

**INSTITUTO UNIVERSITÁRIO MILITAR  
DEPARTAMENTO DE ESTUDOS PÓS-GRADUADOS  
CURSO DE PROMOÇÃO A OFICIAL SUPERIOR DA FORÇA AÉREA  
2020/2021**



**TII**

**AERONAVE DE PROPULSÃO ELÉTRICA PARA INSTRUÇÃO  
BÁSICA/ELEMENTAR NA FORÇA AÉREA**

**O TEXTO CORRESPONDE A TRABALHO FEITO DURANTE A  
FREQUÊNCIA DO CURSO NO IUM SENDO DA RESPONSABILIDADE DO  
SEU AUTOR, NÃO CONSTITUINDO ASSIM DOCTRINA OFICIAL DAS  
FORÇAS ARMADAS PORTUGUESAS OU DA GUARDA NACIONAL  
REPUBLICANA.**

**Gonçalo Charters Santos Cruz  
CAP/ENGEL**



**INSTITUTO UNIVERSITÁRIO MILITAR**  
**DEPARTAMENTO DE ESTUDOS PÓS-GRADUADOS**

**AERONAVE DE PROPULSÃO ELÉTRICA PARA**  
**INSTRUÇÃO BÁSICA/ELEMENTAR NA FORÇA AÉREA**

**CAP/ENGEL Gonçalo Charters Santos Cruz**

Trabalho de Investigação Individual do CPOS – FA 2020/21 1.ª Edição

Pedrouços 2021



**INSTITUTO UNIVERSITÁRIO MILITAR**  
**DEPARTAMENTO DE ESTUDOS PÓS-GRADUADOS**

**AERONAVE DE PROPULSÃO ELÉTRICA PARA**  
**INSTRUÇÃO BÁSICA/ELEMENTAR NA FORÇA AÉREA**

**CAP/ENGEL Gonçalo Charters Santos Cruz**

Trabalho de Investigação Individual do CPOS – FA 2020/21 1.<sup>a</sup> Edição

1º Orientador: MAJ/PILAV David Jorge Madeira Fernandes

2º Orientador: TCOR/ENGEL Pedro Miguel da Silva Costa

Pedrouços 2021



### **Declaração de compromisso Antiplágio**

Eu, **Gonçalo Charters Santos Cruz**, declaro por minha honra que o documento intitulado **Aeronave de propulsão elétrica para instrução básica/elementar na Força Aérea** corresponde ao resultado da investigação por mim desenvolvida enquanto auditor do **Curso de Promoção a Oficial Superior da Força Aérea 2020/2021 – 1.ª Edição** no Instituto Universitário Militar e que é um trabalho original, em que todos os contributos estão corretamente identificados em citações e nas respetivas referências bibliográficas.

Tenho consciência que a utilização de elementos alheios não identificados constitui grave falta ética, moral, legal e disciplinar.

Pedrouços, **2 de fevereiro de 2021**

Gonçalo Charters Santos Cruz



## **Agradecimentos**

Este trabalho de investigação, tal como o restante currículo do CPOS, desafiou-me a adquirir conhecimento fora da minha área de conforto. Assim, considero que o trabalho de investigação foi enriquecedor, permitindo-me expandir a minha perspetiva cognitiva. Esta ampliação de conhecimento não teria sido possível sem as contribuições de múltiplas pessoas e a quem gostaria de agradecer. Em particular:

Ao meu primeiro orientador, o Major David Fernandes, que esteve com uma disponibilidade total desde o primeiro momento, dando correções e sugestões ao trabalho em tempo recorde. Foi ainda o elemento fundamental na coordenação das entrevistas, que se revelaram centrais para o trabalho. Sem este acompanhamento e sem a sua perspetiva da operação e da instrução, este trabalho sofreria de um enviesamento ainda maior.

Ao segundo orientador, o Tenente-Coronel Silva Costa, que me esclareceu e deu indicações acerca da metodologia, que se revela fundamental para este trabalho.

Aos elementos da Área Específica da Força Aérea, o Coronel Paulino, o Tenente-Coronel Loureiro e o Diretor de Curso Coronel Cosme. Nos tempos de incerteza causada pela pandemia de COVID 19, acolheram as preocupações dos auditores e flexibilizaram o ensino, sem lesar o rigor da avaliação. Esta preocupação, permitiu a tranquilidade necessária para aprender mas também para elaborar o trabalho de investigação.

A todos os entrevistados pela sua disponibilidade em partilhar a visão da sua área de especialização. Através destes contributos, torna-se evidente que a Força Aérea é mais forte com a agregação das várias áreas do Saber.

Aos meus camaradas do CPOS-FA, alguns amigos de longa data e outros com quem criei amizade, pelo convívio e pela boa disposição que tornaram este período agradável.

À minha esposa Daniela, pela compreensão e ajuda em mais este período absorvido numa nova tarefa académica.

Ao meu filho Guilherme que me traz sempre um sorriso e alegria, não me deixando esquecer o que é realmente importante.



## Índice

1. Introdução .....	1
2. Enquadramento teórico e concetual .....	4
2.1. Estado da arte e conceitos estruturantes .....	4
2.1.1. Aeronave de propulsão elétrica.....	4
2.1.2. Infraestruturas para aeronaves de propulsão elétrica .....	4
2.1.3. Suporte de sistemas de armas .....	5
2.1.4. Perfil de utilização na instrução.....	5
2.2. Modelo de análise .....	6
3. Metodologia e método .....	7
3.1. Metodologia.....	7
3.2. Método.....	7
3.2.1. Participantes e procedimento .....	7
3.2.2. Instrumentos de recolha de dados .....	7
3.2.3. Técnicas de tratamento de dados .....	8
4. Apresentação dos dados e discussão dos resultados .....	9
4.1. Oferta comercial de aeronaves de propulsão elétrica .....	9
4.1.1. Demonstradores de conceito.....	9
4.1.2. Soluções comerciais.....	9
4.1.3. Síntese conclusiva e resposta à QD1 .....	11
4.2. Infraestruturas e suporte para aeronaves de propulsão elétrica .....	11
4.2.1. Infraestrutura.....	11
4.2.1.1. Conector de carregamento.....	11
4.2.1.2. Carregador .....	12
4.2.1.3. Rede Elétrica .....	12
4.2.1.4. Armazenamento.....	13
4.2.2. Suporte do sistema de armas.....	14
4.2.3. Síntese conclusiva e resposta à QD2 .....	16
4.3. Perfil de utilização na instrução.....	17
4.3.1. Desempenho da aeronave .....	19



4.3.1.1. SA em serviço na FA.....	19
4.3.1.2. Desempenho das APE .....	23
4.3.2. Cockpit e instrumentos.....	25
4.3.3. Síntese conclusiva e resposta à QD3 .....	27
4.4. Discussão .....	28
Conclusões.....	30
Referências bibliográficas .....	35

### Índice de Anexos

Anexo A - Limitações do <i>Epsilon TB-30</i> .....	Anx A - 1
Anexo B - Limitações da APE <i>Pipistrel Velis Electro</i> .....	Anx B - 1
Anexo C - Manutenção programada ao sistema de propulsão da aeronave <i>Pipistrel Velis Electro</i> .....	Anx C - 1

### Índice de Apêndices

Apêndice A - Mapa Conceptual .....	Apd A - 1
Apêndice B - Análise das entrevistas – OE1 .....	Apd B - 1
Apêndice C - Análise das entrevistas – OE3 .....	Apd C - 1

### Índice de Figuras

Figura 1 – Exemplo de distribuição de propulsão elétrica ao longo da asa de uma aeronave. Fonte: (Moore & Fredericks, 2014). .....	2
Figura 2 – Eficiência das cadeias de transformação de energia em várias soluções de propulsão. Fonte: Retirado de (Martin, 2012).....	4
Figura 3 – Carregadores Skycharge 20 e RAPID30. Fonte: Retirado de (Pipistrel, 2020) e de (Electro-Aero, 2019). .....	12
Figura 4 – Gráficos com a frequência relativa das respostas dos PI da E101. ....	18
Figura 5 – Gráficos com a frequência relativa das respostas dos PI da E802. ....	18
Figura 6 – <i>Box plot</i> representativo das respostas obtidas sobre o fator de carga mínimo necessário.....	20
Figura 7 – <i>Box plot</i> representativo das respostas obtidas sobre a autonomia mínima necessária. ....	21



Figura 8 – <i>Box plot</i> representativo das respostas obtidas sobre o alcance mínimo necessário.....	21
Figura 9 – <i>Box plot</i> representativo das respostas obtidas sobre o tempo entre voos.....	22
Figura 10 – Representação da potência propulsiva e dos MTOW de diferentes APE. Fonte: Retirado de (Brelje e Martins, 2019). .....	24
Figura 11 – Representação da energia específica e a sua expectável data de entrada ao serviço. Fonte: Retirado de (Brelje e Martins, 2019).....	24
Figura 12 – Representação gráfica da frequência relativa das respostas de PI da E101 e E802 relativamente à vantagem da configuração tandem em relação ao <i>side-by-side</i> .....	25

### Índice de Quadros

Quadro 1 – Resumo das características principais das APE comercializados no final de 2020.....	10
Quadro 2 – Requisitos para armazenamento de componentes. ....	14
Quadro 3 – Modelo de análise adotado. ....	Apd A - 1
Quadro 4 – Análise de conteúdo da entrevista realizada no âmbito do OE2. ....	Apd B - 1
Quadro 5 - Análise de conteúdo das entrevistas realizadas ao TCOR Dias no âmbito do OE3. ....	Apd C - 1
Quadro 6 - Análise de conteúdo das entrevistas realizadas a Pilotos Instrutores da E802 no âmbito do OE3. ....	Apd C - 2
Quadro 7 - Análise de conteúdo das entrevistas realizadas a Pilotos Instrutores da E101 no âmbito do OE3. ....	Apd C - 4



## **Resumo**

A propulsão elétrica tem sido adotada em diferentes tipos de veículos mas excluída da aeronáutica. As crescentes preocupações económicas e ecológicas, aliadas à tecnologia, possibilitam atualmente algumas soluções para nichos da aviação. Este estudo avalia a adequabilidade destas soluções para a missão de instrução de pilotagem na Força Aérea.

Metodologicamente, caracteriza-se por um raciocínio dedutivo, assente numa estratégia de investigação qualitativa e num desenho de pesquisa do tipo estudo de caso. Esta problemática é analisada em três perspetivas.

Inicialmente são identificadas as aeronaves de propulsão elétrica (APE) existentes, verificando as principais características e finalidades.

Seguidamente, são apresentadas as consequências da propulsão elétrica nas infraestruturas e no suporte às aeronaves. É também feita uma estimativa do custo energético de uma hora de voo.

Por fim, são analisadas as necessidades para cumprir os programas de instrução. Estas necessidades focam parâmetros de desempenho e também as propriedades do *cockpit* e dos instrumentos de voo.

Com estas três perspetivas conclui-se que, apesar de ter algumas vantagens em relação às aeronaves tradicionais, as APE disponíveis comercialmente ainda não são adequadas à instrução na Força Aérea. Tendo por base as previsões de tecnologia, identifica-se como provável o surgimento de uma aeronave adequada a médio prazo.

## **Palavras-chave**

Aeronave de Propulsão Elétrica, Instrução de Pilotagem.



## **Abstract**

*Electric propulsion has been adopted in different types of vehicles but has been excluded from aviation. The rising economic and ecologic concerns, along with the technological evolution, now enable some electric solutions for niche aviation applications. This study evaluates the suitability of these solutions for pilot training in the Portuguese Air Force.*

*Methodologically, it is characterized by deductive reasoning, based on a qualitative research strategy and a case study research design. The problem is studied in three perspectives.*

*Initially, the existing electric propulsion aircraft are presented, highlighting their main characteristics. Afterwards, the main implications, of electric propulsion to infrastructure and to aircraft support, are presented. An estimate for the energy cost of a flight hour is also provided.*

*Finally, the requirements to fulfill the training syllabi are analyzed. These requirements focus on performance parameters as well as the necessary cockpit properties and flight instruments.*

*With these three aspects, we concluded that, despite having some advantages over common aircraft, the existing electric aircraft are inadequate for pilot training in the Portuguese Air Force. Based on the predictions for future technology, it is very likely that adequate aircraft become available in the medium term.*

## **Keywords**

*Electric Propulsion Aircraft, Pilot Training*



**Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos**

AAC	Atividade Aérea Curricular
AFA	Academia da Força Aérea
APE	Aeronave de Propulsão Elétrica
DI	Direção de Infraestruturas
DMSA	Direção de Manutenção de Sistemas de Armas
E101	Esquadra 101
E802	Esquadra 802
EASA	<i>European Union Aviation Safety Agency</i>
FA	Força Aérea
FDM	Fiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade
GPS	<i>Global Positioning System</i>
ICAO	<i>International Civil Aviation Organization</i>
IEB	Instrução Elementar e Básica
IFR	<i>Instrument Flight Rules</i>
MDN	Ministro da Defesa Nacional
MEA	<i>More Electric Aircraft</i>
MEE	<i>More Electric Engine</i>
MFD	<i>Multi-Function Displays</i>
MTOW	<i>Maximum Take-Off Weight</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
OE	Objetivo Específico
OG	Objetivo Geral
PBN	<i>Performance-Based Navigation</i>
PI	Piloto Instrutor
SA	Sistema de Armas
QC	Questão Central
QD	Questão Derivada
TII	Trabalho de Investigação Individual
VFR	<i>Visual Flight Rules</i>



## 1. Introdução

Nas últimas décadas, a aviação tem sofrido uma crescente pressão para ser mais eficiente. Existem vários fatores na origem desta pressão mas são de salientar o impacto ambiental e os custos do combustível. Um dos caminhos que se tem mostrado promissor é o conceito *More Electric Aircraft* (MEA). No conceito MEA, tende-se a remover os sistemas pneumáticos e hidráulicos, que tiram potência à propulsão (Wheeler & Bozhko, 2014). Outro conceito que leva as modificações ainda mais longe é o *More Electric Engine* (MEE). Com o MEE, a própria tarefa de propulsão é parcialmente eletrificada, havendo uma *fan* atuada por um motor elétrico, que recebe energia do motor a combustão (Luongo et al., 2009).

Apesar das vantagens do MEA e do MEE, as aeronaves com estes conceitos continuam a necessitar de combustíveis fósseis. Para ultrapassar esta limitação, uma solução é a propulsão ser feita de forma exclusivamente elétrica, eliminando a pegada de carbono local. É ainda possível incorporar energias renováveis, diminuindo a pegada de carbono global.

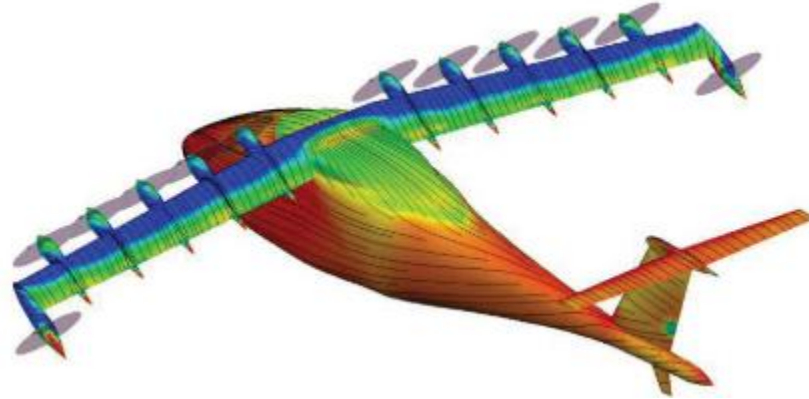
Mesmo com vantagens ambientais e económicas, a adoção de propulsão elétrica em aeronaves encontra-se atrasada em relação a outros veículos. Este atraso está relacionado com o armazenamento de energia, que atualmente é feito através de baterias ou através de células de hidrogénio e respetivo depósito. Contudo, a densidade de energia de ambas as soluções é bastante mais baixa que a de combustíveis fósseis, implicando uma forte limitação da quantidade de energia a bordo (e conseqüente autonomia) para manter um peso dentro dos limites (Martin, 2012).

