



# Revista Científica Academia da Força Aérea

*“E não menos por Armas que por Letras”*



Revista Científica  
Academia da Força Aérea





Manuel Teixeira Rolo

*General*

***Chefe do Estado-Maior da Força Aérea***



Paulo José Reis Mateus

*Major-General*

***Comandante da Academia da Força Aérea***

Publicada anualmente com textos em português e em inglês, a Revista Científica da Academia da Força Aérea é uma publicação da Força Aérea.

Destina-se a divulgar a actividade da Academia da Força Aérea, no domínio da investigação científica, designadamente Teses de Mestrado e Doutoramento e Trabalhos de Final de Curso.

As opiniões expressas nesta revista pertencem aos respectivos autores.



## Índice

<b>Sistemas de Comunicações Óticas em Espaço Livre Explorando Formatos de Modulação Avançados .....</b>	<b>16</b>
Rui Miguel Coelho do Carmo, Alferes Aluno do Mestrado Integrado em Aeronáutica Militar na especialidade de Engenharia Eletrotécnica.	
<b>Power Quality In Air Force Radar Stations .....</b>	<b>33</b>
Hugo Costa, Alferes Aluno do Mestrado Integrado em Aeronáutica Militar na especialidade de Engenharia Eletrotécnica	
<b>Development of Additional Sensor Capabilities for Use in Unmanned Aerial vehicles under CIDIFA.....</b>	<b>49</b>
Rafael Batalha Parcelas, Alferes Aluno do Mestrado Integrado em Aeronáutica Militar na especialidade de Engenharia Eletrotécnica.	
<b>Desenvolvimento de Sistema de Telemetria sobre Vídeo para UAS da FAP .....</b>	<b>64</b>
Fábio Lourenço, Aspirante Aluno do Mestrado Integrado na especialidade de Piloto Aviador	
<b>Design and Optimization of a Wing Structure for a UAS CLASS I 145 kg.....</b>	<b>78</b>
João Jorge Miguel da Silva, Alferes Aluno do Mestrado Integrado em Aeronáutica Militar, na especialidade de Engenharia Aeronáutica	
<b>O Uso de Simuladores Organizacionais na Caraterização do “BEHAVING” e na Análise da Relação entre Planos Organizacionais .....</b>	<b>96</b>
Bruno Dias, Aspirante Aluno do Mestrado Integrado em Aeronáutica Militar na especialidade de Piloto Aviador	
<b>A Organização Online .....</b>	<b>108</b>
Tiago Santos, Aspirante Aluno do Mestrado Integrado em Aeronáutica Militar na especialidade de Piloto Aviador	
<b>A Eficácia do Crew Resource Management nas Tripulações da Força Aérea .....</b>	<b>119</b>
Euríalo Miguel Vieira Lopes de Sousa Viana Aspirante, Aluno no Mestrado Integrado em Aeronáutica Militar na especialidade de Piloto Aviador	
<b>A Procura de Candidatos: O Impacto das Ações de Divulgação na Intenção de Candidatura à Academia da Força Aérea.....</b>	<b>137</b>
Bernardo Francisco Veríssimo Martins Ferreira, Aspirante Aluno no Mestrado Integrado em Aeronáutica Militar na especialidade de Piloto Aviador	
<b>A relação entre a Motivação, o Sistema de Recompensas e a Intenção de Saída dos Oficiais da Força Aérea .....</b>	<b>154</b>
Sónia Fernandes Silva, Tenente Aluna do Mestrado Integrado na especialidade de Administração Aeronáutica	

<b>Lei de Benford – Aplicação à Força Aérea Portuguesa .....</b>	<b>167</b>
Pedro Taborda, Alferes Aluno do Mestrado Integrado em Aeronáutica Militar na especialidade de Administração Aeronáutica	
<b>Padrões de Aptidão Dentária para o Pessoal Navegante Militar em Missões OTAN .....</b>	<b>182</b>
Ana Ferrão, Capitão Técnica de Saúde, Aluna da II Pós-Graduação em Medicina Aeronáutica	
<b>A Avaliação Aeromédica no Piloto VIH Positivo .....</b>	<b>195</b>
Rita Vitória Jorge, Tenente Médica, Aluna da II Pós-Graduação em Medicina Aeronáutica	



