainda mais minimizado graças ao seu sistema integrado de monitoramento de saúde contínuo. [...] Essa confiabilidade aprimorada permite que o Velis Electro tenha mais do que o dobro da vida útil dos elementos do grupo motopropulsor em comparação com a geração anterior de aviões elétricos. (PIPISTREL, 2021, online)

As características apresentadas pela Pipistrel foram abordadas pela SAFE Escola de Aviação em sua palestra no *Safe Event Day*. De acordo com os palestrantes, por serem mais simples, os motores elétricos proporcionam mais segurança, aumentam a economia e os índices de disponibilidade das aeronaves, visto que as manutenções a serem realizadas não levarão muito tempo para serem realizadas. (SAFE Escola de Aviação, 2021)

O custo de manutenção de um motor elétrico, por possuir reduzido número de partes móveis é, a princípio, menor que o custo de manutenção de um motor a combustão interna comum, porém, esses motores necessitam de manutenção em componentes específicos. De acordo com a SAFE Escola de Aviação, o valor da manutenção do Velis Electro é 48% do valor da manutenção de uma aeronave com motor de combustão interna.

Os rolamentos de alta velocidade dentro dos núcleos do motor precisarão ser monitorados quanto às condições e substituídos em intervalos regulares. As bobinas podem entrar em curto devido a contaminantes, abrasão, vibração ou surtos de tensão, o que exigiria que o motor fosse removido e reconstruído. Danos térmicos de componentes isolantes também são possíveis, o que pode resultar em perda de desempenho. (FLAIG, 2020, online)

A grande diferença está no fato de que as baterias possuem uma vida útil, e após seu término, precisam ser completamente substituídas. De acordo com a fabricante Pipistrel:

Qual é a vida útil dos componentes do grupo motopropulsor, incluindo as baterias?
O TBO (tempo entre revisão) do motor é de 2.000 horas. A limitação inicial imposta às baterias é de 500 horas. A Pipistrel espera aumentar a TBO das baterias à medida que testes adicionais e experiência operacional são acumulados. (PIPISTREL, 2020, online)

Apesar de ser um procedimento simplificado quando em comparação com a manutenção em motores a combustão interna, pode resultar num custo significativo, devido à necessidade da compra de novas baterias.

Cabe salientar que as baterias têm passado por diversas melhorias tecnológicas ao longo do tempo, com o incremento de novos materiais e componentes. Esse fato é abordado na palestra *Safe Event Day* na qual um dos palestrantes aborda a evolução das baterias elétricas automotivas. Segundo descreve essa instituição, o preço das baterias tem-se reduzido ao longo dos anos. Para justificar essa afirmação é apresentado um estudo da evolução das baterias a partir de 2010 até 2019 com o preço decaindo de \$1.160,00 em 2010 para \$156,00, em 2019. A projeção para o ano de 2024 é que as baterias custem menos de \$100,00 (SAFE Escola de Aviação, 2021). Tamanha redução de valor do produto, ocorre devido ao constante desenvolvimento na forma de construção das baterias pelo uso de novos compostos, o que aumenta sua capacidade de armazenamento, reduz o peso, e, consequentemente aumenta drasticamente a eficiência. Isso as torna mais baratas, o que impacta diretamente nos custos operacionais das aeronaves elétricas.

Ainda não há legislação específica no Brasil para as manutenções em aeronaves elétricas, mas assume-se que exista a necessidade de inspeções programadas após determinado número de horas, Inspeção Anual de Manutenção (IAM) e TBO. A TBO do motor do Velis Electro é realizada a cada 2000 horas, de acordo com a fabricante.

De acordo com a IS N° 91.409-001 Revisão B (BRASIL, 2020, p. 5), o tempo recomendado pelo fabricante Lycoming para a realização da revisão geral ou *Time Between Overhaul* (Tempo entre revisões gerais) é de 2400 horas ou doze anos. Essas manutenções costumam ser as mais caras realizadas nas aeronaves com motores a combustão interna. Seu custo é tão significativo que o preço de compra da aeronave pode variar, dependendo da quantidade de horas disponíveis até a realização dessa revisão. Além disso, Realizam-se manutenções programadas a cada cinquenta horas de voo, manutenções corretivas não programadas - que são realizadas quando há a necessidade de correção de alguma falha ou substituição de algum componente antes do tempo estipulado para a revisão programada - bem como a Inspeção Anual de Manutenção (IAM). Tais manutenções exigem que a aeronave fique parada regularmente, em períodos que podem ir de um dia a semanas, diminu-

indo sua disponibilidade para a instrução, principalmente em escolas que tem uma grande quantidade de voos a serem realizados.