Moore & Fredericks (2014) contrariam a limitação da densidade de energia, argumentando que a propulsão elétrica oferece vantagens que permitem modificar o projeto aeronáutico, podendo diminuir a dimensão das superfícies alares. Nas vantagens é de destacar que contrariamente aos motores de combustão, a eficiência é independente da dimensão e potência dos motores. Isto permite a distribuição da propulsão em motores de pequena dimensão. Uma distribuição como apresentada na Figura 1, permite atingir coeficientes de sustentação de cinco. Estes valores alteraram radicalmente a configuração das superfícies de sustentação e atingem autonomias e alcances comparáveis aos de aeronaves a combustão.

Para além das soluções técnicas apresentadas, em Moore & Fredericks (2014) é enfatizado que em vez de estabelecer comparações diretas com aeronaves a combustão, devem-se procurar nichos de utilização que possam ser respondidos com Aeronaves de Propulsão Elétrica (APE) - *e.g.* aviação ligeira ou instrução. Para isso acontecer a curto



prazo, não se devem considerar configurações radicalmente novas mas antes fazer *retrofits* de propulsão elétrica em aeronaves já certificadas.



**Figura 1 – Exemplo de distribuição de propulsão elétrica ao longo da asa de uma aeronave.**

Fonte: (Moore & Fredericks, 2014).

Na Força Aérea (FA), a instrução de pilotagem elementar e básica é feita nas aeronaves *Chipmunk* Mk20 e *Epsilon* TB-30 (Directiva N°07/2007, 2007). Ambas apresentam já um longo tempo ao serviço, já são poucos os operadores no panorama internacional e, sem algumas modificações, a arquitetura dos seus sistemas aviônicos não é compatível com os sistemas que são produzidos atualmente. Por essas razões, já em 2012 se anteviam dificuldades para manter a frota *Chipmunk* em estado aeronavegável (Silva, 2012). Para o *Epsilon*, com a frota de instrução da *Armée de l'Air* a deixar o serviço em 2019 e com poucos operadores além da FA, esperam-se dificuldades na sustentação da frota. De forma a responder a algumas destas dificuldades, será feita uma atualização dos sistemas do *Epsilon* durante os anos de 2021 e 2022. É expectável que após esta atualização, as aeronaves fiquem com instrumentos e equipamentos a par dos restantes Sistemas de Armas (SA) da FA (Despacho n.º 7353/2020, 2020).

Face ao exposto, considera-se relevante abordar a possibilidade de utilização de uma aeronave elétrica para substituir os SA atuais. Tendo em conta a atualização do *Epsilon*, já referida, esta análise tentará perspetivar não apenas uma atualização imediata mas também ter em conta a evolução tecnológica a médio/longo prazo. Assim, a presente investigação tem por objeto a utilização de APE para instrução elementar e básica (IEB) da FA, e à luz do indicado por Santos e Lima (2019), é delimitada pelos seguintes domínios:

– Temporal, será considerada a tecnologia disponível para ser operada em 2020 e as previsões de tecnologia para APE para 2030;



– Espacial, referente à Esquadra 802 (E802) e Esquadra 101(E101), enquanto entidades responsáveis por ministrar a IEB;

– De conteúdo, referente à adequabilidade da utilização de APE para instrução.

O objetivo geral (**OG**) desta investigação é a “Análise da adequabilidade das APE para a instrução na FA”. Para alcançar este OG, será então necessário alcançar os seguintes objetivos específicos (**OE**):

**OE1:** Caracterizar a oferta comercial de APE.

**OE2:** Caracterizar as infraestruturas e suporte para APE.

**OE3:** Análise das características da instrução de pilotagem nas fases elementar e básica na FA.

Perante os objetivos enunciados, define-se a seguinte questão central (**QC**) “Em que medida as APE poderão ser empenhadas para a Instrução na FA?” e desta QC decorrem as questões derivadas (**QD**):

**QD1:** Quais as capacidades das aeronaves existentes com propulsão elétrica?

**QD2:** Quais as infraestruturas e as necessidades logísticas para a sustentação de um SA com propulsão elétrica?

**QD3:** Quais os requisitos de operação de uma aeronave de instrução de pilotagem?

Este artigo contém cinco capítulos. O primeiro faz a introdução e contextualização do tema. O segundo enquadra os conceitos e revê o estado da arte. No terceiro capítulo é detalhada a metodologia que foi seguida. O quarto capítulo apresenta e discute os dados que foram obtidos durante a presente investigação. Por fim, no quinto capítulo é feita a conclusão, realçando as contribuições do trabalho, recomendações e limitações do trabalho.



## 2. Enquadramento teórico e concetual

Neste capítulo apresentam-se a revisão da literatura, os conceitos estruturantes e o modelo de análise.

### 2.1. Estado da arte e conceitos estruturantes

O desenvolvimento deste trabalho tem como base um conjunto de conceitos estruturantes, que têm o objetivo de estabelecer a base de partida desta investigação:

#### 2.1.1. Aeronave de propulsão elétrica

Por APE, entendem-se aeronaves que têm motores elétricos para propulsão. Por sua vez, esses motores poderão receber energia elétrica proveniente de baterias ou de células de hidrogénio que têm de ser alimentadas por depósitos com hidrogénio gasoso a alta pressão ou líquido a temperaturas criogénicas. De salientar que estas soluções são atrativas quando comparadas com soluções de combustão devido à eficiência da cadeia de transformação de energia, conforme Figura 2 (Martin, 2012).

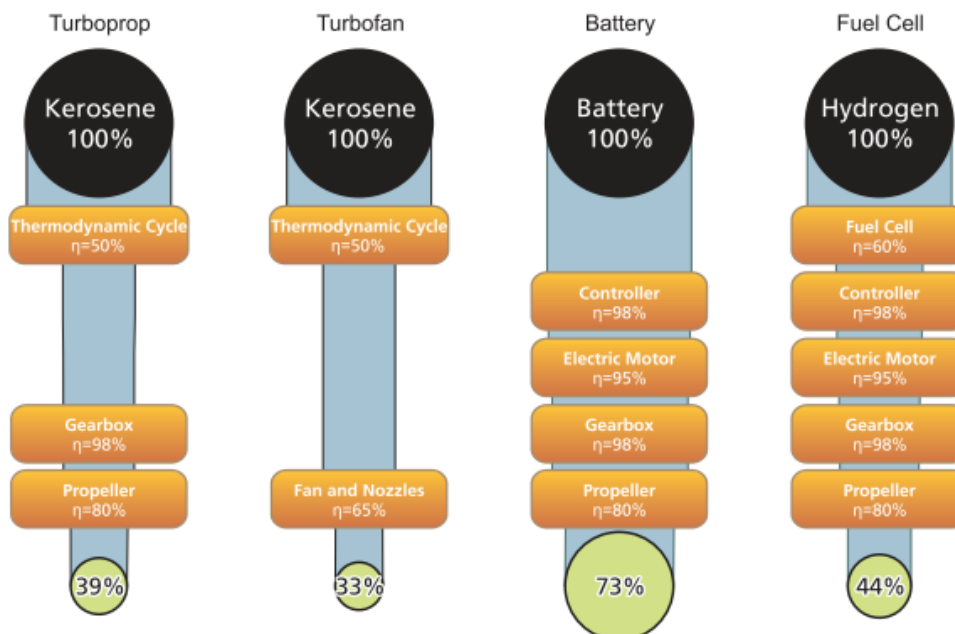


Figura 2 – Eficiência das cadeias de transformação de energia em várias soluções de propulsão.

Fonte: Retirado de (Martin, 2012).

É de referir que instituições de referência como a Organização do Tratado do Atlântico Norte (Martin, 2012). e a Força Aérea Norte Americana (Sivasubramaniam et al., 2009), consideram esta temática sob o prisma da investigação e desenvolvimento. Porém, não foi obtida informação, acerca de iniciativas para a sua adoção em operação.

#### 2.1.2. Infraestruturas para aeronaves de propulsão elétrica

Na utilização de APE, a energia que tem de ser fornecida na forma de corrente elétrica ou na forma de hidrogénio. Assim, a bordo é necessário armazenar a energia em baterias ou



em depósitos de hidrogénio, que têm de ser carregados ou reabastecidos. No contexto deste trabalho de investigação individual, entende-se como infraestruturas para APE, como os sistemas e equipamentos necessários para fazer chegar a energia às aeronaves, bem como as infraestruturas que permitam o seu adequado acondicionamento e manutenção.

### 2.1.3. Suporte de sistemas de armas

Com o conceito de suporte de SA de APE, engloba-se o conjunto de características que o sistema deve ter e as atividades que é necessário desenvolver, de forma a que se possa manter o sistema pronto a desempenhar a missão para a qual foi projetado, com um custo justo e razoável (Department of Defense, 2020). As características intrínsecas ao sistema que serão consideradas são a fiabilidade, a disponibilidade e a manutenibilidade (FDM).

A fiabilidade é definida como a probabilidade de um item cumprir a sua função, sob determinadas condições e durante um determinado intervalo de tempo. A disponibilidade mede até que ponto, um item está em estado operacional. Por fim, a manutenibilidade mede a capacidade de um item ser restaurado a uma condição especificada, quando sujeito a ações de manutenção (Department of Defense, 2005).

É de referir que o processo de suporte logístico tem impacto no suporte do SA. Contudo, este suporte é uma escolha que é tomada pelo operador em função das opções disponíveis (*e.g.* contratar *Integrated Logistic Support*, entre outras opções). Esta opção não é específica de aeronaves de propulsão convencional ou APE, mas dependente do mercado. Deste modo, apesar de altamente relevante para analisar o ciclo de vida do SA, o ciclo logístico não será abordado.

### 2.1.4. Perfil de utilização na instrução.

O conceito de perfil de utilização abrange os requisitos para a execução das diferentes fases de instrução, realçando os fatores de carga, autonomia e alcance. Para além disso, considera-se também o tempo entre voos que é expectável.

O SA *Chipmunk* é utilizado para cumprir o plano de instrução de voo da Academia da Força Aérea (AFA), plano composto por cinco fases. Nestas fases, é de destacar a terceira – voos de contacto avançado – em que estão previstas manobras de acrobacia como *tonneau* barrilado, *looping* e trevo (Academia da Força Aérea, 2019). Adicionalmente, em (Silva, 2012), estão listados os requisitos que uma aeronave deve possuir para cumprir com este tipo de instrução.

O plano de instrução dado com recurso ao SA *Epsilon* TB-30 decompõe-se em seis fases: contacto inicial, contacto básico, instrumentos básicos, navegação *Instrument Flight*



*Rules* (IFR), navegação *Visual Flight Rules* (VFR) e voo de formação. Este plano de formação exige maior capacidade para acrobacia e instrumentos de voo mais avançados (Direção de Instrução, 2013).

## **2.2. Modelo de análise**

O Apêndice A apresenta um quadro-resumo do modelo de análise proposto.



### **3. Metodologia e método**

Este capítulo apresenta a metodologia de investigação que foi seguida e ainda o método adotado.

#### **3.1. Metodologia**

A metodologia seguida neste estudo assenta num raciocínio dedutivo, *i.e.*, “...faz-se do geral para o particular...” (Freixo, 2011, p.106). Assim, pretende-se verificar se a teoria geral que suporta a propulsão elétrica é aplicável ao caso da instrução na FA. A estratégia de investigação é do tipo qualitativa, uma vez que a instrução de pilotagem é uma tarefa onde existe uma forte subjetividade. Porém, será também suportada em dados quantitativos, já que as APE são caracterizadas com grandezas mensuráveis. O desenho de pesquisa é do tipo estudo de caso, aplicado à instrução na FA.

O percurso metodológico desta investigação é composto por duas fases:

–Na primeira fase, foi feita uma revisão de literatura, procuraram-se soluções comerciais de APE e foram feitas entrevistas exploratórias. Estes passos permitiram a definição dos objetivos, das QC, QD e mapa conceptual.

–Na segunda fase, foram recolhidos dados através de entrevistas semiestruturadas e consulta de publicações relevantes. Será feita a discussão destes dados para responder às QD e QC e por fim serão apresentadas as conclusões, limitações do estudo e recomendações.

#### **3.2. Método**

De seguida serão apresentados os participantes, procedimento, instrumentos de recolha e técnicas de tratamento de dados.

##### **3.2.1. Participantes e procedimento**

Realizou-se uma entrevista semiestruturada ao Major Tiago Miranda (DI), tendo em conta a sua experiência no projeto de infraestruturas elétricas, respetivamente.

Foram ainda feitas entrevistas a Pilotos Instrutores (PI) das E101 e E802 e ao TCOR Dias colocado na Divisão de Operações do Estado Maior da FA (DIVOPS) para identificar os requisitos necessários à instrução de pilotagem.

##### **3.2.2. Instrumentos de recolha de dados**

A recolha de dados é efetuada recorrendo a entrevistas, à consulta da documentação técnica de várias aeronaves e bibliografia de referência.



### 3.2.3. Técnicas de tratamento de dados

O tratamento de dados é realizado através da análise temática das entrevistas (Vilelas, 2009) e da bibliografia selecionada, tendo como referência as dimensões e os indicadores do mapa conceptual estabelecido para esta investigação (ver Apêndice A).



#### 4. Apresentação dos dados e discussão dos resultados

Neste capítulo serão analisados os dados e respondidas as QD e QC.

##### 4.1. Oferta comercial de aeronaves de propulsão elétrica

Como a propulsão elétrica para as aeronaves é uma tecnologia inovadora e com baixo grau de maturidade, a oferta comercial é ainda muito limitada. Segundo Brelje e Martins (2019), já foram testadas em voo pelo menos 17 APE mas apenas existem poucas alternativas disponíveis comercialmente.

###### 4.1.1. Demonstradores de conceito

Algumas das primeiras aeronaves a surgir com este tipo de propulsão foram os moto-planadores, com baixa potência e curtos intervalos de tempo com o motor em funcionamento. À data do presente trabalho, existem várias alternativas como o *Silent 2 Electro*, fabricado pela *Alisport*. Apesar de interessantes para o voo à vela, não são adequados à IEB.

Recentemente, têm sido criados protótipos para aeronaves com propulsão elétrica para outras finalidades. Destaca-se o *E-Fan 2.0*, da *Airbus*, desenvolvido para ser uma aeronave de instrução, voou pela primeira vez em 2014 mas o programa foi cancelado por decisão da indústria. Outro protótipo que reteve muita atenção e várias encomendas foi o *Eviation Alice*. Esta aeronave emprega várias soluções inovadoras, como por exemplo motores na ponta da asa, mas destina-se exclusivamente a transporte de passageiros.