RECEBE O  
RELEVAMENTO

ACADEMIA DA FORÇA AÉREA



1319



# Ficha Técnica

---

<b>Director:</b>	<b>Comandante da Academia da Força Aérea</b> Major-General Piloto Aviador Paulo José Reis Mateus
<b>Conselho Editorial:</b>	<b>Chefe do Gabinete de Avaliação e Qualidade</b> Coronel da Polícia Aérea Vítor Baptista <b>Diretor do Ensino da Academia da Força Aérea</b> Coronel Engenheiro Electrotécnico Rui Ferreira <b>Comandante do Corpo de Alunos</b> Coronel Piloto Aviador Rui Romão <b>Chefe do Gabinete de Estudos e Planeamento</b> Tenente-Coronel Técnico de Pessoal e Apoio Administrativo João Henriques <b>Diretor do Centro de Investigação da Academia da Força Aérea</b> Major Engenheiro Aeronáutico Luís Félix
<b>Conselho Consultivo:</b>	<b>Coronel Navegador Carlos Páscoa (AM1)</b> Doutor em Engenharia Informática e de Computadores, pelo Instituto Superior Técnico. <b>Major Engenheiro Eletrotécnico António Matos (AFA)</b> Licenciado em Engenharia Eletrotécnica – Telecomunicações, pela Academia da Força Aérea. <b>Major Engenheiro Aeronáutico Luís Félix (AFA)</b> Doutor em Engenharia Aeroespacial, pelo Instituto Superior Técnico. Licenciado em Engenharia Aeronáutica, pela Academia da Força Aérea. <b>Major de Administração Aeronáutica Marina Faustino (AFA)</b> Mestre em Gestão e Estratégia Empresarial, pelo Instituto Superior de Economia e Gestão. Pós-Graduada em Contabilidade e Fiscalidade, pelo Instituto Superior de Economia e Gestão. <b>Capitão Psicóloga Ana Gomes (AFA)</b> Doutoranda em Gestão, Especialização em Métodos Quantitativos Aplicados à Gestão (ISCTE-IUL). Mestre em Prospecção e Análise de Dados (ISCTE-IUL). <b>Capitão Engenheiro Eletrotécnico Tiago Oliveira (AFA)</b> Doutor em Engenharia Eletrotécnica, pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Mestre em Engenharia Eletrotécnica, pela Academia da Força Aérea. <b>Capitão Engenheiro Aeronáutico João Caetano (AFA)</b> Doutor em Engenharia Aeroespacial, pela Universidade de Tecnologia de Delft, Holanda. Mestre em Engenharia Aeronáutica, pela Academia da Força Aérea. <b>Capitão Engenheiro Eletrotécnico Gonçalo Cruz (AFA)</b> Doutorando em Engenharia Electrotécnica, pelo Instituto Superior Técnico. Mestre em Engenharia Eletrotécnica, pela Academia da Força Aérea.

---

**Propriedade:** Academia da Força Aérea

**Título:** Revista Científica da Academia da Força Aérea

**Composição da Capa:** José Pereira, Sargento Ajudante

**Periodicidade:** Anual, Número 8, 2018

**Paginação, Impressão e Acabamento:** Impress - RAL - Sintra - [www.pre-e-press.com](http://www.pre-e-press.com)

**ISSN:** 2182-2174

**Depósito legal:** 328295/11

**Tiragem:** 400 exemplares

**Distribuição gratuita**

**Morada:** Academia da Força Aérea, Granja do Marquês, 2715-021 Pêro Pinheiro, Portugal

**Correio electrónico:** [gabcmd@academiafa.edu.pt](mailto:gabcmd@academiafa.edu.pt)







A Revista Científica da Academia da Força Aérea, tem materializado anualmente uma edição que dá conta da relevante ação desenvolvida pelos alunos e pelos docentes, no domínio da pesquisa científica, constituindo-se como um exemplo e uma decisiva ajuda, para aquilo que é hoje a nossa Academia, no capítulo da difusão e partilha de ensaios, na promoção e disseminação do saber e na correta perceção da relevância, no mundo atual, do Poder Aéreo e Aeroespacial.

A força desta feliz iniciativa, assenta, assim, nas visões e convicções da sua especial comunidade de autores, que fornecem pesquisas de ponta, incisivas ideias e comentários técnicos e científicos e *insights* sobre o que é realmente actual e importante no contexto aeronáutico e militar.

Não que a Revista tenha a pretensão de dar resposta a todas as questões técnicas, legais e éticas que possam surgir, mas como militantes estudiosos e conhecedores da Causa Aeronáutica temos a responsabilidade de pensar e procurar esclarecer as questões científicas e também sociais e as implicações práticas, dessa mesma vivência Aeronáutica, cientes de que o extenso debate que é necessário para abordar todas estas questões, só é possível, com um público científica e aeronauticamente bem informado.