2.3 UTILIZAÇÃO DO VELIS ELECTRO E DO CESSNA 152 NO CURSO DE PILOTO PRIVADO

Os requisitos para os cursos de piloto privado de avião são definidos na IS 141 007A (BRASIL, 2020, p. 138-139) e as escolas de pilotagem devem escolher aeronaves que tenham as características necessárias para cumprir com esses requisitos. Para o curso de piloto privado de avião, os requisitos mínimos são:

- (i) Um total de 40 (quarenta) horas de instrução e voo solo, ou 35 (trinta e cinco) horas de instrução e voo solo, se estas foram efetuadas, em sua totalidade, durante a realização completa, ininterrupta e com aproveitamento de um curso de piloto privado de avião aprovado pela ANAC. As horas totais devem incluir, pelo menos:
 - (A) 20 (vinte) horas de instrução duplo comando;
 - (B) 10 (dez) horas de voo solo diurno no avião apropriado para a habilitação de classe que se deseja obter, incluindo 5 (cinco) horas de voo de navegação;
 - (C) 1 (um) voo de navegação de, no mínimo, 150 (cento e cinquenta) milhas náuticas, equivalentes a 270 (duzentos e setenta) quilômetros durante o qual se realizem, ao menos, 2 (duas) aterrissagens completas em aeródromos diferentes;
 - (D) a instrução de voo recebida em um dispositivo de treinamento para simulação de voo, qualificado e aprovado pela ANAC, é aceitável até um máximo de 5 (cinco) horas;
 - (E) 3 (três) horas de instrução em voo noturno, que incluam 10 (dez) decolagens e 10 (dez) aterrissagens completas, onde cada aterrissagem envolverá um voo no circuito de tráfego do aeródromo.

Os requisitos citados são os mínimos requeridos para a concessão da licença de piloto privado de avião, o que significa dizer que, de acordo com o programa de treinamento da escola de pilotagem a quantidade de horas necessárias para concluir o curso pode ser maior.

Em posse das informações referentes as principais características das aeronaves e dos requisitos do curso de piloto privado de avião, pode-se fazer uma análise de como o curso seria ministrado em cada aeronave.

Os itens “(A)” e “(B)” dos requisitos falam de vinte horas de instrução em duplo comando¹¹ e dez horas de voo solo¹² diurno, incluindo cinco horas de navegação. Ao todo, nessas duas etapas são necessárias trinta horas de voo.

O Pipistrel Velis Electro, como citado, tem uma autonomia de cinquenta minutos. Para que as trinta horas sejam voadas, serão necessários trinta e seis voos de cinquenta minutos. Porém, o tempo de voo (tempo entre a decolagem e o pouso) se mostra similar ao do Cessna 152, pois este

¹¹ Atividade didática de voo em que o instrutor transmite ao aluno os conhecimentos teóricos e práticos da missão a ser realizada. (ANAC, 2013, online)

¹² Uma pessoa é engajada num voo solo quando ela é o único operador dos comandos e está sozinha no comando de uma aeronave em voo (ANAC, 2013, online)

permanece no solo por, pelo menos, 10 minutos antes de decolar, para realização de cheques e aquecimento do motor, a diferença reside no fato de a hora de voo ser contada a partir do acionamento do motor da aeronave, o que permite que o Cessna 152 realize missões de uma hora, mas, desse tempo, por volta de 50 minutos são de voo. Para que aeronaves elétricas sejam efetivamente introduzidas na instrução de voo, será necessário uma revisão da legislação vigente por parte dos órgãos reguladores.

Há a fase de navegações, onde os voos terão mais de uma hora de duração, como na navegação de 150 milhas náuticas citada no item “(C)”. Considerando o alcance analisado, para que a navegação de 150 milhas náuticas seja realizada com o Velis Electro, será necessário fazer, pelo menos, uma recarga em um dos aeródromos da rota. A questão que surge é se o aeródromo em questão possui infraestrutura para receber aeronaves elétricas. As navegações só poderão ser realizadas se os aeroportos envolvidos possuírem locais para a recarga das baterias.

O Pipistrel Velis Electro não é homologado para o voo VFR noturno, logo, a escola de pilotagem deverá dispor de outra aeronave que possa realizá-lo nessas condições ou possuir acordos com outra escola de pilotagem. Por outro lado, o Cessna 152 possui autonomia para realizar todos os voos de uma hora e realizar cada umas das navegações do curso praticamente sem precisar reabastecer e pode ser homologado para as missões noturnas. Essa última fase do treinamento visa ensinar o aluno a como navegar do ponto A até o ponto B; por essa razão a navegação mais longa realizada no curso será a de 150 milhas náuticas, que, de acordo com o alcance analisado no item anterior, pode ser feita pelo Cessna 152 sem que seja preciso reabastecer. Por razões de segurança, algumas escolas optam por realizar um abastecimento durante essa navegação. Essa aeronave pode ser homologada para o voo VFR noturno, não sendo, nesse caso, necessário o uso de outra aeronave para a realização desse voo. Essa fase do treinamento geralmente leva de duas horas e meia a três horas de voo, dependendo do desempenho da aeronave, completando assim o mínimo de 35 horas de voo exigidas.