###### 4.1.2. Soluções comerciais

Excluindo os moto-planadores, à data do presente documento, existem duas aeronaves de asa fixa, ambas monomotor e com asa alta: o *Pipistrel Alpha Electro* e o *Pipistrel Velis Electro*. O *Alpha Electro* foi a primeira alternativa elétrica criada pelo fabricante esloveno e tem um *Maximum Take-Off Weight* (MTOW) - de 560 kg, tendo obtido licenças de aeronavegabilidade provisórias que autorizam a sua utilização. O *Velis Electro*, também é aeronave bilugar, tem um MTOW de 600 kg e foi a primeira aeronave elétrica a obter um *Type Certificate* por parte da *European Union Aviation Safety Agency* (EASA). A principal distinção entre os dois tipos de certificação, é que o *Type Certificate* é uma autorização para todas as aeronaves produzidas daquele modelo, não tendo um prazo para ser revalidada.

Ambas as aeronaves são apresentadas pelo fabricante como indicadas para instrução, nomeadamente realização de circuitos de aproximação. Conforme apresentado no Quadro 1, as aeronaves têm algumas características semelhantes mas também possuem uma diferença



de salientar. As baterias do *Velis Electro* são refrigeradas a líquido, enquanto que no *Alpha Electro* é apenas o motor.

Quadro 1 – Resumo das características principais das APE comercializados no final de 2020.

Aeronave	<i>Pipistrel Alpha Electro</i>	<i>Pipistrel Velis Electro</i>
Certificação	Licenças provisórias de aeronavegabilidade	<i>Type Certificate</i>
Potência máxima do motor (e tempo de operação nesse regime)	60 kW (60 s)	57 kW (90 s)
Potência máxima sustentada do motor	50 kW	49.2 kW
Refrigeração do motor	Líquido	Líquido
Tensão nominal das baterias	360 V	345 V
Energia disponível nas baterias	21 kWh	24.8 kWh
Tipo de baterias	Iões de Lítio; substituíveis por uma pessoa.	Iões de Lítio com eletrodo de Níquel Manganês Cobalto. Refrigeradas a líquido, dificultando a troca das mesmas
Autonomia	60 (+ 20 min reserva <sup>1</sup> )	50 min (+ 30 min reserva <sup>2</sup> )
Fator de carga	+4G / -2 G	+4G / -2G
Velocidade de perda (com <i>flaps</i> )	35 kts	45 kts
Velocidade de cruzeiro	85 kts	90 kts
Velocidade a Não Exceder	135 kts	108 kts
Acrobacia	Não aprovada pelo construtor	Destinado a operação não-acrobática, porém permite perdas, “oitos” e <i>chandelle</i> ,

<sup>1</sup> De acordo com o estabelecido para a categoria de *Light Sport Aircraft*.

<sup>2</sup> De acordo com o estabelecido para aeronaves de pequena dimensão a voar segundo VFR.



		voltas com pranchamento inferior a 60°.
--	--	---

#### 4.1.3. Síntese conclusiva e resposta à QD1

Com base nos dados apresentados, e em resposta à QD1 – *Quais as capacidades das aeronaves existentes com propulsão elétrica?* – pode-se afirmar que existem duas soluções elétricas comerciais com algumas características que permitem a instrução

As ofertas comerciais são ambas monomotor, bilugar, têm baixo peso, uma configuração convencional com asa alta e sistemas relativamente simples. A potência de ambas é semelhante, contudo a propulsão tem uma diferença muito importante: o *Velis Electro* tem as suas baterias refrigeradas a líquido, que contribui para uma maior longevidade deste componente. Outra das diferenças fundamentais é a certificação por parte da EASA obtida pelo *Velis Electro*, enquanto que o *Alpha Electro* apenas tem licenças especiais de aeronavegabilidade emitidas pelas autoridades de alguns países.

As prestações anunciadas pelo fabricante são relativamente modestas, quer na potência disponível quer no *endurance*. Uma reflexão mais profunda sobre as mesmas será realizada na Secção 4.3, ao confrontar com as necessidades da FA.

### 4.2. Infraestruturas e suporte para aeronaves de propulsão elétrica

As infraestruturas tradicionais para as aeronaves são em grande parte condicionadas pelo seu sistema propulsivo. Isto verifica-se em vários aspetos como o abastecimento de combustível e oficinas para a manutenção de motores. De igual forma, o suporte à aeronave, através de tarefas como manutenção e aquisições, também dedica uma parte significativa do seu esforço ao sistema propulsivo.

#### 4.2.1. Infraestrutura

Tendo em conta que os sistemas propulsivos elétricos são fundamentalmente diferentes dos sistemas propulsivos a combustão, as necessidades de infraestruturas também são diferentes. Na presente secção serão apresentadas as necessidades de infraestruturas bem como as soluções existentes.

##### 4.2.1.1. Conector de carregamento

Uma das diferenças mais evidentes é que passa a ser necessário fornecer energia elétrica para carregamento de baterias, em vez de combustível. Tendo em conta as lições aprendidas dos automóveis elétricos, a indústria aeronáutica elaborou um *standard* para a ligação de carregamento de aeronaves: o SAE AE-7D. Este tipo de ligação é fisicamente



semelhante ao GB/T, que em 2020 era o conector para automóveis com mais unidades produzidas, diminuindo o seu custo. Adicionalmente, foram adicionadas algumas capacidades específicas para aviação, nomeadamente corrente contínua de 28V e carregamento de baterias redundantes.

#### 4.2.1.2. Carregador

Outro elemento fundamental no fornecimento é a unidade de carregamento propriamente dita. Usando a indústria automóvel como indicador, o carregamento pode ser feito fornecendo corrente alternada ou contínua à aeronave. No primeiro caso, implica conversores pesados a bordo. No segundo caso, o carregamento é mais rápido e a conversão é feita no exterior do veículo. No caso dos automóveis, os carregadores mais comuns têm uma potência que varia entre as dezenas e as centenas de kilowatts (Botsford & Szczepanek, 2009). Seguindo esta ordem de grandeza, já existem alguns carregadores específicos para aeronaves, em particular o *Pipistrel Skycharge 20* (Pipistrel, 2020) e o *Electro.Aero RAPID30* (Electro-Aero, 2019). Estes carregadores fornecem uma potência de 20 kW e 30 kW, respetivamente, e ambos são móveis de forma a serem aproximados das aeronaves. Para aeronaves de maior dimensão, estão a ser considerados carregadores com cerca de 1 MW, contudo estão fora do contexto deste trabalho.



**Figura 3 – Carregadores Skycharge 20 e RAPID30.**

Fonte: Retirado de (Pipistrel, 2020) e de (Electro-Aero, 2019).

#### 4.2.1.3. Rede Elétrica

A presente secção está fundamentada na entrevista ao Major Tiago Miranda, Chefe da Sub-Repartição de Energia e Sistemas da Direção de Infraestruturas (DI) (entrevista remota,



10 de novembro de 2020), cuja análise mais aprofundada é feita no Quadro 4 do Apêndice B.

Segundo os manuais (Pipistrel, 2020) e (Electro-Aero, 2019), os carregadores necessitam de corrente trifásica com tensão de 400 V. Esta tensão é comum e está presente em muitas das infraestruturas da FA. O requisito que é mais desafiante de satisfazer é a potência. Adicionalmente, como referido por Bigoni et al (2018), para perceber quais as necessidades impostas na rede elétrica, não basta o requisito de um carregador mas também o número de carregadores a operar em simultâneo. O primeiro ponto de análise foi a potência individual, que no *Skycharge* é uma potência aparente de 23 kVA e no *RAPID30* de 31,7 kVA (ambos com fatores de potência de 99%). O segundo ponto, é o número de carregadores a ser utilizado em simultâneo. No cenário mais simplista seria apenas um mas num cenário mais realista, assumir-se-á um número igual ao número médio de aeronaves prontas em 2018 (Inspeção Geral da Força Aérea, 2019). Assim, considerando o caso mais desafiante, teríamos 5 carregadores a operar em simultâneo (considerando uma prontidão média de 4,23 *Epsilon* TB-30 em 2019).

Tendo por base as grandezas enunciadas, tentou-se identificar se as unidades dedicadas à IEB têm capacidade para suportar o carregamento. Segundo o MAJ Miranda (op. cit.), para uma instalação imediata teria de se analisar a viabilidade de cada caso. Para uma instalação atempada e desde que existisse capacidade financeira para intervenção na rede elétrica da unidade, ambas as unidades poderiam acomodar os carregadores. Já relativamente ao número máximo suportado, foi referido que a maior limitação é natureza financeira e se esta limitação for ultrapassada, é virtualmente possível acomodar dezenas de carregadores.

#### 4.2.1.4. Armazenamento

As aeronaves tradicionais são afetadas por fatores ambientais como a corrosão que são atenuados com infraestruturas de armazenamento adequado. No caso das APE, existem dois componentes sensíveis quando armazenados: as baterias (Doughty & Roth, 2012) e o motor elétrico (Siemens, 2014). Nestes componentes, os dois fatores que são indicados como mais nefastos são a temperatura e a humidade relativa. Os requisitos apresentados para os componentes das aeronaves *Pipistrel* são apresentados no Quadro 2.

**Quadro 2 – Requisitos para armazenamento de componentes.**

Dados retirados de (Plevnik, 2020a) e (Plevnik, 2020b).

Parâmetro	Valor
Intervalo de temperatura para bateria	0 – 30 °C



Intervalo de temperatura para motor	5 – 35 °C
Intervalo de humidade relativa para motor	25 – 45 %

Pristavec & Plevnik (2020) apresentam ainda indicações específicas para o estacionamento/armazenamento das aeronaves para diferentes períodos. Para períodos inferiores a 10 dias devem ser seguidas apenas indicações de estacionamento, de onde se destaca a cobertura do tubo de Pitot, colocar calços nas rodas e alguns cuidados para meteorologia adversa como amarrar a aeronave a pontos na placa. Para períodos entre 10 dias e 60 dias, são feitas recomendações de armazenamento adicionais que incluem a colocação numa superfície seca, proteção da luz solar direta e cobertura de zonas sensíveis com um têxtil protetor. Já para períodos superiores a 60 dias, é recomendado contato direto com o fabricante.

Importa também verificar o tipo de requisitos habituais para as aeronaves da FA, em particular as aeronaves dedicadas à instrução. Conforme apresentado em (Direção de Infraestruturas, 2020), é habitual existirem requisitos para espaços de *backshop* com requisitos de temperatura e humidade controlada ou salas para baterias com extração de ar. No documento são também listados pontos de amarração bem como outras estruturas que garantem as condições de trabalho adequadas para as diferentes áreas como pintura, eletroaviónicos, eletromecânicos, equipamentos de voo e linha da frente. Os requisitos listados dão ainda prioridade às infraestruturas e equipamentos que salvaguardam as condições de higiene e segurança no trabalho.

#### 4.2.2. Suporte do sistema de armas

Na aquisição de um sistema de natureza militar pretende-se que este satisfaça as necessidades do utilizador, melhorando as suas capacidades e suporte operacional, no horizonte temporal adequado e com um custo razoável (Department of Defense, 2005). Conforme referido na Secção 2.1.3, existem características intrínsecas de um determinado sistema que condicionam o horizonte temporal de início e duração da sua utilização bem como o seu custo. As características que serão abordadas são as FDM, tentando apresentar as especificidades das APE.

Segundo Ackert (2011), os custos de manutenção podem ser agrupados em três áreas: motores, estrutura e componentes. Como a manutenção dos motores é responsável por aproximadamente 40% dos custos de manutenção, tornam-se elementos que necessitam de uma atenção especial. Adicionalmente, no presente trabalho, pretende-se estudar a



viabilidade das APE na FA, pelo que o mesmo se focará na distinção em relação às aeronaves tradicionais: o sistema propulsivo.

A propulsão nos SA *Epsilon* e *Chipmunk* é assegurada por motores de combustão, com muitas peças mecânicas em movimento e que por isso acumulam desgaste. No caso do *Epsilon*, existem inspeções previstas às 50, 100 e 400 horas de voo. Para o *Chipmunk*, estão previstas inspeções às 50, 100, 400 e 1600 horas de voo. De referir que estas inspeções implicam tempo de imobilização. A título exemplificativo, para uma inspeção de 50 horas no *Chipmunk* estima-se um dia de imobilização e para uma de 100, estimam-se seis dias. Para ter uma comparação da importância da manutenção programada em relação à inopinada, é de referir que, em 2018, o *Epsilon* teve cerca de 3500 ações programadas enquanto que teve aproximadamente 1700 ações inopinadas. No *Chipmunk*, a proporção é menor, com 1900 ações programadas e 391 ações inopinadas (Inspeção Geral da Força Aérea, 2019).

Apesar da utilização em aeronaves ser recente, os motores elétricos são utilizados noutras aplicações há décadas. Assim, a FDM foi já estudada para aplicações genéricas. Barnish, Muller, & Kasten (1997) referem que as falhas elétricas dos motores têm, na maioria das vezes, causas mecânicas na origem. Esses autores listam ainda alguns dos fatores que consideram ter mais impacto no funcionamento, como por exemplo, o desequilíbrio de tensão nas fases, o aumento de temperatura do motor e a lubrificação inadequada.

No caso do *Velis Electro*, a tensão das fases é ajustada por um controlador eletrónico, pelo que os desequilíbrios deverão ser minimizados. Esse mesmo controlador também faz um *derating* à potência do motor, caso a temperatura atinja o máximo permitido. Apesar disto, o fabricante lista várias ações de manutenção para verificar se os componentes se mantêm em estado adequado. Como se pode verificar no Anexo C, a maioria das ações consiste em inspecionar e não em substituir e/ou fazer intervenção. É ainda de relevar que os intervalos mais curtos que são indicados são de 100 horas de funcionamento.

No caso da APE não foi possível obter dados históricos de manutenção programada e inopinada que indicassem se a disponibilidade seria superior ou inferior às aeronaves convencionais. As ações de manutenção indicadas em (Plevnik, 2020a) para todos os casos de eventos inopinados (*e.g. bird strike, engine overspeed*) poderão ser indicativas de uma fraca manutenibilidade. As referidas ações de manutenção são sempre concluídas com indicação para contacto com o fabricante. Assim, isto poderá indicar uma fraca capacidade de regenerar o potencial dos componentes pela organização que faz a manutenção. No caso



das baterias, estas têm um potencial de 500 horas, ao fim do qual têm de sofrer um *overhaul* que apenas pode ser realizado pelo fabricante.