Ao editar anualmente a Revista Científica, a Academia da Força Aérea é igualmente motivo de regozijo para todos nós, pois, através da potenciação do pensamento científico, com especial destaque para o desenvolvimento do saber aeronáutico, fortifica, a pretensa e profícua ligação com a sociedade em que nos inserimos e a qual temos o dever e a honra de servir.

Por esse habilitado valor, pelo extraordinário compromisso, proficiência e até audácia, que ficam bem evidentes nesta edição, e que muito nos orgulha, quero dirigir publicamente, uma mensagem de congratulação e de incentivo a todos quantos tornaram possível a publicação de mais uma Revista Científica da AFA, que continua a fazer o seu melhor, como sempre, inspirando a nossa organização para aumentar a sua resiliência, aceitar a mudança e aproveitar todas as oportunidades. Bem-Hajam por isso.

Mas este exemplar especial da Revista Científica da Academia da Força Aérea, ganha também particular relevo no ano em que escolhemos como divisa das Comemorações do 66.º Aniversário da Força Aérea “**As Pessoas – Rostos de Missão, Alma no Servir**”, e constitui-se como um magnífico momento para se conhecer e compreender os homens e mulheres da Força Aérea e, assim, dispormos de mais uma razão para nos sentirmos orgulhosos, pois distingue e honra a nossa história e o nosso espírito aeronáutico.

É este tipo de atuação, orientada por ditames de altruísmo e de ética, mas também de ousadia, de aptidão e de firmeza, que, no fundo, mostra a importância estratégica da Academia da Força Aérea, como órgão responsável pela nobre missão de formar os futuros Oficiais do Quadro Permanente da Força Aérea, transmitindo-lhes, com exemplar sentido do Dever e uma “mística” que perpassa o tempo, os valores mais nobres da Instituição e a nossa principal vocação – **fazer bem, para bem servir**.

Por tudo isso, a Revista concede-me o elevado ensejo para, na qualidade de Chefe do Estado-Maior da Força Aérea, poder expressar, publicamente, a minha peculiar estima e público reconhecimento pelos significativos e prestigiantes serviços que, ao longo destes anos, os Alunos, Docentes, Oficiais, Sargentos, Praças e Funcionários Civis têm prestado na Academia da Força Aérea, em nome dos superiores interesses da Força Aérea, das Forças Armadas e da Nação Portuguesa.

Manuel Teixeira Rolo, General, Piloto-Aviador  
*Chefe do Estado-Maior da Força Aérea*



Brasão do Chefe do Estado-Maior da Força Aérea



As universidades são, por definição, não apenas espaços de produção e reprodução de conhecimento, mas também locais de exercício crítico-reflexivo e estímulo à criatividade intelectual e desenvolvimento cultural, seguindo, por norma, uma lógica de interação aberta e crítica com o meio em que se inserem. Neste propósito, as universidades não devem desenvolver a sua atividade em domínios fechados ou isolados. Pelo contrário, devem as universidades procurar, cada vez mais, constituir-se como campos de intercâmbio num contínuo e construtivo diálogo com a sociedade e meio que as acolhe.

Apesar da peculiar especificidade militar, a Academia da Força Aérea (AFA), enquanto estabelecimento de ensino superior, não foge à regra das suas congéneres civis em matéria de investigação, tendo vindo a assumir uma dimensão crescente na produção de trabalhos científicos, designadamente no âmbito dos estudos pós-graduados, de mestrado e doutoramento, tanto em regime de exclusividade como em colaboração com universidades nacionais e estrangeiras.

Os estudos entretanto realizados constituem já um importante espólio de saber, cobrindo múltiplas vertentes que intercetam a vivência organizacional. Este repositório procura acrescentar valor representando, em concreto, um olhar crítico sobre os diversos campos de reflexão científica, desde a inovação tecnológica que problematiza novas perspetivas de intervenção e de otimização de meios, até às lógicas de entendimento da realidade subjacente à vivência castrense, possibilitando assim uma mais profunda e esclarecida visão sobre a própria organização Força Aérea.

A atividade de investigação levada a cabo pelos alunos da AFA, os futuros chefes de amanhã, constitui-se, cada vez mais, como um importante driver de mudança e adaptação à realidade, ela própria, como bem sabemos, caracterizada por uma acelerada dinâmica de transformação.

Neste sentido, compete à Força Aérea, através da AFA, continuar a garantir condições que estimulem a consolidação de uma cultura militar científica como parte essencial de um processo permanente de modernização, desenvolvimento e continuada melhoria das rotinas organizacionais.