O Pipistrel Velis Electro poderá ser utilizado para a realização do curso de piloto privado, porém, algumas etapas do curso não podem ser realizadas na aeronave, principalmente devido a sua baixa autonomia de voo e por não possuir homologação para voos noturnos. Nesse caso, uma aeronave com motor a combustão, com maior autonomia e homologação para voos noturnos deverá ser utilizada.

2.4 PLANEJAMENTO DE VOOS PARA A UTILIZAÇÃO DO VELIS ELECTRO

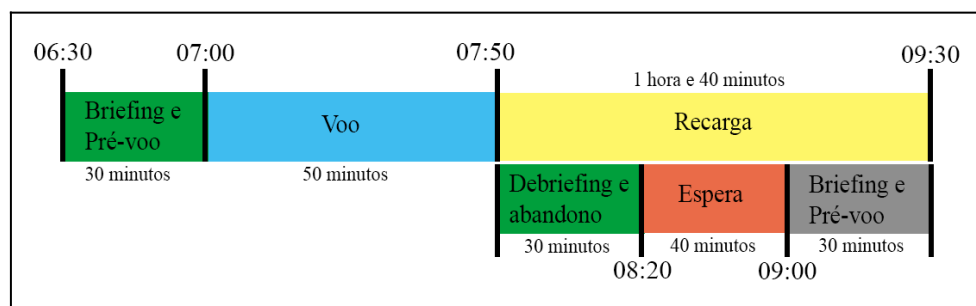
O tempo a ser considerado para uma instrução é composto pelo tempo do *briefing* e preparação da aeronave, do voo e para reabastecimento, abandono e *debriefing*.

Para a operação do Pipistrel Velis Electro em voos locais, as principais diferenças existentes são o tempo de voo de cada missão - no máximo cinquenta minutos - e tempo de recarregamento das baterias que, de acordo com o site da fabricante, são necessários no mínimo uma hora e vinte minutos, podendo esse tempo ser estendido para duas horas.

Para voos locais, ou seja, realizados nas proximidades do aeroporto de partida, é comum que as escolas de pilotagem exijam que o aluno se apresente trinta minutos antes da hora de acionamento, para que seja realizado o *briefing* e a preparação da aeronave. O voo tem a duração de uma hora e as fases de reabastecimento, abandono e *debriefing* duram de trinta a quarenta minutos.

Visando ao melhor aproveitamento do tempo disponível, apresenta-se por meio do planejamento de uma escola de pilotagem fictícia, o início das operações logo após o nascer do sol - considerado às 06 h 50 min - e encerrará suas operações antes do pôr do sol, considerado 17 h 28 min. Esses horários são o nascer do sol mais tarde e o pôr do sol mais cedo previstos para o ano de 2021, mas variam de acordo com a época do ano, típicos no planejamento da atividade aérea de instrução. O Pipistrel Velis Electro, por ser homologado apenas para voos VFR diurnos, deverá operar entre o nascer e o pôr do sol.

Figura 6 - Distribuição do tempo em um voo de instrução no Velis Electro



Fonte: O autor (2021)

Considerando o exposto, cada vaga da escala de voo será montada da seguinte maneira: trinta minutos para o *briefing*, cinquenta minutos de voo e 1 h 40 min de recarga, abandono e *debriefing*.

O próximo aluno da escala pode se apresentar trinta minutos antes do término do carregamento, como esse aluno precisará de trinta minutos para realizar seu *briefing* e a inspeção pré voo, a aeronave estará carregada ao fim dos trinta minutos previstos para essa fase. O total será de 3 h, mas pode ser reduzido para 2 h 30 min caso o próximo aluno se apresente antes da carga completa da aeronave. Ou seja, a escala deve ser montada respeitando-se um intervalo de, no mínimo, 2 h 30 min entre os horários previstos de decolagem.

Tabela 1 - Escala de voo para instrução no Velis Electro

Escala de voo para utilização de três aeronaves Pipistrel Velis Electro									
	Nascer do sol: 06:50					Pôr do sol: 17:28			
Velis Electro A	07:00	-	09:30	-	12:00	-	14:30	-	
Velis Electro B	-	08:00	-	10:30	-	13:00	-	15:30	
Velis Electro C	-	09:00	-	11:30	-	14:00	-		

Fonte: O autor (2021)¹³

Para uma operação eficiente, os tempos de recarga devem ser cuidadosamente estudados pelas escolas que utilizarão o Velis Electro, visto que podem variar de acordo com o tipo de carregador utilizado e carga restante na bateria. Esses tempos impactarão diretamente na disponibilidade da aeronave, que deverá possuir uma escala adaptada para as características peculiares de operação na escola.

2.5 CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA E GASOLINA DE AVIAÇÃO – AVGAS

Um dos principais motivos que atraem os consumidores para o uso de energia elétrica é o baixo custo que possui, por ser uma fonte renovável.