O último ponto que será analisado na componente de suporte ao SA será o custo com a energia despendida. Fazendo uma aproximação grosseira ao custo de carregar as baterias, assume-se que utilizando o carregador proposto pelo fabricante (*Pipistrel Skycharge 20*), se necessita da potência máxima (20 kW) em todo período de carregamento (duas horas) e assim temos

$$\text{Energia gasta} = P_{Max} \times \text{intervalo de tempo}$$

$$\Leftrightarrow \text{Energia gasta} = 40 \text{ kWh} .^3$$

Com base no preço da energia elétrica obtido para um cliente industrial (0,1371 €/kWh) em 2020 (PORDATA, s.d.), então o custo de um carregamento é

$$\text{Custo carregamento} = \text{preço da energia elétrica} \times \text{energia} = 5,48 \text{ €}.$$

Tendo em conta que este carregamento daria para uma hora e vinte minutos de voo<sup>4</sup>, então o custo energético por hora de voo é

$$\text{Custo energético} / \text{hora de voo} = 4,11 \text{ €/hora de voo} .$$

Para comparação, o combustível utilizado no *Chipmunk* e *Epsilon* (100LL) tem um preço que no ano de 2020 chegou a um mínimo de 0,56 €. No caso do *Chipmunk*, o SA com consumo mais baixo, a capacidade de 82 litro (l) e o consumo de 0,5 l/minuto permite voar um máximo de duas horas e quarenta e quatro minutos, representando um custo de 45,9 €. Assumindo uma autonomia de duas horas e quarenta e quatro minutos, o custo energético (em combustível) por hora de voo é de 16,8 €/hora de voo. É, no entanto, de realçar que 0,56 €/litro é um valor excepcionalmente baixo e registado durante o período pandémico de 2020. Em 2019, a 100LL tinha um preço de 1,19 €/l, que faria o custo subir para mais do dobro.

#### 4.2.3. Síntese conclusiva e resposta à QD2

Com base nos dados apresentados, e em resposta à QD3 – *Quais as infraestruturas e as necessidades logísticas para a sustentação de um SA com propulsão elétrica?* – pode-se referir que as necessidades infraestruturais mais exigentes prendem-se sobretudo com o carregamento das baterias. Tendo em conta a potência necessária para um carregamento

---

<sup>3</sup> Este valor é propositadamente superior à capacidade energética das baterias, para acautelar ineficiências do sistema.

<sup>4</sup> Um carregamento completo (0% a 100%) das baterias apenas é possível, caso se esgote a autonomia e a reserva estipulada.



rápido, a rede elétrica pode necessitar de ser reforçada, mas em termos técnicos não oferece nenhuma limitação complexa. A principal limitação poderá advir de restrições orçamentais, porém estas estão presentes na aquisição de qualquer SA. Para a interligação da rede elétrica à aeronave, terão de ser adquiridos equipamentos específicos mas, conforme foi apresentado, a indústria está a adaptar *standards* já existentes para baixar custos e facilitar o *procurement*. Finalmente, os requisitos para os edifícios de armazenamento de componentes e aeronaves são semelhantes aos necessários para outros SA.

Para a sustentação do SA foram analisadas as características intrínsecas do sistema propulsivo elétrico, os seus intervalos de manutenção e comparados com os intervalos dos SA atualmente em serviço na FA. Pelas propriedades inerentes dos motores elétricos, é de esperar que a sua fiabilidade seja superior às dos motores de combustão. Isto é também reforçado pelos intervalos de inspeção superiores. Por outro lado, existem alguns indícios de uma manutenibilidade baixa. Por fim, não foi possível obter dados históricos que indicassem o grau de disponibilidade do sistema propulsivo.

O último ponto analisado consistiu no custo energético por hora de voo. Os cálculos consistiram numa aproximação superficial, uma vez que o preço energético oscila significativamente. Ficou, no entanto, patente que o custo energético das APE é significativamente inferior ao dos SA atuais. Existem outros custos que não foram contabilizados, mas que poderiam fazer esta diferença ser mais significativa (como a supressão de camiões de transporte ou depósitos).

#### **4.3. Perfil de utilização na instrução**

Para caraterizar o perfil da utilização das aeronaves na instrução de pilotos militares, serão consultados os manuais para a IEB. Para que a caraterização seja feita de uma forma mais completa serão tratadas as entrevistas a PI da Esquadra 101 (E101) e Esquadra 802 (E802) - de uma forma quantitativa e qualitativa. O primeiro aspeto a verificar nas entrevistas é o nível de adequabilidade dos SA atuais para a IEB, que é perçecionado pelos PI. Identificando a adequabilidade ou eventuais limitações, criam-se algumas condições que devem ser respondidas por uma eventual aeronave que assuma a mesma missão. Serão ainda apresentados os dados de desempenho das APE listadas anteriormente bem como aspetos relevantes do interface homem-máquina.

Nas entrevistas que foram levadas a cabo aos PI, foram abordados inicialmente 3 tópicos:

1. Se os PI consideravam o SA adequado;



2. Se consideravam a performance em voo adequada;
3. Se os instrumentos de voo eram adequados à missão.

Na Figura 4 e Figura 5 são apresentadas as frequências relativas para os três tópicos na lista supra. A maioria dos PI da E101 considera que o SA é adequado, ainda que com algumas limitações. No que toca à performance em voo, a maioria considera como adequada sem limitações. Esta perceção contrasta com o facto de uma larga maioria considerar que os instrumentos não são adequados.

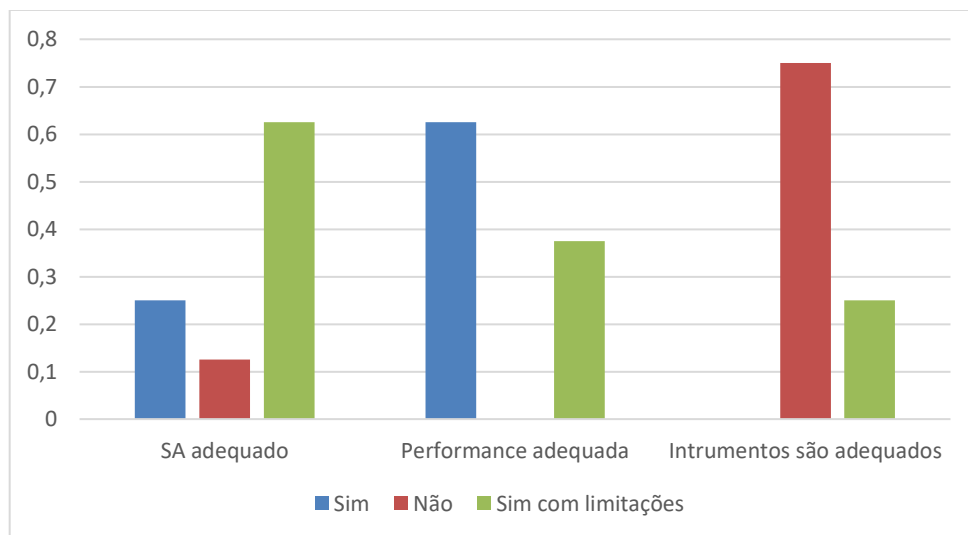


Figura 4 – Gráficos com a frequência relativa das respostas dos PI da E101.

Na E802, as perceções são diferentes. Há uma perceção de que os instrumentos não são adequados, no entanto, a maioria considera que a performance é adequada.

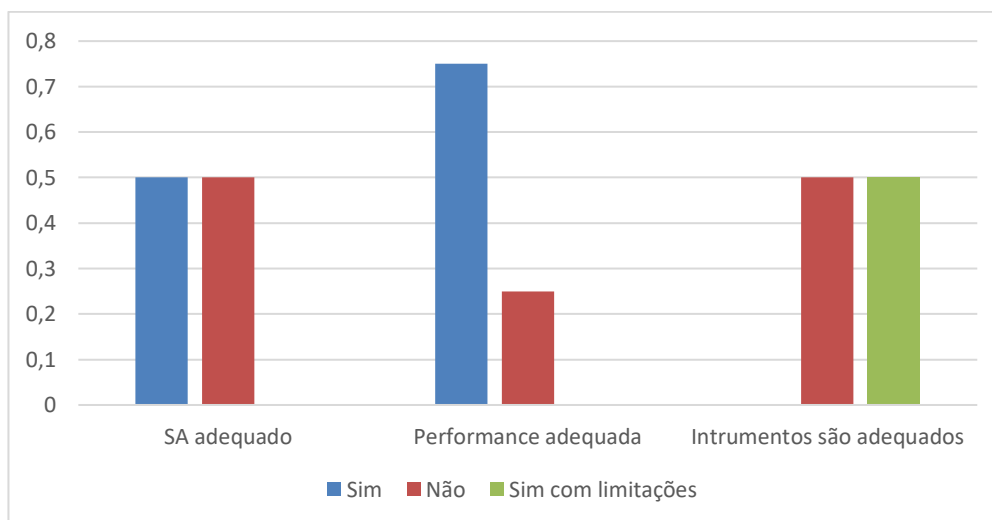


Figura 5 – Gráficos com a frequência relativa das respostas dos PI da E802.

Tendo em conta as respostas obtidas acerca da adequabilidade dos SA, serão de seguida apresentadas as características com maior impacto numa possível substituição por APE.



#### 4.3.1. Desempenho da aeronave

De forma a enquadrar o desempenho necessário para uma aeronave para IEB, verificaram-se os atuais limites das aeronaves que desempenham essa missão na FA e os requisitos obtidos nas entrevistas com os PI. De seguida verificaram-se as capacidades oferecidas pelas APE. Para a primeira parte, os dados foram obtidos essencialmente em (Força Aérea Portuguesa, 2015) e (Academia da Força Aérea, 2020), enquanto que para as capacidades das APE, os dados conseguidos em (Plevnik, 2020b).

##### 4.3.1.1. SA em serviço na FA

As limitações do *Epsilon* são apresentadas no Anexo A mas é de destacar a velocidade máxima de manobra de 190 kts, os limites dos fatores de carga operacionais de  $-3.35G$  e  $+5.5G$  e ainda uma autonomia a rondar as 2 horas e 40 minutos<sup>5</sup>. É ainda importante apurar que a acrobacia é autorizada para manobras como *looping*, *retournment*, “oito” cubano, *Immelman*, *tonneau* barrilado, *avalanche*, *stall turn* e *vrille*. O voo invertido está também autorizado até um máximo de 1 min e 30 segundos. Para o caso do *Chipmunk*, são permitidos o *looping*, *chandelle*, “oito” lento, trevo e *tonneau* barrilado. Contudo, existem distinções muito significativas como a proibição de voo invertido e a execução intencional de *vrille* (Academia da Força Aérea, 2020).

De forma a estabelecer uma comparação com a APE, verificou-se a potência do motor dos SA da FA e ainda a relação entre peso e potência. O *Epsilon* TB-30 tem uma potência de 300 HP (ou 223,7 kW em unidades SI) e com um MTOW de 1300 kg, alcança uma relação de 172 W/kg. O *Chipmunk*, após a remotorização que foi alvo, passou a ter 180 HP (134.2 kW) e com o MTOW de 990 kg, atinge uma relação de 136 W/kg

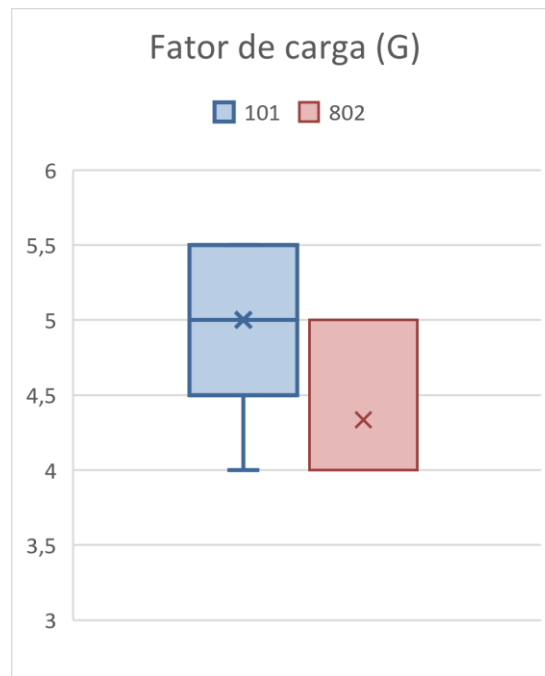
O passo seguinte consistiu em verificar quais as manobras que são previstas nos programas de instrução seguidos nas E802 e E101. Para a E802, está prevista a execução de *tonneau* barrilado, *looping* e trevo, conforme consta em (Academia da Força Aérea, 2019). Já no programa de instrução da E101, estão previstas manobras como *vrille*, *chandelle*, *looping*, “oito” cubano, *Immelmann*, *retournement*, *tonneau*, *tonneau* barrilado e “trevo” (Direção de Instrução, 2013). Com a informação presente nos programas de instrução, é possível perceber que a formação de pilotos militares tem uma forte componente de manobras de acrobacia que evoluem tridimensionalmente, porém, não especificam qual o

---

<sup>5</sup> Este valor é apenas uma aproximação à autonomia da aeronave. Como o consumo de combustível depende de vários fatores e tem de ser avaliado para as condições de cada missão, foi utilizado um valor intencionalmente alto de 75 litros/hora (navegação *low-level*). Para outro tipo de missão, este valor pode variar significativamente.



fator de carga máximo que deve ser utilizado. Para obter essa informação, utilizaram-se os dados das entrevistas aos PI da E101 e E802. As respostas obtidas são apresentadas na Figura 6, sob a forma de um *box plot*, em que os extremos dos retângulos indicam os valores do quartil inferior e superior. A risca presente no interior dos retângulos representa a mediana das respostas e a cruz marca a média. Na Figura 6 verifica-se que a mediana das respostas na E101 é de 5 G enquanto que na E802 é 4 G.



**Figura 6 – Box plot representativo das respostas obtidas sobre o fator de carga mínimo necessário.**

Para além do desempenho das aeronaves na execução de acrobacia, existem outras características significativas noutras fases da instrução. Dessas características, existem dois parâmetros muito relevantes que são a autonomia e o alcance. Apesar de nos manuais das aeronaves ser apresentado a quantidade de combustível que os depósitos podem receber, o alcance e autonomia não são listados. Estes dados dependem do consumo específico de combustível ao longo das diferentes fases de voo e por sua vez, o consumo específico depende de vários parâmetros como temperatura do ar, altitude de voo ou velocidade de ar. Desta forma, a autonomia e o alcance têm de ser calculados e avaliados para cada voo.

Apesar de tudo, é importante ter valores de referência e por isso, os PI também indicaram quais os valores de autonomia e alcance que entendem como necessários para cumprir os respetivos planos de instrução. Conforme se observa na Figura 7, a mediana de 2,5 horas é obtida para ambas as esquadras. Como é visível na Figura 8, as respostas para o alcance diferem, sendo que para a E101 a mediana é de 300 milhas náuticas e para a E802 é de 150 milhas náuticas. A principal razão indicada para estes valores foi a necessidade das



aeronaves se poderem deslocar das bases onde se encontram sediadas até ao AM1 Ovar<sup>6</sup>, sem necessidade de reabastecer num ponto intermédio.

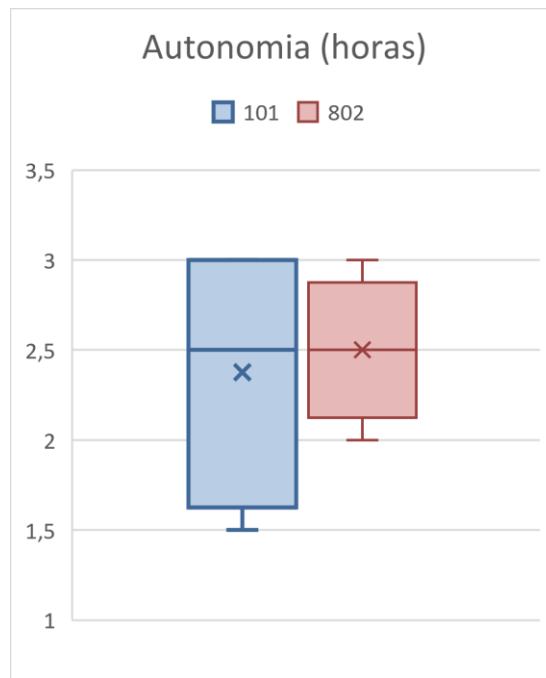


Figura 7 – Box plot representativo das respostas obtidas sobre a autonomia mínima necessária.