Os estudos efetuados pelos nossos alunos, genuínos e concretos contributos para a construção do futuro, constituem a expressão prática dessa cultura que interessa preservar. Pelo inquestionável valor que representam para o meio militar e para a sociedade, importa igualmente conferir-lhes visibilidade pública através da Revista Científica da Academia da Força Aérea, partilhando desta forma, com a sociedade civil, o conhecimento desenvolvido na AFA.

Na corrente edição são abordadas várias temáticas que cobrem matérias quer do domínio tecnológico, como a otimização da exploração operacional dos UAV, ou a melhoria da capacidade de transmissão de dados por recurso a sistemas de comunicações óticos, quer do campo organizacional, como a conceção de mecanismos de cearização de emprego de meios ou a construção de modelos de arquitetura informacional, quer ainda da área psicossociológica, como o estudo das motivações presentes na decisão de saída dos oficiais ou a análise do impacto das ações de divulgação da Força Aérea na intenção manifestada pelos candidatos à AFA e a avaliação da importância do Crew Resource Management na segurança de voo, ou mesmo, do foro médico, analisando aspetos de saúde com impacto no desempenho operacional dos militares.

A diversidade de temas que integram o presente número da Revista Científica da AFA traduz, no fim de contas, a comprovação da multiplicidade de competências e de funções necessárias à concretização integral da missão atribuída à Força Aérea. A AFA, órgão responsável por conferir tais competências em primeira instância, prosseguirá, como tem sido seu apanágio, inteiramente focada em assegurar uma formação de excelência e uma produção científica que faça jus, a todo o tempo, à divisa que a identifica: “Não menos por armas que por letras”.



Brasão do Comandante da Academia da Força Aérea

# Introdução



No ano em que a Academia da Força Aérea (AFA) perfaz quarenta anos de existência, é chegada a altura de publicar o oitavo volume da sua Revista Científica. Nesta publicação anual estão reunidos alguns dos trabalhos científicos elaborados na AFA.

Sendo a AFA uma das Entidades do Ensino Superior Público Universitário Militar, tem como missão principal dotar os seus alunos com conhecimentos o mais atuais, diversificados e adequados possível às funções que vão desempenhar futuramente. Esta formação visa não só preparar oficiais para os quadros permanentes, mas acima de tudo habilitá-los a serem futuros líderes. Nessa missão consta também a responsabilidade de garantir formação complementar de militares e civis, na qual se inclui a Pós-graduação em Medicina Aeronáutica.

Os artigos apresentados neste volume, em consonância com o preconizado na AFA, para além do cariz científico de que se revestem, não escondem um cunho eminentemente prático e alinhado com a missão da Força Aérea, quer a nível nacional, quer em cumprimento dos tratados de que Portugal faz parte.

A intenção na escolha dos artigos visou mostrar o que é produzido ao nível dos diferentes ciclos de estudos das diversas especialidades e respetivas áreas, tendo sido incluídos também dois artigos resultantes da Pós-graduação em Medicina Aeronáutica.

Ao nível da Engenharia Eletrotécnica é apresentado um artigo sobre a implementação de um módulo de baixo custo de comunicações óticas e respetivas modulações de sinal. Na área desta engenharia apresenta-se também um artigo resultado do estudo de avaliação e monitorização da qualidade de energia elétrica, efetuado a três das Estações Radar da Força Aérea.

Relacionados com os *Unmanned Aerial Vehicles* (UAS) desenvolvidos no Centro de Investigação Desenvolvimento e Inovação da Força Aérea (CIDIFA), atualmente integrado no Centro de Investigação da Academia da Força Aérea (CIAFA), são apresentados dois artigos que abrangem a área do desenvolvimento e parametrização dos sensores utilizados nessas aeronaves. É incluído também um artigo sobre a otimização do desenho e estrutura das asas dos UAS CLASS I de 145kg. Estes artigos foram elaborados por autores das especialidades de Piloto Aviador, na área de tecnologia aeronáutica, de Engenharia Eletrotécnica, ramo de aviónica e de Engenharia Aeronáutica.

De autores da especialidade de Piloto Aviador, na área de engenharia organizacional, são apresentados dois artigos: um com a proposta e análise da implementação de um simulador organizacional na Força Aérea e outro com a proposta de um modelo de arquitetura informacional para a Força Aérea.

Também da especialidade de Piloto Aviador, desta feita na área de comportamento organizacional, incluem-se dois artigos: um em que é analisada a eficácia do modelo de *Crew Resource Management* em utilização na Força Aérea e outro com a análise dos efeitos das ações de divulgação na intenção de civis se candidatarem à AFA.