No Brasil, o setor elétrico é regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. A conta a ser paga pela energia elétrica consumida, de acordo com o site da ANEEL é “[...] é composta pelos custos de fornecimento da energia, pelos encargos e pelos tributos. Os encargos setoriais e os tributos são instituídos por leis.” (Superintendência de Gestão Tarifária - SGT, 2016, online)

Para calcular o gasto com energia elétrica necessária para operar o Pipistrel Velis Electro, empregaram-se os seguintes dados: potência do carregador fornecido com a aeronave, que de acordo com o site da fabricante é de 20kW ou 20000W; estimativa de carregamentos realizados utilizando a escala de voo citada no item anterior e um simulador de consumo energético disponibilizado pela ENEL, uma das empresas que fornecem energia no estado do Rio de Janeiro.

Considerando onze voos por dia, serão realizadas onze recargas de 1 h 40 min, totalizando 18 h 20 min de carga por dia e, uma vez que a escola opera vinte e seis dias por mês, serão 476 h 20 min de recarga por mês. Para que a simulação chegue mais próxima do valor real, dividem-se as 476 h 20 min em trinta dias, obtendo-se aproximadamente 15 h 50 min por dia. O valor a ser considerado no simulador será de dezessete horas por dia, para que haja uma margem de erro, caso as aeronaves passem mais de quarenta minutos recarregando.

O planejamento de dezessete por dia, durante trinta dias e a potência do carregador, que é de 20kW que equivalem a 20.000W, geram um valor estimado em R\$8.735,69 na simulação.

¹³ A tabela citada exemplifica uma possível configuração da escala de voo, com três aeronaves, que leva em consideração as características de operação da aeronave, os horários do nascer e por do sol e tempo suficiente para garantir bom aproveitamento da instrução pelo aluno, visto que os *briefings* e *debriefings* são essenciais para o aprendizado.

Considerando que foram realizados onze voos por dia, por um período de vinte e seis dias, gera um total de 286 voos. Dividindo-se o valor da energia a ser paga no mês e a quantidade de voos realizados, obtém-se o valor de R\$30,54 por voo. Deve-se salientar que esse é o valor apenas da energia gasta, não incluídos outros valores que geralmente compõe o custo da hora de voo, como custos de manutenção, recuperação do valor gasto na compra aeronave e pagamento do instrutor de voo.

Para a realização de uma hora de voo, o Cessna 152, utilizará, em média, vinte e cinco litros de AVGAS por hora, considerando que a escola de pilotagem em questão voe as mesmas onze horas por dia, durante vinte e seis dias, serão utilizados 7.150 litros. O preço médio do litro de AVGAS, na data da realização deste trabalho, é de R\$12,00. Com esses dados, obtém-se o valor de R\$85.800,00. Dividindo-se esse valor pela quantidade de voos, o valor por hora é de R\$300,00 por voo.

Com base nas informações apresentadas, e no exposto pela SAFE Escola de Aviação, o custo da energia elétrica é de aproximadamente 10% do valor da AVGAS, representando uma redução de 90% do valor, tornando assim a operação da aeronave elétrica mais barata e acessível.

2.6 IMPLANTAÇÃO DA REDE DE ESTAÇÕES DE RECARGA

O Pipistrel Velis Electro, e aeronaves elétricas em geral, possuem uma baixa autonomia, o que significa que voam curtas distâncias até que precisem recarregar suas baterias. Para isso, as rotas devem ser planejadas de uma forma a sempre haver aeroportos com a infraestrutura para recarga de aeronaves elétricas disponível ao longo da rota. Porém, como as aeronaves elétrica ainda não voam de forma frequente, os aeroportos ainda não contam com locais para recarga de baterias, sendo necessário que o operador da aeronave, mediante acordos e/ou convênios instale as estações de recarga, ou mantenha guardado nos aeroportos os carregadores portáteis para a aeronave.

A Pipistrel disponibiliza para venda diferentes modelos de estações de recarga; no momento da aquisição da aeronave, o comprador pode optar por adquirir estações de recarga extras, e são disponibilizadas quatro opções: carregador *off-board* de 10kW, carregador *Off-Board* de 20kW, estação de carga *Skycharge* com duas tomadas de 15kW e a estação de carga *Skycharge* com duas tomadas de 20kW. Os carregadores *Off-Board* podem ser movidos, diferentemente das estações de recarga, que devem ser instaladas em um local fixo. Essas estações oferecem tempos de recarga diferentes de acordo com sua potência, o que deve ser considerado no momento de sua compra.

O preço dos equipamentos citados é de, respectivamente: €10.900, €13.900, €36.000 e €36.000.

Figura 7 – Carregador *off-board*



Fonte: Pipistrel Group (2020)

Além dos aspectos levantados, é necessário analisar as rotas de navegação realizadas pela escola de pilotagem e a viabilidade da instalação ou alocação de estações de carga ou carregadores *Off-Board* em aeroportos ao longo dessas rotas, a fim de criar uma rede de aeroportos nos quais a escola poderá operar.