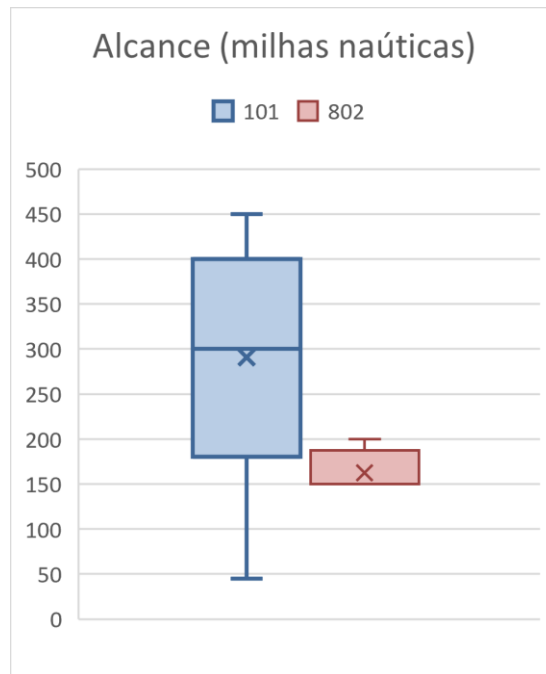


Figura 8 – Box plot representativo das respostas obtidas sobre o alcance mínimo necessário.

Apesar das velocidades de voo para as diferentes fases serem parâmetros muito importantes na operação de um determinado SA, nas entrevistas foi transmitido que a

<sup>6</sup> Esta unidade foi indicada por ser a unidade da FA no território continental português que se encontra mais afastada da BA1 e BA11, que acolhem as esquadras de IEB.



velocidade por si só, não é um fator que influencie muito a qualidade da IEB. Isto é patente na resposta do CAP Gonçalves “[...] após a conclusão do curso e quando um recém-formado piloto é colocado a voar uma outra aeronave, ele tem mais dificuldades na adaptação aos novos aviônicos do que propriamente à velocidade da aeronave.” (entrevista remota, 2 de novembro de 2020).

Apesar de assessorio em relação aos objetivos delineados, foi identificado que, devido a uma conjugação de fatores, os alunos da E802 têm dificuldade em progredir no seu plano de instrução. Isto fica patente na entrevista ao CAP Saldanha, em que afirma “[...] outra característica que acaba por ser uma limitação de grande ordem é a configuração convencional do trem de aterragem e o efeito de torque aquando da descolagem, que acabam por tornar a evolução do aluno no SA muito lenta ou quase impossível.” (entrevista remota, 14 de novembro de 2020).

Existe ainda outra característica que não está relacionada com a performance em voo mas que afeta a operação da aeronave. Esse parâmetro é o tempo entre voos sucessivos de uma determinada aeronave e pode constituir-se como altamente restritivo para a APE. Esta característica depende do SA mas também das necessidades da esquadra e conseqüentemente do pessoal de manutenção disponível. Desta forma, questionaram-se também os PI acerca do tempo habitual entre voos, para uma mesma aeronave. Tal como é apresentado na Figura 9, existe uma maior variabilidade de respostas na 101 do que a 802, contudo em ambas se obteve uma mediana de 45 minutos.

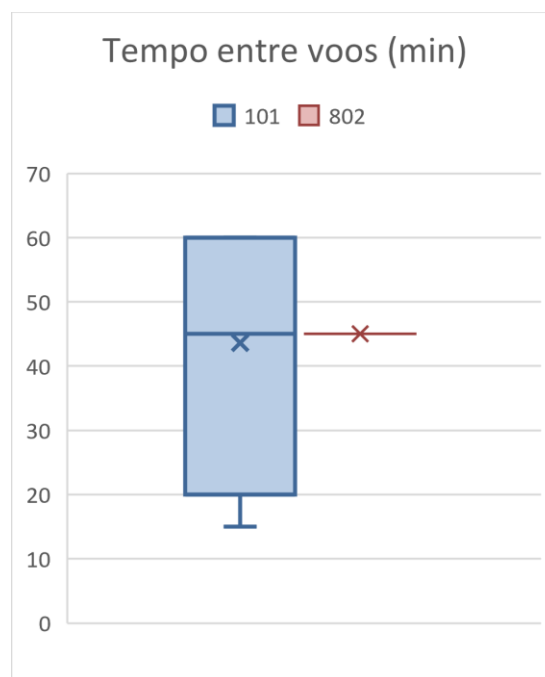


Figura 9 – Box plot representativo das respostas obtidas sobre o tempo entre voos.



#### 4.3.1.2. Desempenho das APE

O primeiro ponto a destacar na APE *Pipistrel Velis Electro* é que não se destina a realização de acrobacia, sendo apenas permitidas perdas, “oitos”, *chandelle* e voltas apertadas (com ângulos inferiores a 60°). Este facto está concordante com os fatores de carga permitidos (+4 G e -2G) e que são apresentados no Anexo B.

A potência modesta também é consentânea com o facto não se destinar à acrobacia. O motor elétrico tem uma potência máxima de 57 kW<sup>7</sup> (aproximadamente 76 HP) mas que só pode ser utilizada de forma contínua até 90 segundos, para evitar aquecimento excessivo de motor e baterias. Já a potência máxima que pode ser utilizada de forma contínua é 49 kW (65 HP). Com um MTOW de 600 kg, esta aeronave obtém uma relação 95 W/kg para períodos de 90 segundos e 82 W/kg para utilização contínua (Plevnik, 2020b).

A APE em consideração tem uma autonomia de 50 min (preservando a reserva de 30 minutos), contudo o cálculo do alcance da aeronave depende de fatores aerodinâmicos (onde normalmente se procura a condição com melhor relação *Lift/Drag*) mas também da condição de potência propulsiva que oferece um melhor rendimento às baterias. Assim, na melhor condição possível é indicado um alcance de 36 milhas náuticas (Plevnik, 2020b).

Para verificar se as APE conseguem responder às necessidades de utilização das esquadras de instrução, procurou-se listar o tempo de carregamento das baterias. Em aeronaves elétricas é o fator que mais condiciona o tempo de aprontamento de aeronaves entre voos sucessivos. É ainda de referir que este valor depende de vários fatores como a temperatura ambiente e o estado de saúde das baterias. No caso do *Velis Electro*, o tempo de carregamento desde os 30% (que corresponde à carga que preserva os 30 min de reserva de autonomia) até aos 100% é de duas horas. Caso se carregue dos 35 até aos 95%<sup>8</sup>, então demora 1h20m.

Para terminar a apresentação dos dados de desempenho das APE, importa referir que esta é uma tecnologia em franca evolução e apesar da oferta comercial ainda ser limitada, existem já demonstrações em voo com capacidades mais interessantes, como se pode observar na Figura 10 e Figura 11. Tendo em conta a potência propulsiva, destaca-se o Extra 330 LE com um motor Siemens de apenas 50 kg e uma potência de 250 kW (330 HP) e um MTOW de 1000 kg. Esta aeronave, não só tem uma relação de potência/peso superior por

---

<sup>7</sup> É importante referir que este valor é o anunciado pelo fabricante para a APE em causa. Contudo no *Pilot Operating Handbook* (Plevnik, 2020b) desta mesma aeronave, para além do valor de 57 kW (pag. 2-4) é também indicado que o motor é capaz de desenvolver 65 kw (pag. 1-5)

<sup>8</sup> O *Pilot Operating Handbook* proíbe a descolagem com uma carga inicial inferior a 50%.



exemplo ao *Epsilon* como ainda demonstrou o reboque de planadores. Já no armazenamento de energia, conforme representado, é expectável que a energia armazenada numa determinada massa aumente uma ordem de grandeza. Para referência, o valor de energia específica consegue com um motor de combustão interna alimentado com querosene é de 1575 Whr/kg (Martin, 2012). Tal como apresentado, não é expectável que os incrementos nas baterias estejam disponíveis antes de 2035.

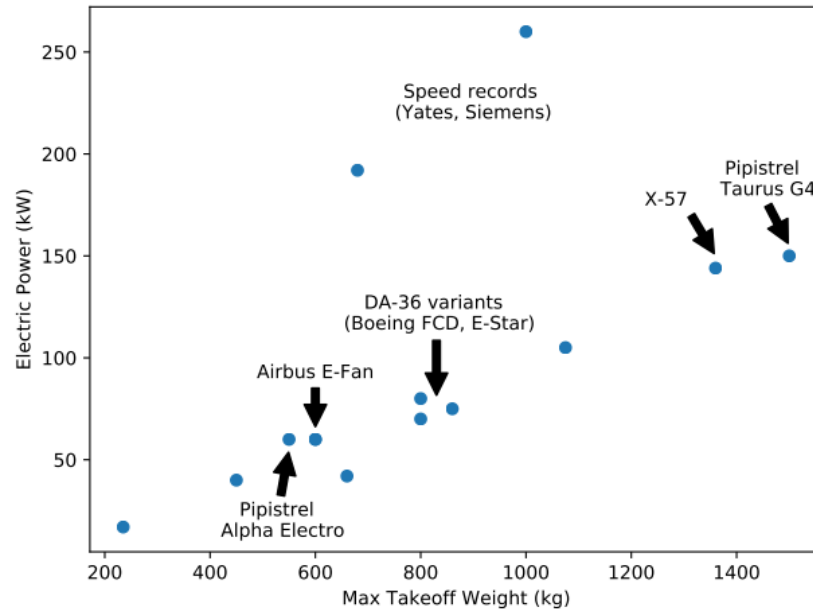


Figura 10 – Representação da potência propulsiva e dos MTOW de diferentes APE.

Fonte: Retirado de (Brelje e Martins, 2019).

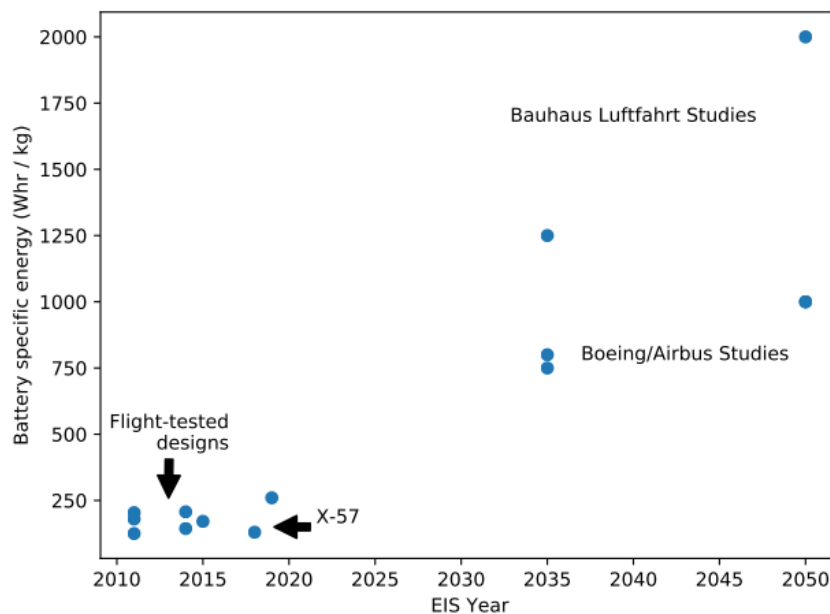


Figura 11 – Representação da energia específica e a sua expectável data de entrada ao serviço.

Fonte: Retirado de (Brelje e Martins, 2019)



#### 4.3.2. Cockpit e instrumentos

Nesta secção procurou-se perceber qual seria a configuração de *cockpit* e de instrumentos mais adequada para IEB. Inicialmente questionou-se os PI acerca da vantagem da configuração do *cockpit* em tandem em relação ao *side-by-side*. Conforme visível na Figura 12, a maioria dos PI (em ambas as esquadras) considera a configuração tandem como mais vantajosa. De referir algumas respostas, apresentadas no Apêndice C, que foram obtidas por parte de pilotos com experiência em várias aeronaves e que reforçam a preferência sobre o tandem.

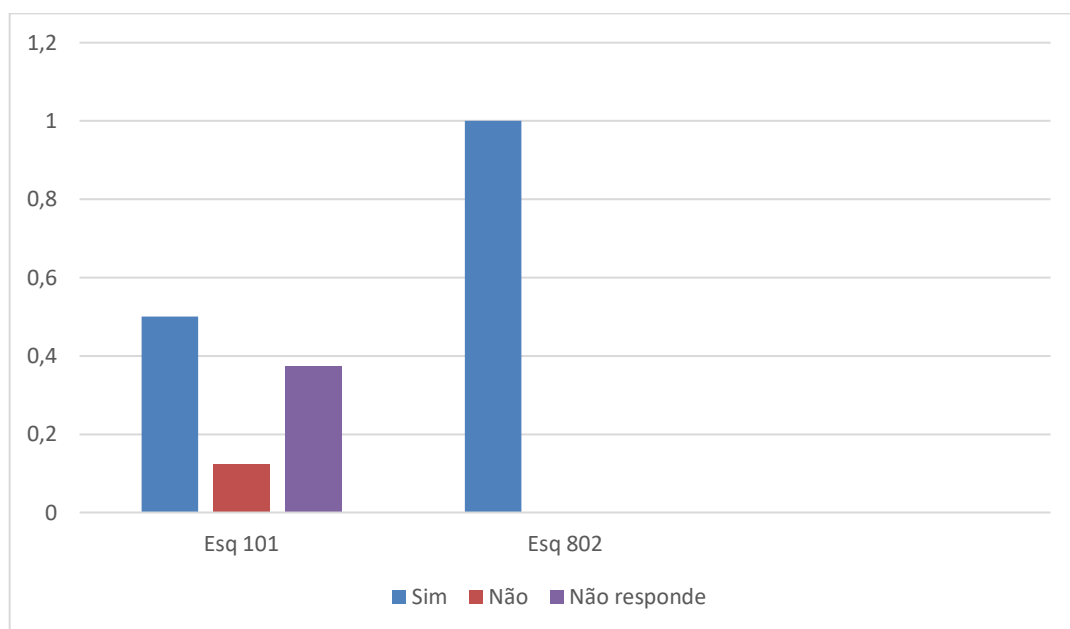


Figura 12 – Representação gráfica da frequência relativa das respostas de PI da E101 e E802 relativamente à vantagem da configuração tandem em relação ao *side-by-side*.

No domínio do *cockpit*, é ainda de assinalar o excerto da entrevista com um PI da E101, que preferiu manter o anonimato, que é transcrito no Apêndice C com o código INST101\_08.OE3.D1.I1.01. O entrevistado afirma que “o facto de não termos um sistema de ar condicionado faz com que o rendimento do piloto aluno seja limitado e por vezes as missões tenham que ser canceladas [...]” (entrevista remota, 3 de novembro de 2020). Esta é uma característica partilhada pelo *Epsilon* e pelo *Chipmunk* mas que assume especial relevância em Beja, onde se verifica uma grande amplitude térmica.