Figura 8 – Estação *Skycharge*



Fonte: Pipistrel Group (2018)

No estado norte-americano da Califórnia, quatro Pipistrel Alpha Electro¹⁴ foram adquiridos e começaram a ser testados no âmbito do “Projeto Aviação Sustentável”, que “garantiu uma doação de US \$1 milhão para começar a construir uma rede de estações de recarga, hangares e um progra-

¹⁴ Aeronave elétrica da fabricante Pipistrel não homologada pela EASA, operando na categoria “Experimental”.

ma de treinamento de voo, que inclui bolsas de estudo para apoiar alunos de baixa renda” (MOORE, 2018, online).

A instalação de estações de recarga em aeródromos dentro do alcance das aeronaves elétricas, permite a realização de navegações, parte essencial da formação dos pilotos, e oferece mais oportunidades para a utilização dessas aeronaves, rumando para a substituição de aeronaves com motores de combustão interna.

Essas estações de recarga estrategicamente localizadas, a nada mais do que 45 milhas náuticas de qualquer uma das outras três, permitirão que uma frota de quatro treinadores Pipistrel Alpha Electro saiam do circuito de tráfego¹⁵ e, assim, removerão a principal limitação que até agora impediu que as escolas de voo investissem em números maiores. (MOORE, 2016, online)

Para a instalação de cada estação de recarga, o projeto forneceu US \$15.000, e em 2018 duas estações já haviam sido instaladas, com uma terceira sendo planejada e a quarta tendo planos para ser montada em um automóvel, que poderia dar suporte para voos mais longos.

Oldham disse que o projeto está funcionando abaixo do orçamento, e dois dos quatro aeroportos (Fresno Chandler Executive e Reedley Municipal) onde as estações de recarga foram originalmente planejadas agora têm esse equipamento crítico no local. Uma terceira será instalada na William Robert Johnston Municipal em Mendota, e a quarta poderá ser móvel. Oldham disse que o plano original para instalar aquela estação de carregamento em Fresno Yosemite International foi colocado em espera (é um aeroporto de Classe C movimentado e menos propício do que os outros para a realização de treinamento de voo em aeronaves elétricas), e que o quarto carregador pode acabar em um veículo que pode ser despachado para qualquer número de aeroportos, estendendo o alcance de *cross-country* de uma aeronave atualmente prevista para suportar voos de uma hora com uma reserva de 30 minutos. Oldham disse que o desenvolvimento de estações de carregamento multimodais provavelmente será útil também para veículos terrestres elétricos, outro aspecto da colaboração que ajudará a tornar o transporte sustentável em muitas formas. (MOORE, 2018, online)

Tais infraestruturas poderão atender outras aeronaves elétricas, além de apresentar potenciais benéficos aos aeroportos nos quais estarão instaladas, pois se estimulará o desenvolvimento na área, como atração de proprietários e operadores de aeronaves elétricas, construção de novos hangares e incentivo a substituição de aeronaves com motores a combustão interna por elétricas.

¹⁵ O autor refere-se a possibilidade de as aeronaves voarem para outros aeródromos, saindo do “circuito de tráfego padrão” ou seja, realizando outros voos além dos voos de instrução locais.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho buscou analisar as formas pelas quais o uso de aeronaves elétricas trará benefícios para a instrução de voo nas escolas de pilotagem no Brasil.

É incontestável que as aeronaves elétricas estão sendo desenvolvidas rapidamente. A homologação do Pipistrel Velis Electro pela EASA em 2020 caracteriza bem essa assertiva. Tal evolução traz, de imediato, grandes benefícios ao meio ambiente, principalmente àqueles relacionados à redução da emissão dos gases de efeito estufa e a poluição sonora. As emissões de gases por uma aeronave elétrica são praticamente inexistentes ao passo que aeronaves a combustão liberam 54,8 Kg de CO₂ por hora de voo. Ao adotarem o novo padrão de motorização nos seus meios aéreos, as escolas de pilotagem prestarão uma grande contribuição nos esforços para redução dos níveis de liberação do CO₂ a nível nacional e mundial. No tocante à emissão de ruídos, o motor do Velis Electro produz apenas 60 dBA. Sendo assim, o incômodo causado pela poluição sonora aos moradores na cercania dos aeroportos será drasticamente reduzido.

Outro benefício advindo está relacionado aos investimentos a serem aportados nos pacotes de horas de voo ofertados aos alunos. Essa diminuição de custos é uma consequência proveniente da evolução tecnológica das baterias, da melhoria da eficiência dos motores elétricos, do não uso dos combustíveis fósseis e da redução dos custos operacionais relacionados à manutenção e às operações de solo.

Na composição dos custos operacionais das aeronaves elétricas, um elemento a ser considerado são os gastos a serem despendidos com a troca de baterias. Esses componentes têm sua manutenção prevista para cada 500 horas de voo. Cabe mencionar que os custos de fabricação, capacidade de armazenamento, redução do peso e utilização de novos compostos vem ocasionando a redução drástica nos valores do produto e o aumentam a eficiência do armazenamento de energia. Sendo assim, a tendência é o valor das baterias reduzirem paulatinamente tendo em vista a evolução tecnológica.