Nas aeronaves militares de alta performance, praticamente todos os controlos de voo são feitos através de um *interface* homem-máquina computadorizado (Cummings, 2003). A maioria dos SA da FA atuais (como F-16 e EH-101) têm esse tipo de *interfaces* e espera-se que futuras aeronaves também tenham esse tipo de configuração. Para além dos controlos



de voo, também a maioria dos instrumentos nas aeronaves mais modernas consistem em displays que apresentam informação calculada por um computador. Estes displays variam de *Multi-Function Displays (MFD)* até *Head-Up Displays* ou mesmo *Helmet Mounted Displays* (Moir & Seabridge, 2006).

Durante entrevista, o TCOR Dias afirmou que

Por imperativo europeu para a formação de pilotos, os aviões deverão estar equipados com a capacidade PBN. Além disto, quanto maior for a semelhança entre os equipamentos/instrumentos que os alunos usam em curso e aquilo que vão usar no futuro, mais eficaz será o seu treino. (entrevista remota, 17 de novembro de 2020)

Da transcrição surgem dois aspetos a ter em conta. O primeiro é necessidade de ter a capacidade *Performance-Based Navigation (PBN)*<sup>9</sup>. O segundo é que os instrumentos nas aeronaves de instrução sejam semelhantes aos que serão utilizados nas aeronaves futuras. Assim, importa perceber que instrumentos estão disponíveis nos SA. No caso do *Epsilon*, é de referir que os instrumentos que apresentam informação de navegação são apenas alimentados por aviônicos que permitem receber sinais de TACAN, VOR/ILS e ADF, não respondendo à necessidade PBN. Relativamente à disposição, é utilizada uma configuração clássica, normalmente designada como *Basic T*, com o altímetro, horizonte artificial, altímetro e indicador de rumos. Para além do *Basic T*, existem outros instrumentos (a maioria analógicos) no *cockpit*, como indicadores de temperatura, etc. Esta configuração, apesar de ter constituído o *standard* durante várias décadas, já não é tão comum em aeronaves de treino militar modernas. Exemplo disso são os *cockpits* do *Pilatus PC-21* ou do *Embraer Super Tucano*, que contêm MFD que se aproximam da disposição encontrada, por exemplo, numa aeronave de caça de geração 4+.

No caso do *Chipmunk*, não existem rádio ajudas e os instrumentos estão dispostos numa configuração diferente do *Basic T*. Conforme referido pelo COR Aguiar dos Santos, a existência de rádio ajudas, não só possibilitaria a navegação IFR como também a operação com alguma meteorologia com tetos baixos e com pouca espessura, que presentemente causam muitos cancelamentos (entrevista remota, 26 de novembro de 2020).

---

<sup>9</sup>No PBN, que foi definido pela *International Civil Aviation Organization (ICAO)*, a navegação é feita de acordo com os parâmetros de desempenho dos sistemas de navegação, em vez de ser feito de acordo com a tipologia de sistema utilizado (*International Civil Aviation Organization*, 2008).



Ao analisar as características do *cockpit* e instrumentos presentes na APE *Velis Electro* é importante ter em conta que estas características resultam de escolhas do fabricante e não são condicionadas pela tipologia de propulsão. Esta APE tem um *cockpit* bilugar, com uma configuração *side-by-side*. Este *cockpit* é refrigerado apenas pela entrada forçada de ar do exterior, não dispondo de ar condicionado.

Relativamente aos instrumentos, não estão duplicados para as duas posições a bordo e os mais importantes consistem num velocímetro, altímetro, variómetro, pau e bola e ainda um sistema *Global Positioning System* (GPS). Existe ainda um *Primary Flight Display* (PFD) que integra várias funções (*e.g.* horizonte artificial). Apesar de não dispor de um indicador de rumos dedicado, são apresentados rumos no PFD e no GPS, provenientes não de rádio ajudas mas de sistemas inerciais e de satélite. Assim, a configuração seguida não cumpre com o *Basic T*, nem é coincidente com *layouts* de outros SA da FA.

#### 4.3.3. Síntese conclusiva e resposta à QD3

Em resposta à QD3 – *Quais os requisitos de operação de uma aeronave de instrução de pilotagem?* – e tendo por base os dados apresentados, é possível afirmar que é necessário que os SA sejam capazes de executar acrobacia, suportem fatores de carga superiores a +4G e autonomia superior a duas horas. Com base nas entrevistas realizadas, é importante que a aeronave tenha climatização efetiva e que o cockpit deverá ter uma configuração do tipo tandem. Ficou ainda patente, que para a instrução ser mais eficiente, o layout de instrumentos no cockpit deverá aproximar-se do que é encontrado noutros SA. Adicionalmente, as rotas a realizar, devem cumprir com o que a legislação prevê, nomeadamente PBN.

Indo para além da QD3 e com os dados da APE que foi analisada, verificou-se que esta não responde à totalidade dos requisitos de operação. É ainda de salientar que a diferença entre a APE e os requisitos é maior para o caso da E101. Isto deve-se ao seu programa de instrução mais exigente.

É de referir que à exceção da autonomia (e consequentemente do alcance), todas as outras características da APE foram opções do construtor e não limitações tecnológicas. Em particular, já existem e foram usados motores elétricos mais potentes, a bordo de aeronaves com capacidade para executar acrobacia e rebocar planadores. Os instrumentos incluídos podiam seguir um layout diferente e incluir equipamentos para receber rádio ajudas. O fator efetivamente limitante é a capacidade das baterias mas é esperado que no futuro também possa ser ultrapassado. Tendo em conta a delimitação desta investigação é de enfatizar que a melhoria das baterias não é expectável antes de 2035.



#### 4.4. Discussão

A finalização do presente capítulo será feita com a resposta à QC – *Em que medida as APE poderão ser empenhadas para a Instrução na FA?* – e utilizará as respostas às QD apresentadas anteriormente.

Apesar de existirem vários demonstradores de tecnologia a fazer testes em voo, a oferta comercial é ainda limitada. A única oferta certificada, o *Velis Electro*, é anunciada como uma aeronave de instrução, orientada para voos na área do aeródromo. As características e sistemas da aeronave refletem esta orientação e não cobrem todas as fases do programa de instrução da FA. No médio prazo, fruto de motivação financeira e pressão ambiental, é de esperar que surjam mais alternativas elétricas para preencher outros nichos do mercado, como a instrução em contexto militar.

Do ponto de vista das infraestruturas não se afigura nenhum obstáculo muito significativo. Os fatores mais restritivos serão a capacidade da rede elétrica das unidades base e a infraestrutura para armazenamento. O esforço na rede terá de ser analisado, em função da dimensão da frota e da base em questão. Eventuais restrições podem ser ultrapassadas, implicando apenas encargos financeiros. A infraestrutura para armazenamento de componentes poderá necessitar de salas com humidade e temperatura controlada. Requisitos deste tipo são, no entanto, comuns noutros SA da FA.

Na análise ao suporte do SA, é de referir que se espera que a fiabilidade do *Velis Electro* seja mais elevada que aeronaves de combustão. Como os sistemas de propulsão elétrica são pouco comuns, é ainda de esperar uma manutenibilidade relativamente baixa. Foi ainda feita uma aproximação dos custos energéticos por hora de voo, onde ficou patente a vantagem da APE.

Na análise do perfil da utilização do SA na IEB, foi possível perceber que as necessidades em termos de performance não são respondidas pelo *Velis Electro*. Nos elementos mais limitativos é de destacar a baixa potência, autonomia e um conjunto de manobras permitidas muito limitado. Ademais, a configuração do *cockpit* e os instrumentos, em tipo e disposição, não são os mais adequados para IEB. Tendo por base projeções de tecnologia futura e as prestações de aeronaves de teste, percebe-se que existem condições para que a médio prazo existam ofertas comerciais com o desempenho necessário para IEB.

Face ao apresentado e em resposta à QC, afirma-se que a utilização exclusiva de APE seria limitativa na IEB da FA. A sua utilização poderia ser feita com sucesso em fases *ab-*



*initio* dos programas de instrução, otimizando o custo da hora de voo mas exigindo sempre outro SA com mais capacidade, que assegurasse as fases mais avançadas da IEB.



## Conclusões

A utilização de propulsão elétrica é uma realidade num crescente número de aplicações. Este facto, tem contado com motivações ecológicas e económicas. Até recentemente, a reduzida capacidade de armazenar energia e o peso dos equipamentos, vedava a utilização na aeronáutica. Nos últimos anos, a tecnologia tem permitido baixar o peso e acumular energia elétrica suficiente para permitir a utilização de aeronaves elétricas em algumas aplicações.

A Força Aérea Portuguesa, enquanto ramo marcadamente tecnológico, deve acompanhar a inovação, procurando soluções que tornem a sua operação mais eficaz, eficiente e segura. A maioria das missões dos SA da FA é extremamente exigente, quer seja pela manobrabilidade, alcance, autonomia ou pelas ameaças presentes no ambiente operacional. Existe, no entanto, uma tipologia de missão que se desenvolve num ambiente mais controlado, a IEB. Assim, é OG desta investigação a *análise da adequabilidade das aeronaves de propulsão elétrica para a instrução na Força Aérea*. A presente investigação foi delimitada nos domínios: temporal, considerando a tecnologia disponível para operar em 2020 mas também as previsões de que tecnologia estar disponível nos próximos 10 anos; espacial, focando na operação desenvolvida pelas E802 e E101, que ministram a IEB; e de conteúdo, considerando a adequabilidade da utilização de APE em IEB.

Para o OG ser atingido, foram criados três Objetivos Específicos (OE):

OE1 - Caracterizar a oferta comercial de APE;

OE2 - Caracterizar as infraestruturas e suporte para APE;

OE3 - Analisar as características da instrução de pilotagem nas fases elementar e básica na FA.

Para alcançar estes objetivos foi seguida uma metodologia empregando o raciocínio dedutivo, assente num estudo de caso e numa estratégia qualitativa suportada em dados quantitativos. Com esta metodologia foram apresentados os dados, foi feita uma discussão e as conclusões resultantes serão apresentadas de seguida.

Em resposta ao OE1, verificou-se que existem várias aeronaves elétricas já testadas em voo com sucesso. A maioria destas soluções são aeronaves de pequena dimensão e têm requisitos de desempenho relativamente modestos. Identificaram-se algumas soluções em desenvolvimento para segmentos mais exigentes como o transporte de passageiros e carga. As únicas ofertas comerciais identificadas foram o *Alpha Electro* e o *Velis Electro*, ambos fabricados pela *Pipistrel*. Apesar de terem características semelhantes, como o baixo peso,



configuração convencional e potência, existe algo que as distingue de forma inequívoca. O *Velis Electro* possui uma certificação emitida por parte da EASA, que é válida em toda União Europeia. Assim, para garantir a aeronavegabilidade continuada, a única opção comercial existente é o *Velis Electro*.

A abordagem ao OE2 foi dividida em duas partes, focando inicialmente as infraestruturas necessárias para uma aeronave de propulsão elétrica e, de seguida, as particularidades do suporte de uma aeronave de propulsão elétrica. É de referir que esta análise tem como fragilidade não considerar dados históricos.

As necessidades de infraestruturas analisadas foram desde o conector de carregamento até às necessidades de armazenamento de aeronaves e de componentes. Para o carregamento verifica-se que a indústria aeronáutica está a adaptar alguns *standards* já existentes para os automóveis. Para proceder ao carregamento, o fabricante recomenda um carregador específico mas que não tem características especialmente exigentes. Assim, conclui-se que na eventualidade de aquisição de uma aeronave de propulsão elétrica e seguindo o estipulado pelo fabricante, estes dois elementos não constituirão um obstáculo.

Para averiguar as eventuais necessidades impostas à infraestrutura elétrica, importa conhecer dimensão da frota a carregar e taxa de utilização dessa mesma frota. Para esta caracterização, assumiu-se o caso mais desafiante:

- assim que uma aeronave aterra, é necessário colocar imediatamente à carga;
- valor de aeronaves prontas (e pode ser necessário carregar em simultâneo), é superior à média da frota do *Epsilon* em 2019.

Com este racional, chegou-se a um valor de cinco carregadores em funcionamento simultâneo, impondo um requisito de 115 kVA à rede elétrica da unidade base. Através da entrevista conduzida, foi possível concluir que a viabilidade imediata deste cenário teria de ser analisada, tendo em conta a unidade base. Porém, existindo capacidade financeira para uma intervenção na rede, este valor poderia ser acomodado.

Nas infraestruturas de armazenamento foram identificadas as necessidades específicas de baterias e motores elétricos e listados os valores que o fabricante *Pipistrel* indica para as suas APE. Após consulta documental, apurou-se que outras frotas na FA também têm exigências semelhantes. O fabricante emite ainda instruções para o estacionamento e armazenamento de aeronaves, contudo, são semelhantes aos seguidos nas aeronaves convencionais. Perante estes factos, depreende-se que poderá existir necessidade de adaptar



edifícios. Não se espera, no entanto, que essas adaptações sejam significativamente diferentes das que ocorrem para outros SA.

No suporte de uma APE, procurou-se comparar esta tecnologia com as aeronaves convencionais. Foi identificado na literatura que a maioria das falhas elétricas têm origem em falhas mecânicas. Caso se mantenha a condição de operação estipulada, é de esperar que um motor elétrico e as baterias funcionem de forma fiável. Esta expectativa está alinhada com os maiores intervalos de inspeção que se verificam para o *Velis Electro*, em relação ao *Epsilon* e ao *Chipmunk*.

Na análise da manutenibilidade do sistema de propulsão elétrica, houve um padrão que se destacou: na documentação da manutenção do motor elétrico, existem instruções para as ações a desenvolver em caso de eventos inopinados e todas essas ações terminam com o contato com fabricante. Isto indicia que a entidade a realizar a manutenção não consegue restaurar o sistema à sua condição anterior. Adicionalmente, o potencial das baterias apenas pode ser regenerado pelo fabricante.

O estudo do terceiro parâmetro que condiciona o suporte à aeronave, a disponibilidade, ficou limitado, uma vez que não se teve acesso a dados históricos nem tempos indicativos para as ações de manutenção.

Para além da manutenção, uma parte significativa dos custos para operar uma aeronave é o custo energético. Normalmente este está associado ao preço do combustível mas no caso das APE, depende da energia elétrica. Para evidenciar as qualidades do sistema elétrico, foi feita uma estimativa do custo energético por hora de voo. A estimativa da APE, foi feita por excesso e, entre outras considerações, foi utilizado um preço de combustível excepcionalmente baixo, que foi registado em meados de 2020. Mesmo com estas considerações, o custo energético por hora de voo foi significativamente inferior na APE.

Para atingir o último Objetivo Específico, o OE3, foram desenvolvidas entrevistas aos PI das E101 e E802, bem como a um Piloto colocado na DIVOPS e que se encontra a acompanhar a modernização do *Epsilon* e substituição do *Chipmunk*.

Em primeiro lugar, foram indicados alguns dos valores de desempenho do SA em serviço na FA. Posteriormente, foram conduzidas entrevistas para aferir qual o valor que os PI entendiam ser adequado para esses parâmetros. Para enquadrar estas grandezas realizou-se uma comparação com os valores indicados pelo fabricante da APE e esta secção foi findada com a apresentação de alguns valores de desempenho de APE experimentais. A análise do desempenho permite concluir que a APE identificada não responde aos requisitos



para IEB na FA. Esta apenas permitiria cumprir as fases mais básicas dos dois planos de instrução.

Nas entrevistas também se tentou perceber qual a melhor configuração de *cockpit* e disposição de instrumentos. Foi ainda referida a necessidade de as aeronaves estarem equipas com rádio ajudas e GPS que permitam a instrução de acordo com a PBN. Mais uma vez, comparam-se estes valores com o *Velis Electro* não cumpre com os aspetos apontados e permite concluir que o *cockpit* e instrumentos não são adequados para cumprir o programa de IEB da FA. Apesar de não se constituir como objetivo, foi referido por vários PI que o modelo de instrução no *Chipmunk* não permite uma franca evolução dos alunos.

Com base no apresentado para os três OE e respondendo ao OG, conclui-se por fim que a única APE certificada e disponível no mercado, não é adequada à IEB na FA. Esta situação poderá ser alterada a médio prazo, com o surgimento de outras aeronaves orientadas para uma instrução mais exigente. Caso isso aconteça, e com base na análise das necessidades infraestruturais, de manutenção e de custos energéticos, a opção APE deverá constituir-se bastante atrativa.

Assim, neste artigo, destacam-se as seguintes contribuições:

1. A identificação de soluções de eletrificação que estão a ser adotadas na aeronáutica, bem como a motivação para essa mudança;
2. A caracterização da oferta de APE existentes até ao presente momento;
3. A análise das implicações nas infraestruturas causadas pelas APE;
4. A apresentação de especificidades das APE na sua manutenção e custo energético por hora de voo;
5. A identificação de requisitos de desempenho e de instrumentos presentes numa APE.

Foram também identificadas algumas fragilidades neste estudo, em particular:

1. Na análise das infraestruturas foi seguida a premissa que apenas seria necessário carregar 5 aeronaves em simultâneo.
2. Não foi estudado o incremento de risco causado pelo armazenamento de baterias.
3. Não se conseguiu obter informação da possível adoção ou rejeição de APE por parte de Forças Aéreas de outras nações.

Finalmente, recomenda-se que a DIVOPS (assessorada pelas Direções Técnicas da FA) acompanhe a evolução das APE, para que uma eventual substituição de um SA por uma



solução elétrica possa ser preparada de forma atempada. Nesta linha, as futuras intervenções nas redes elétricas das unidades base devem ser feitas para acomodar carregadores rápidos num futuro a médio prazo. Face à dificuldade na evolução dos alunos que foi reportada por vários PI, recomenda-se à AFA e à Direção de Instrução que, caso exista um ajuste do modelo e programa de instrução, este seja feito de forma holística, considerando também as capacidades enunciadas para as APE.



## Referências bibliográficas

- Academia da Força Aérea. (2019). *MAFA 144-1 Manual da Esquadra 802* (Manual da Academia da Força Aérea). Sintra, Portugal: Autor.
- Academia da Força Aérea. (2020). *MAFA 147-3(B) Manual de Operação do Chipmunk MK20* (Manual da Academia da Força Aérea). Sintra, Portugal: Autor.
- Ackert, S. (Macqarie A. (2011). Engine Maintenance Concepts for Financiers. *Aircraft Monitor*, (2), 30.
- Barnish, T. J., Muller, M. R., & Kasten, D. J. (1997). Motor maintenance: A survey of techniques and results. *Proceedings ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry*, 287–297.
- Bigoni, F., Moreno-perez, A., Salucci, F., Riboldi, C. E. D., Rolando, A., Trainelli, L., ... Trainelli, L. (2018). *Design of Airport Infrastructures in Support of the Transition To a Hybrid-Electric Fleet*. (1), 1–30.
- Botsford, C., & Szczepanek, A. (2009). Fast Charging vs . Slow Charging : Pros and cons for the New Age of Electric Vehicles 20 Years of EV History 1989 to 2009. *EVS24 International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium*, 1–9.
- Brelje, B. J., & Martins, J. R. R. A. (2019). Electric, hybrid, and turboelectric fixed-wing aircraft: A review of concepts, models, and design approaches. *Progress in Aerospace Sciences*, 104(January), 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2018.06.004>
- Cummings, M. (2003). Display Design in the F/A-18 Hornet. *Ergonomics in Design: The Quarterly of Human Factors Applications*, 11(4), 16–19. <https://doi.org/10.1177/106480460301100405>
- Department of Defense. (2005). *DOD Guide for Achieving, Reliability, Availability and Maintainability*.
- Department of Defense. (2020). Dod Directive 5000.01 The Defense Acquisition System. In -.
- Despacho n.º 7353/2020, de 23 de julho (2020). Modernização dos sistemas de armas Epsilon TB-30 da Força Aérea. *Diário da República*, 2ª Série, 142, 15-16. Lisboa: Ministério da Defesa Nacional.
- Direção de Infraestruturas. (2020). *Construção de hangar para o Helicóptero AW 119 na BAI - Sintra (definição de requisitos)*. Alfragide: Autor



- Direção de Instrução (2013). *PDINST 144-26 (B) Programa do curso da fase elementar e básica em avião (Epsilon)*, Alfragide: Autor
- Directiva N°07/2007. (2007). *Missão, Numeração e Distintivos das Unidades Aéreas*. Alfragide. 3ª Divisão do Estado Maior da Força Aérea.
- Doughty, D., & Roth, E. P. (2012). A general discussion of Li Ion battery safety. *Electrochemical Society Interface*, 21(2), 37–44. <https://doi.org/10.1149/2.F03122if>
- Electro-Aero. (2019). *Charger RAPID User Manual*. Jandakot.
- Força Aérea Portuguesa. (2015). *Alteração N° 4 do Manual de Voo da Frota Epsilon TB-30* (Boletim de serviço). Alfragide: Comando da Logística.
- Freixo, M. J. V. (2011). *Metodologia Científica: Fundamentos, Métodos e Técnicas*. 3.ª ed. Lisboa: Instituto Piaget.
- Inspeção Geral da Força Aérea. (2019). *Anuário Estatístico da Força Aérea 2018*. Alfragide: Autor.
- International Civil Aviation Organization. (2008). *Performance-based Navigation ( PBN ) Manual*. Autor
- Instituto Universitário Militar. (setembro de 2020). NEP/INV - 001 (A1). *Trabalhos de Investigação*. Pedrouços, Lisboa, Portugal: Autor.
- Instituto Universitário Militar. (setembro de 2020). NEP/INV - 003 (A3). *Estrutura e Regras de Citação e Referenciação de Trabalhos Escritos a Realizar no IUM*. Pedrouços, Lisboa, Portugal: IUM.
- Luongo, C. A., Member, S., Masson, P. J., Member, S., Nam, T., Mavris, D., Hall, D. (2009). Next Generation More-Electric Aircraft: A Potential Application for HTS Superconductors. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 2008(6), 1055–1068.
- Martin, H. (2012). Electric Flight - Potential and Limitations. *AVT-209 Workshop, Lisbon*, 1–30.
- Moir, I., & Seabridge, A. (2006). *Military Avionics Systems*. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.
- Moore, M. D., & Fredericks, B. (2014). Misconceptions of electric propulsion aircraft and their emergent aviation markets. *52nd AIAA Aerospace Sciences Meeting - AIAA Science and Technology Forum and Exposition, SciTech 2014*, 1–17.
- Pipistrel. (2020). *M20 Portable charger instruction manual*. Ajdovščina.



- Plevnik, V. (2020a). *Electric Engine - installation and Maintenance Manual*. Ajdovščina.
- Plevnik, V. (2020b). *Pilot's Operating Handbook - Velis Electro*. Ajdovščina.
- PORDATA. (s.d.). Preços da electricidade para utilizadores domésticos e industriais (Euro/ECU) [Página online]. Retirado de [https://www.pordata.pt/Europa/Pre%C3%A7os+da+electricidade+para+utilizadores+dom%C3%A9sticos+e+industriais+\(Euro+ECU\)-1477-804](https://www.pordata.pt/Europa/Pre%C3%A7os+da+electricidade+para+utilizadores+dom%C3%A9sticos+e+industriais+(Euro+ECU)-1477-804)
- Pristavec, J., & Plevnik, V. (2020). *Aircraft maintenance manual - Velis Electro*. Ajdovščina.
- Santos, L.A.B., & Lima, J.M.M. (Coord.) (2019). *Orientações Metodológicas para a Elaboração de Trabalhos de Investigação* (2.<sup>a</sup> ed., revista e atualizada). Cadernos do IUM, 8. Lisboa: Instituto Universitário Militar.
- Siemens. (2014). *Induction Motors / Generators Storage Recommendations* (Vol. 0814). Cincinnati.
- Silva, L. C. F. da. (2012). *Sustentabilidade da frota DHC1 Chipmunk*. (Trabalho de Investigação Individual do CPOS-FA). Instituto de Estudos Superiores Militares. Lisboa.
- Vilelas, J. (2009). *Investigação – o processo de construção do conhecimento*. Lisboa: Edições Sílabo.
- Wheeler, P., & Bozhko, S. (2014). The More Electric Aircraft. *IEEE Electrification Magazine*, 44(0), 6–12. <https://doi.org/10.1109>



## Anexo A – Limitações do *Epsilon* TB-30

Informação retirada de (Força Aérea Portuguesa, 2015)

L.O. P111 - TB30 - 1

### LIMITAÇÕES

#### VELOCIDADE

- A não ultrapassar ( $V_{NE}$ )	281 kts
- De manobra ( $V_A$ )	190 kts
- Trem e/ou flaps em baixo ( $V_{LE} / V_{FE}$ )	130 kts
- Trem e/ou flaps em manobra ( $V_{LO} / V_{FO}$ )	110 kts
- Recomendada em ar turbulento ( $V_{RA}$ )	150 kts
- De rolamento das rodas	104 kts

#### FATOR DE CARGA

- OPERACIONAL	
▪ Peso máximo, avião limpo Cat. U	-1,8 G a +4,4 G
▪ Peso máximo, avião limpo Cat. A	-3,35 G a +5,5 G
- ESTRUTURAL	
▪ Peso máximo, avião limpo Cat. U	-3,25 G a +6,5 G
▪ Peso máximo, avião limpo Cat. A	-3,35 G a +6,7 G
- C/ flaps	+2 G
- Trem em manobra	+1,4 G

#### PESO MÁXIMO

- Descolagem	
▪ Cat. U	1300 kg
▪ Cat. A	1250 kg
- Aterragem	1250 kg

#### ACROBACIA

- Tempo máximo em voo invertido 1 min. e 30 seg.
- Figuras com comandos cruzados limitadas ao tonneau déclenchée com  $V_{AI} \leq 140$  Kts

#### VRILLES

- *Vrille* com trem e/ou flaps é interdita
- *Vrille* invertida é interdita



## Anexo B – Limitações da APE *Pipistrel Velis Electro*

Informação retirada de (Plevnik, 2020b)

### 2.2 AIRSPEED LIMITATIONS

All speeds in the table below are KIAS.

Speed	KIAS	Remarks
$V_{NE}$	108	<b>Never Exceed Speed</b> is the speed limit that may not be exceeded at any time. Maximum speed for all operations.
$V_{NO}$	98	<b>Maximum Structural Cruising Speed</b> is the speed that should not be exceeded except in smooth air.
$V_A$	100	<b>Operating Maneuvering Speed</b> is the maximum speed at which full control travel may be used.
$V_{FE}$	81	<b>Maximum Flap Extended Speed</b> is the highest speed permissible with wing flaps extended at (+1) stage, 65 KIAS for (+2) stage.
$V_{SO}$	46	<b>Stall speed in landing configuration.</b> Stall speed for flaps (+2) stage.
$V_S$	53	<b>Stall speed clean.</b> Stall speed for flaps (0) stage.

### 2.6 WEIGHT AND CENTER OF GRAVITY LIMITS

Maximum take off weight	600 kg
Maximum useful load	172 kg
Maximum landing weight	600 kg
Most forward CG (with crew)	25.2 % MAC / 269 mm
Most rearward CG (with crew)	32.6 % MAC / 336 mm

NOTE: The reference datum is wing's leading edge at root.

### 2.7 OCCUPANCY

Max. Occupancy	Pilot and 1 Passenger
Minimum weight solo pilot	34 kg
Maximum weight per seat	110 kg
Maximum pilot and occupant weight	172 kg
Maximum baggage weight	No baggage

### 2.4 ENGINE AND PROPELLER LIMITATIONS

ENGINE	Pipistrel electric engine E-811-268MVLC
Maximum rated take off power (MTOPI)	57.6 kW (limited to 90 sec)
Maximum rated continuous power (MCP)	49.2 kW

### 2.9 FLIGHT LOAD FACTOR LIMITS

Up to $V_A$	+ 4.0 g / - 2.0 g
Up to $V_{NE}$	+ 4.0 g / - 2.0 g



**Anexo C – Manutenção programada ao sistema de propulsão da aeronave**  
***Pipistrel Velis Electro***

Excerto do plano de manutenção programada ao sistema propulsivo e ações a desenvolver. Informação retirada de (Pristavec & Plevnik, 2020).

*Commercial under confidence*



## Apêndice A – Modelo de Análise

Quadro 3 – Modelo de análise adotado.

<b>Tema</b>	Aeronave de propulsão elétrica para instrução elementar/básica na Força Aérea				
<b>Objetivo Geral</b>	Análise da adequabilidade das aeronaves de propulsão elétrica (APE) para a instrução na Força Aérea.				
<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Questão Central</b>	Em que medida as APE poderão ser empenhadas para a Instrução na FA?			
	<b>Questões Derivadas</b>	<b>Conceito</b>	<b>Dimensão</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Técnicas de recolha de dados</b>
<b>OE1</b> Caracterizar a oferta comercial de APE.	<b>QD1</b> Quais as capacidades das aeronaves existentes com propulsão elétrica?	APE SA (Sistema de Armas)	Características Capacidades	Especificações das APE/SA Tipos de AE/SA	Análise de documentação aplicável e revisão de literatura.
<b>OE2</b> Caracterizar as infraestruturas e suporte para APE.	<b>QD2</b> Quais as infraestruturas e as necessidades logísticas para a sustentação de um SA com propulsão elétrica?	Infraestrutura APE SA	Características Capacidades Adequabilidade	Especificações da rede elétrica	Análise de documentação aplicável e entrevistas semiestruturadas.
			Características Adequabilidade	Acondicionamento de máquinas elétricas	
			Características Capacidades	Instalações para manutenção	
		Suporte APE SA	Características Adequabilidade	Fiabilidade, disponibilidade manutenibilidade Suporte logístico	Entrevistas semiestruturadas, análise de documentação aplicável e revisão de literatura.



Aeronave de propulsão elétrica para instrução básica/elementar na Força Aérea

<b>OE3</b> Analisar as características da instrução de pilotagem nas fases elementar e básica na FA.	<b>QD3</b> Quais os requisitos de operação de uma aeronave de instrução de pilotagem?	Instrução Perfil de utilização	Características	Requisitos da instrução básica/elementar	Entrevistas semiestruturadas e análise de documentação aplicável.
--	---	-----------------------------------	-----------------	--	---



## Apêndice B – Análise das entrevistas – OE2

O Quadro 4 apresenta a análise de conteúdo da entrevista realizada no âmbito do OE2, em foi entrevistado o:

-MAJ/ENGEL Tiago Miranda, Chefe da Sub-Repartição de Energia e Sistemas, da Direção de Infraestruturas da FA (entrevista remota), a que foi atribuído o código DI.