Um diferencial dos motores elétricos em comparação com os motores a combustão se refere à eficiência energética. Nos motores a combustão somente cerca de 33% da energia produzida é utilizada para a propulsão do avião, sendo o restante dissipado como calor. Já no motor elétrico a eficiência energética ultrapassa 90%. Fruto disso, os aviões elétricos precisam de pistas menores para operar, não necessitam de pré-aquecimento dos motores e não sofrem variação de rendimento com o aumento da altitude. Tudo isso se reflete em redução dos gastos para os operadores.

Outro custo operacional que onera bastante os usuários de aeronaves a combustão nas escolas de pilotagem é o gasto com combustíveis fósseis, principalmente com a AVGAS. Tal situação se reduz bastante com o uso das aeronaves elétricas. Em termos de recursos despendidos com abasteci-

mento dos aviões elétricos, o montante corresponde a apenas 10% dos valores gastos com combustíveis fósseis e o armazenamento de combustíveis líquidos necessita de estrutura para instalação, armazenamento e distribuição que podem inclusive causar danos severos ao meio ambiente. Para o abastecimento das aeronaves elétricas basta apenas a instalação de um terminal de energia que possibilite o carregamento das baterias. Esses terminais permitem ainda o armazenamento de energia solar para uso nas aeronaves. Como resultado, os custos operacionais necessários ao abastecimento dos aviões movidos a energia elétrica reduzem significativamente.

Fazem parte ainda da composição dos custos operacionais os gastos com manutenção dos motores e operações gerais. Nesse quesito, os aviões elétricos, por possuírem menores quantidades de partes móveis, possuem grande vantagem. Conforme apresentado pela escola de aviação SAFE a redução com os custos com manutenção gira em torno de 48% com a adoção dos modelos elétricos. Destaca-se, também, que, nos modelos a combustão, o avião passa por diversas manutenções regulares, o que reduz a disponibilidade da aeronave e das horas de voo, o que se reduz pelo uso do novo modelo de motorização. Isso corrobora para que os motores elétricos se submetam a manutenções eficientes e rápidas, o que melhora os índices de horas disponíveis.

Um dos componentes mais importantes para verificação da viabilidade de utilização de aviões elétricos na instrução de voo diz respeito ao valor da hora de voo, já que, para sua composição, são consideradas as variáveis que impactam nos custos operacionais e de compra dos modelos.

É importante destacar alguns aspectos que podem dificultar, ou até mesmo impedir a adoção das aeronaves elétricas para a finalidade de instrução. Essas considerações se referem a alguns aspectos operacionais como o tempo de recarga das baterias, baixa autonomia de voo sem necessidade de carregamento, emprego em voos de navegação, cadeia de suprimento de peças, estrutura de apoio e o preço da aeronave. É importante salientar que essas dificuldades técnicas, à medida que as aeronaves forem sendo melhoradas, poderão ser suplantadas com o desenvolvimento tecnológico. O tempo de recarga das baterias é um fator que pode dificultar bastante a elaboração de uma escala de voo e a disponibilidade de horas.

A baixa autonomia de voo de modelos como o Pipistrel Velis Electro pode dificultar a operação de voo, contudo é possível cumprir quase que totalmente as horas necessárias à formação dos alunos nas escolas de pilotagem. Caso o aluno necessite realizar mais horas de voo em um único dia terá que aguardar a recarga das baterias. Esse problema será minimizado com possível incremento da frota pelas escolas.

Por fim, o preço da aeronave que no Brasil, de acordo com o apresentado pela SAFE, custará em torno de R\$ 1.600.000,00 poderá dificultar as aquisições no curto prazo.

Dessa forma verificou-se que a ganhos significativos com a redução dos principais custos operacionais para os operadores e alunos. A redução dos gastos com combustíveis e manutenção são

os principais aspectos positivos. Os benefícios para os alunos, motivo de ser das escolas de pilotagem, serão consideráveis, impactando diretamente no tempo de formação e no investimento financeiro dos pilotos em formação. Paralelamente, para as escolas de pilotagem abre-se uma perspectiva do aumento do número de alunos e das margens de lucro.

Por outro lado, ressaltam-se características do avião elétrico como a eficiência dos motores, facilidade de manuseio e necessidade de pistas menores para operar. Outros benefícios também poderão advir, como a redução das paradas previstas para manutenção, aumento nos índices de disponibilidade, e melhoria da segurança de voo, já que as aeronaves possuem menos partes móveis.

Os ganhos para o meio ambiente tem relevância natural nesse processo, tendo em vista que as reduções das emissões de gases de efeito estufa - como o CO₂ - praticamente se reduzirão a zero. A redução do ruído aeronáutico é outro fator que trará grandes benefícios para a população circunvizinha às escolas de pilotagem. Alinhadas às melhorias, uma redução dos custos com importação e outros incentivos governamentais às escolas de pilotagem dispostos a adquirir esse tipo de aeronave facilitariam a aquisição de aeronaves elétricas pelos operadores.

A homologação da primeira aeronave elétrica para o voo de instrução pela EASA foi um importante passo para a adoção de aeronaves elétricas por escolas de pilotagem do mundo inteiro. A iniciativa da Escola de Aviação SAFE em adquirir um avião Pipistrel Velis Electro para emprego na instrução no Brasil levará o país a ser o décimo a integrar o grupo de nações a adquirir essa aeronave.

Por fim, em que pese ainda haverem aspectos negativos para o desenvolvimento e efetiva implantação da motorização elétrica em aeronaves, Pipistrel Velis Electro se apresenta como um modelo que trará diversos benefícios, tanto para os operadores quanto para os alunos nas escolas de pilotagem no Brasil.

Ao se atingir o objetivo geral do presente estudo, entende-se que as informações contidas nesta pesquisa poderão contribuir para outras pesquisas vindouras que abordem o tema, ou o abordem sob uma nova ótica.

REFERÊNCIAS

- AEROMERCADO. Disponível em: <http://www.aeromercado.com.br/fami2.asp?tipo=mono&familia=152&marca=CESSNA>. Acesso em: 26 jul. 2021.
- BARROS, A.J.S; LEHFELD, N.A.S. **Fundamentos de metodologia científica: um guia para a iniciação científica**. 2ª. ed. aum. São Paulo: Makron, 2000.
- BASSETO, Murilo. **Lançada a Nebo Air, primeira “micro linha aérea” e com avião elétrico no mundo**. AEROIN, 2021. Disponível em: <https://www.aeroin.net/lancada-nebo-air-primeira-micro-linha-aerea-aviao-velis-electro-mundo/>. Acesso em: 26 jul. 2021.
- BRASIL. Ministério da Infraestrutura. Agência Nacional de Aviação Civil. **IS Nº 141-007 Revisão A**. Programas de instrução e manual de instruções e procedimentos. Agência Nacional de Aviação Civil, [2020]. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-141-007>. Acesso em 27 jul. 2021.
- BRASIL. Ministério da Infraestrutura. Agência Nacional de Aviação Civil. **IS Nº 91.409-001 Revisão B**. Manutenção de aeronaves, tempo recomendado entre as revisões gerais. SAR/GTPN, [2020]. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-91-409-001>. Acesso em 29 jul. 2021.
- BOSCAROL. **Pipistrel Velis Electro**. [2020]. 1 fotografia. Disponível em: <https://www.pipistrel-aircraft.com/wp-content/uploads/2020/06/Pipistrel-Velis-Electro3-1030x742.jpg>. Acesso em: 10 ago. 2021.
- BOSCAROL. **Estação de recarga Off-Board**. [2020]. 1 fotografia. Disponível em: https://www.pipistrel-aircraft.com/wp-content/uploads/2020/06/Charging_station3a.jpg. Acesso em: 22 ago. 2021.
- BOSCAROL. **Estação de recarga Skycharge**. [2018]. 1 fotografia. Disponível em: https://www.pipistrel-aircraft.com/wp-content/uploads/2020/07/IMG_2417small.jpg. Acesso em: 10 ago. 2021.
- CALDERWOOD, Dave. **A year in the life of Pipistrel’s Velis Electro**. FLYER, 2021. Disponível em: <https://www.flyer.co.uk/a-year-in-the-life-of-pipistrels-velis-electro/>. Acesso em 03 out. 2021.
- CESSNA 150-152 CLUB. **Cessna 150 History**. CESSNA 150-152 CLUB. Disponível em: <https://cessna150152club.org/History>. Acesso em 10 ago. 2021.
- DEPARTAMENTO DE ASTRONOMIA. **Nascer e ocaso do sol (2011-2025)**. INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS. Disponível em: <https://www.iag.usp.br/astronomia/nascer-e-ocaso-do-sol>. Acesso em 29 jul. 2021.
- DINIZ, Rodnei. **Acontece a primeira certificação no mundo de uma aeronave totalmente elétrica**. AEROIN, 2020. Disponível em: <https://www.aeroin.net/easa-anuncia-primeira-certificacao-mundo-aviao-totalmente-eletrico/>. Acesso em 21 jul. 2021.
- ELECTRIC AIRCRAFT. In: Wikipédia: a enciclopédia livre. Disponível em: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Electric_aircraft&oldid=1036048861 Acesso em: 24 jul. 2021.
- ENEL SPA. **Simulador de Consumo**. ENEL SPA. Disponível em: <https://enel-rj.simuladordeconsumo.com.br>. Acesso em 28 jul. 2021.

FEHRM, Bjorn. **The true cost of Electric Aircraft**. LEEHAM NEWS, 2021. Disponível em: <https://leehamnews.com/2021/07/01/the-true-cost-of-electric-aircraft/>. Acesso em 24 jul. 2021.

FEHRM, Bjorn. **The true cost of Electric Aircraft**. Part 2. LEEHAM NEWS, 2021. Disponível em: <https://leehamnews.com/2021/07/08/the-true-cost-of-electric-aircraft-part-2/>. Acesso em 24 jul. 2021.