Quadro 4 – Análise de conteúdo da entrevista realizada no âmbito do OE2.

Objetivos Específicos	Conceitos	Dimensões	Indicadores	Segmentos	Codificação
OE2 Descrever as necessidades para as infraestruturas e as necessidades logísticas para a sustentação de um SA com propulsão elétrica	Infraestrutura APE SA	Características Capacidades Adequabilidade	Especificações da rede elétrica	• DI: “se for para implementação imediata [de carregadores rápidos de corrente alternada com aproximadamente 40 kVA <sup>10</sup> ], sem qualquer intervenção prevista que permita aumentar o nível da potência instalada no posto de transformação de serventia a interligar, dependerá da capacidade existente, sendo necessário efetuar uma análise técnica individual”;	DI.OE2.D1.I1.01
				• DI: “Não existe um limite [no número de carregadores] que possa ser definido sem a realização de estudos técnicos de viabilidade específicos para cada Unidade, dependerá sempre do que se pretende e onde. Se existir capacidade financeira para intervir na totalidade da rede de distribuição elétrica de uma Unidade, sem restrições, desde o ponto de entrega na Subestação de entrada aos pontos terminais, existe virtualmente a capacidade para instalar até várias dezenas de carregadores.”	DI.OE2.D1.I1.02
				• DI: “ambas [as unidades com meios para instrução elementar e básica, BA1 e BA11,] possuem potencial para acomodar esse tipo de carregadores. Para verificar se possuem essa disponibilidade no imediato teriam de ser reunidos os requisitos específicos de instalação, [...] e efetuar-se um estudo técnico de viabilidade para cada caso. Se não for para o imediato e existir <i>a priori</i> capacidade financeira para intervir na rede elétrica dessas Unidades, pode-se afirmar que ambas possuem disponibilidade ...	DI.OE2.D1.I1.03
				DI: “...se for necessário [ajustar/melhorar a capacidade da rede elétrica], é sempre possível ajustar/melhorar a capacidade da rede elétrica, com base na minha experiência profissional posso referir que quaisquer limitações que surjam ao nível técnico das instalações e infraestruturas elétricas existentes	DI.OE2.D1.I1.04

<sup>10</sup> Quando da realização da entrevista, ainda não tinha sido obtida documentação dos carregadores de aeronaves e por isso, usaram-se os valores típicos da indústria automóvel.



Aeronave de propulsão elétrica para instrução básica/elementar na Força Aérea

				que possam condicionar a instalação de carregadores são perfeitamente ultrapassáveis, não obstante considera-se que o maior fator crítico condicionante será sempre a capacidade financeira para assegurar a execução de todas as intervenções necessárias.”	
--	--	--	--	--	--



### Apêndice C – Análise das entrevistas – OE3

O Quadro 5 apresenta a análise de conteúdo das entrevistas realizadas no âmbito do OE3. As entrevistas foram feitas ao TCOR/PILAV Dias, colocado na Divisão de Operações do Estado Maior da Força Aérea, e aos PI de duas esquadras diferentes: a E802 e a E101. O TCOR Dias, para além da experiência de pilotagem em aeronaves a jato, é ainda um dos elementos a acompanhar o processo de modernização do *Epsilon* TB-30. As suas respostas receberam o código DIVOPS

Quadro 5 – Análise de conteúdo das entrevistas realizadas ao TCOR Dias no âmbito do OE3.

Objetivos Específicos	Conceitos	Dimensões	Indicadores	Segmentos	Codificação
OE3 Análise das características da instrução de pilotagem nas fases elementar e básica na FA.	Perfil de utilização	Caraterísticas	Requisitos da instrução básica/elementar	DIVOPS: “Embora o <i>Epsilon</i> permita que se cumpram grande parte dos objetivos de formação, é já um SA desatualizado. Nesse sentido, a FA tem a decorrer um programa de modernização que o levará até 2030 e com o qual permitirá que se formem, com a qualidade desejada, os pilotos para a FA. Já nas fases anteriores (designadas Fase 0 e Fase 1), a FA socorre-se do <i>Chipmunk</i> que está muito desatualizado e cujas limitações de operação têm impacto no cumprimento das missões atribuídas à AFA.”	DIVOPS.OE3.D1.I1.01
				DIVOPS: “Por imperativo Europeu para a formação de pilotos, os aviões deverão estar equipados com a capacidade PBN. Além disto, quanto maior for a semelhança entre os equipamentos/instrumentos que os alunos usam em curso e aquilo que vão usar no futuro, mais eficaz será o seu treino.”	DIVOPS.OE3.D1.I1.02
				DIVOPS: “[A substituição do <i>Chipmunk</i> ] Deverá acontecer até ao final de 2022.”	DIVOPS.OE3.D1.I1.03

Já quanto às esquadras de voo, à 802 compete a instrução elementar enquanto que à 101 compete instrução elementar e básica. As respostas dos Pilotos Instrutores da E802 às entrevistas remotas, são apresentadas no Quadro 6 e foram codificadas da seguinte forma:

1. COR/PILAV Aguiar dos Santos – INST802\_01
2. MAJ/PILAV Ariel Abreu – INST802\_02
3. MAJ/PILAV Pedro Diniz – INST802\_03
4. CAP/PILAV Tiago Saldanha – INST802\_04



Quadro 6 – Análise de conteúdo das entrevistas realizadas a Pilotos Instrutores da E802 no âmbito do OE3.

Objetivos Específicos	Conceitos	Dimensões	Indicadores	Segmentos	Codificação
<b>OE3</b> Análise das características da instrução de pilotagem nas fases elementar e básica na FA.	Perfil de utilização	Caraterísticas	Requisitos da instrução básica/elementar	INST802_01: “A configuração tandem é preferível, promovendo o <i>mindset</i> necessário para pilotos de caça. A configuração <i>side-by-side</i> , faria sentido para instrução de pilotos de aeronaves de transportes mas isso implicaria uma filtragem inicial (que não é feita nem desejável, dado o preconizado para a formação de Pilotos-Aviadores na FA).”	INST802_01.OE3.D1.I1.01
				INST802_01: “A autonomia e alcance do <i>Chipmunk</i> são adequados. Mais concretamente, o alcance deverá ser o suficiente para alcançar as unidades da FAP, em Portugal Continental, mais longe da Base Aérea Nº 1: AM1 e BA11.”	INST802_01.OE3.D1.I1.02
				INST802_01: “A única limitação para a missão atual é não ter ajudas à navegação (com os respetivos instrumentos no <i>cockpit</i> ). Essa limitação faz-se sentir em situações de meteorologia com tetos baixos e com pouca espessura, que leva ao cancelamento de voos. Caso existisse essas ajudas à navegação, seria possível manter os voos nessas condições.”	INST802_01.OE3.D1.I1.03
				INST802_02: “Existem algumas [limitações no SA] que, caso sejam colmatadas, poderão habilitar os alunos a uma experiência de voo melhor e enriquecimento de características que os ajudarão nas fases seguintes. - A disposição dos instrumentos não obedece a qualquer regra de ordem ou padrão. - Não possuir nenhum tipo de ajuda rádio, o que limita a operação a outros horizontes. Consequentemente não tem nenhum instrumento de auxílio à navegação IFR. - Não tem um horizonte artificial operativo. [...]”	INST802_02.OE3.D1.I1.01



				<p>INST802_02: “Sim, o perfil do voo militar verte sobre a independência de <i>cockpit</i>, o que é altamente estimulado numa configuração em tandem. Pessoalmente já voei os 2 tipos e é clara a diferença entre ter um Instrutor que dá uma orientação teu lado versus um Instrutor que dá a mesma orientação mas [...] não tens o auxílio gestual encontras no <i>side-by-side</i>.”</p>	INST802_02.OE3.D1.I1.02
				<p>INST802_02: “[A acrobacia] é fundamental. Além de capacitar os pilotos para a natureza do voo acrobático (adaptação do sistema vestibular, fator de carga e dosagem do uso de comandos), desenvolve nos alunos um conhecimento situacional [...] do espaço tridimensional que está a ser utilizado pela aeronave. A gestão de energia surge como uma das principais características desenvolvidas neste tipo de voo.”</p>	INST802_02.OE3.D1.I1.03
				<p>INST802_02: “É importante ter um SA com capacidade de reboque [...] para o desenvolvimento do aluno piloto. Além de lhe dar treino no handling em reboque, contribui para o desenvolvimento de <i>skills</i> aeronáuticas individuais, uma vez que o planador tem uma natureza de voo completamente diferente do <i>Chipmunk</i>.”</p>	INST802_02.OE3.D1.I1.04
				<p>INST802_03: “O facto de [o SA] não ter quaisquer instrumentos de navegação é limitativo na medida em que temos muitos mais cancelamentos por meteorologia. [...] A inclusão de um sistema de navegação [...] também iria permitir elevar a qualidade da instrução porque iria permitir que os alunos se familiarizassem com esse tipo de ajudas à navegação logo desde a AFA, facilitando assim a sua transição para o <i>Epsilon</i>.”</p>	INST802_03.OE3.D1.I1.01
				<p>INST802_03: “Considero adequado e o mais vantajoso. Com o gancho em terra não se consegue atingir a altitude suficiente para todas as modalidades de voo que pretendemos focar. O moto planador acaba por ser um SA já bastante diferente e mais complexo a todos os níveis, pelo que, não considero que fosse vantajoso face ao que temos hoje em dia. O reboque de planadores, para além de ser uma atividade que fornece uma experiência e à vontade diferenciados aos nossos instrutores, acaba por ter um baixo custo operacional se pensarmos que cada hora de <i>Chipmunk</i> (que tem um custo inferior a 200€) se multiplica em várias horas de voo de até 3 planadores em simultâneo.”</p>	INST802_03.OE3.D1.I1.02



				INST802_4: “O atual SA apresenta limitações que impedem que a missão da Esquadra seja mais ambiciosa e abrangente; [...] são características limitantes o facto de a aeronave não ter bons instrumentos para navegação VFR, não ter capacidade para efetuar voo noturno ou por instrumentos, ter uma amplitude de fatores de carga reduzida e ser limitada em termos de potência disponível. Não obstante, outra característica que acaba por ser uma limitação de grande ordem é a configuração convencional do trem de aterragem [...] aquando da descolagem, que acabam por tornar a evolução do aluno no SA muito lenta ou quase impossível.”	INST802_04.OE3.D1.I1.01
--	--	--	--	---	-------------------------

Para o caso da E101, como dois PI não prescindiram do anonimato que lhes foi oferecido, as respostas serão codificadas como se segue:

1. CAP/PILAV Marco Moreira– INST101\_01
2. CAP/PILAV Fábio Gonçalves – INST101\_02
3. CAP/PILAV Bernardo Pereira – INST101\_03
4. CAP/PILAV Pedro Marques – INST101\_04
5. TEN/PILAV Emanuel Ferreira – INST101\_05
6. TEN/PILAV Pedro Leal – INST101\_06
7. PILOTO INSTRUTOR ANÓNIMO 1 – INST101\_07
8. PILOTO INSTRUTOR ANÓNIMO 2 – INST101\_08

**Quadro 7 – Análise de conteúdo das entrevistas realizadas a Pilotos Instrutores da E101 no âmbito do OE3.**

<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Conceitos</b>	<b>Dimensões</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Segmentos</b>	<b>Codificação</b>
<b>OE3</b> Análise das características da instrução de pilotagem nas	Perfil de utilização	Caraterísticas	Requisitos da instrução básica/elementar	INST101_01: “Autonomia 01h30 de máximo com alunos. Mais do que isso já não considero produtivo.”	INST101_01.OE3.D1.I1.01



				<p>INST101_02: “Devido às necessidades de qualificação, entendam-se os futuros requisitos que a EASA pede para a equivalência de licença, o SA <i>Epsilon</i> TB-30, com a configuração atual, não permite efetuar aproximações por GPS. O <i>Epsilon</i> TB-30 possui também aviônicos obsoletos, que apesar de funcionais, já não se encontram presentes em mais nenhuma aeronave FAP, sendo por isso uma barreira à adaptação em novas aeronaves para os novos pilotos</p>	INST101_02.OE3.D1.I1.01
				<p>INST101_02: “Irrelevante para a instrução. Podemos efetuar as várias modalidades a qualquer velocidade. Estudos mostram que após a conclusão do curso e quando um recém-formado piloto é colocado a voar uma outra aeronave, ele tem mais dificuldades na adaptação aos novos aviônicos do que propriamente à velocidade da aeronave.”</p>	INST101_02.OE3.D1.I1.02
				<p>INST101_03: “[...] considero que para o <i>Chipmunk</i> talvez seja possível a substituição por uma aeronave elétrica apesar de se perder a capacidade de realizar <i>out&amp;backs</i>, visto não ser viável implementar carregadores em todas as bases da FA, iria ganhar noutros pontos. Visto já ter passado nas duas esquadras 802/101, não vejo grande ganho na instrução básica a realização de <i>out&amp;back</i>. Assim podia apenas ter uns sistemas de <i>fast charging</i> em Sintra e realizar as missões normalmente. Para a 101 acho pouco praticável até porque temos muitas missões noutras bases da FA e algumas ao estrangeiro. Por isso, não num futuro próximo.”</p>	INST101_03.OE3.D1.I1.01
				<p>INST101_04: “A inclusão sobretudo de sistemas de <i>Traffic Collision Avoidance System</i> e de navegação com base em GPS traria grandes benefícios para os alunos em termos de preparação para um futuro enquanto operadores de outros SA, bem como traria uma nova possibilidade à própria Direção de Instrução, enquanto órgão regulador de cursos de pilotagem, de tornar mais enriquecedor os “syllabi”, tornando os alunos tecnicamente mais dotados e bem preparados para “enfrentar” um espaço aéreo cada vez mais global.”</p>	INST101_04.OE3.D1.I1.01
				<p>INST101_05: “[...] cada vez mais se nota a falta de sistemas de navegação atualizados, nomeadamente GPS, que permita a melhor preparação dos alunos para as aeronaves em que irão operar no futuro. [...]”</p>	INST101_05.OE3.D1.I1.01



				<p>INST101_06: “A aeronave não possui um sistema de climatização adequado fazendo com que em dias de maior calor a performance das tripulações seja severamente degradada ou limitada em número de saídas.”</p>	<p>INST101_06.OE3.D1.I1.01</p>
				<p>INST101_06: “Sendo [o <i>Epsilon</i> TB-30] uma aeronave monomotor, a aeronave não possui um sistema de ejeção/<i>bailout</i> que ofereça confiança, deixando a decisão muitas vezes limitada a uma eventual aterragem forçada.”</p>	<p>INST101_06.OE3.D1.I1.02</p>
				<p>INST101_07: “No que respeita à aquisição de competências no controlo básico e mais avançado, acrobacia, a aeronave é adequada. No que respeita ao voo por instrumentos, a aeronave apenas oferece os conceitos básicos e revela-se antiquada respeitante aos sistemas de navegação, comparativamente aos restantes meios da Força Aérea [...]”</p>	<p>INST101_07.OE3.D1.I1.02</p>
				<p>INST101_08: “O facto de não termos um sistema de ar condicionado faz com que o rendimento do piloto aluno seja limitado e por vezes as missões tenham que ser canceladas ou voar em horários diferentes do normal causando cansaço adicional nos pilotos, fator que determina uma predisposição física e mental diferente.”</p>	<p>INST101_08.OE3.D1.I1.01</p>