FLAIG, Joseph. **Electric aircraft pose new challenges for maintenance and repair**. INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS, 2020. Disponível em: <https://www.imeche.org/news/news-article/electric-aircraft-pose-new-challenges-for-maintenance-and-repair>. Acesso em 29 jul. 2021.

HOMA, Jorge M. **Aeronaves e Motores**. 27^a. ed. São Paulo: ASA – EDIÇÕES E ARTES GRÁFICAS LTDA, 2007.

MATTEDE, Henrique. **Diferenças entre sistema trifásico, bifásico e monofásico!**. MUNDO DA ELÉTRICA. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/diferencas-entre-sistema-trifasico-bifasico-e-monofasico/>. Acesso em: 09 out. 2021.

MORIAH, Ricardo. **Aviões que Cabem no Seu Bolso**. AIRWAY, 2020. Disponível em: <https://www.airway.com.br/avioes-que-cabem-no-seu-bolso/#:~:text=Cessna%20152%20-%20R%24%2098.000&text=No%20caso%20do%20152%20C%20esse,pistão%20Lycoming%20de%20150%20hp..> Acesso em: 26 jul. 2021.

MOORE, Jim. **Learning to train with electric airplanes**. AOPA, 2018. Disponível em: <https://www.aopa.org/news-and-media/all-news/2018/april/19/learning-to-train-with-electric-airplanes>. Acesso em: 17 jul. 2021.

MOORE, Jim. **Electric Aviation Made Practical**. AOPA, 2016. Disponível em: <https://www.aopa.org/news-and-media/all-news/2016/october/19/electric-aviation-made-practical>. Acesso em: 05 out. 2021.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos da Metodologia Científica**. 5^a ed. São Paulo: Atlas, 2003

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Bem-vindo a ANEEL!**. Brasília, DF. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/a-aneel>. Acesso em: 28 jul. 2021.

NASCIMENTO, Francisco Paulo. **Metodologia da Pesquisa Científica: teoria e prática - como elaborar TCC**. Brasília: Thesaurus, 2016.

PIPISTREL GROUP. **Pipistrel Taurus G4, world's first fully electric 4-seat aircraft, won the NASA 2011 Green Flight Challenge**. PIPISTREL. Disponível em: <https://www.pipistrel-aircraft.com/pipistrel-aurus-g4-worlds-first-fully-electric-4-seat-aircraft-won-the-nasa-2011-green-flight-challenge/>. Acesso em 23 jul. 2021.

PIPISTREL GROUP. **Taurus G4 Flies at the NASA GFC**. PIPISTREL. Disponível em: <https://www.pipistrel-aircraft.com/taurus-g4-flies-at-the-nasa-gfc/>. Acesso em: 23 jul. 2021.

PIPISTREL GROUP. **Velis Electro**. PIPISTREL. Disponível em: <https://www.pipistrel-aircraft.com/aircraft/electric-flight/velis-electro-easa-tc/>. Acesso em: 02 set. 2021.

PIPISTREL GROUP. **Velis electro F.A.Q.** PIPISTREL. Disponível em: <https://www.pipistrel-aircraft.com/aircraft/electric-flight/velis-electro-easa-tc/#tab-id-3>. Acesso em: 02 set. 2021.

PIPISTREL USA. **Configurator.** PIPISTREL. Disponível em: <https://www.pipistrel-prices.com/configurator/configure/421/>. Acesso em: 21 jul. 2021.

PIPISTREL GROUP. **E-811: The first type-certified electric engine for use on general aviation aircraft.** PIPISTREL. Disponível em: <https://www.pipistrel-aircraft.com/aircraft/electric-flight/e-811/>. Acesso em: 18 out. 2021.

PIPISTREL GROUP. **Charging Infrastructure.** PIPISTREL. Disponível em: <https://www.pipistrel-aircraft.com/aircraft/electric-flight/charging-infrastructure/>. Acesso em 28 jul. 2021.

RUSCHEL, Davi; HENKES, Jairo. **Uma análise da inserção de aeronaves movidas a energias renováveis nas escolas de aviação.** Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas. 2021. Disponível em: <https://rbac.cia.emnuvens.com.br/revista/article/view/33>. Acesso em: 30 set. 2021.

SAFE Escola de Aviação. **Safe Event Day.** Youtube, 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=xnawceUWYko>. Acesso em: 26 ago. 2021.

The Flying Reporter. **Trying electric flight – Pipistrel Velis Electro.** Youtube, 2020. Disponível em: <https://youtu.be/rztTpPpA0XM?list=PLckSkjWtLtNZXvXMEWtvoGC0izAx9Ityj>. Acesso em: 24 jul. 2021.

U.S ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **Carbon Dioxide Emissions Coefficients.** EIA, 2021. Disponível em: https://www.eia.gov/environment/emissions/co2_vol_mass.php. Acesso em: 20 out. 2021.

VOO SOLO. **Agência Nacional de Aviação Civil.** Disponível em: https://www2.anac.gov.br/anac-pedia/por_esp/tr2097.htm. Acesso em: 04 set. 2021.