No âmbito da especialidade de Administração Aeronáutica, são publicados dois artigos, um que apresenta um estudo referente às relações teóricas entre a motivação, a importância atribuída aos diferentes tipos de recompensas e a intenção de saída da Força Aérea por parte dos militares, sendo o outro referente à aplicação da Lei de Benford como ferramenta de auxílio a auditorias e mesmo como meio para prevenção de fraude.

Na área da Medicina Aeronáutica incluem-se dois artigos baseados em trabalhos finais da pós-graduação tutelada pela AFA e ministrada pelo Centro de Medicina Aeronáutica. Num desses artigos é apresentada a proposta de um novo sistema de classificação de prontidão quanto à saúde oral e regras para a aptidão dentária de militares navegantes em missões NATO, no outro é analisada a forma como é feita a avaliação aeromédica dos pilotos VIH positivos tendo em conta os desenvolvimentos do conhecimento ocorridos na área.

Rui Fernando da Costa Ferreira, Coronel Engenheiro Eletrotécnico  
*Diretor de Ensino Universitário*

# Sistemas de Comunicações Óticas em Espaço Livre Explorando Formatos de Modulação Avançados



**Autor:** Rui Miguel Coelho do Carmo, Alferes Aluno do Mestrado Integrado em Aeronáutica Militar na especialidade de Engenharia Eletrotécnica.  
Academia da Força Aérea, Sintra

**Orientadores:** Professor Paulo Sérgio de Brito André  
Instituto de Telecomunicações, Instituto Superior Técnico,  
Universidade de Lisboa, Lisboa

**Resumo:** Desde o início do século XXI a evolução das sociedades tem sido marcadamente influenciada pela crescente influência dos recursos tecnológicos, especialmente pelo exponencial crescimento e avanço das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC). Nesta perspectiva, assume particular destaque a rápida evolução da comunicação digital, verificando-se um aumento exponencial dos requisitos de largura de banda e de capacidade de transmissão. Num futuro próximo, uma das soluções será a transição das comunicações *wireless* para a sua quinta geração (5G), que representará um importante passo no vertiginoso caminho de evolução das telecomunicações.

Neste contexto, a utilização de ligações óticas em espaço livre irão seguramente constituir uma valiosa mais-valia para a melhoria da cobertura, da capacidade e da Qualidade de Experiência global nos *datacenter* e nos centros urbanos, visto ser uma solução flexível e de baixo custo. Sendo possível propor soluções de *backhaul* ótico com elevada capacidade, eficiência espectral e energética, mas também com baixo custo por bit. Na presente dissertação realizou-se o estudo de formatos avançados de modulação, com potencialidade de aplicação em sistemas de comunicação ótica em espaço livre, privilegiando-se a possibilidade de utilização de detecção direta.

Nesse sentido, será realizado um projeto que consiste na implementação de um módulo de comunicações óticas ponto a ponto de baixo custo, operando na região espectral visível e baseando-se na modulação direta do emissor ótico. Através da modulação de uma subportadora, são utilizados os formatos BPSK e QPSK, permitindo desta forma aumentar a eficiência espectral da ligação. A partir da modulação QPSK foi possível obter um EVM de 1.3%, próximo do limite de detecção, representando um valor ótimo para os objetivos pré-estabelecidos.

**Palavras-chave:** Comunicações óticas em espaço livre, formatos de modulação avançados, modulação de fase, modulação da subportadora, detecção direta

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem-se registado um grande crescimento e avanço nas Tecnologias de Informação e Comunicação, reconhecidamente responsáveis por grandes mudanças no desenvolvimento da economia global. Com o aumento do uso da internet, com requisitos de ritmos de transmissão cada vez mais elevados para diversas aplicações, tais como videoconferências e *live-streaming*, tem sido claro que os requisitos de largura de banda e capacidade de transmissão estão a aumentar exponencialmente. Uma das consequências desta crescente evolução é a necessidade de introdução das tecnologias óticas na rede de acesso e o congestionamento do espectro utilizado nos sistemas de radiofrequência convencionais [1], [2].

Num futuro próximo, esta escalada de evolução terá mais um importante degrau: a transição das comunicações sem fio para a sua quinta geração (5G). A tecnologia 5G prevê a resolução de seis desafios que não são efetivamente resolvidos pelo 4G, nomeadamente: maior capacidade de transporte, maior ritmo de transmissão, menor latência de ponta a ponta, conectividade maciça de dispositivos, custo reduzido e fornecimento consistente de Quality of Experience [3]. A utilização de *links* em espaço livre poderá contribuir para a melhoria da cobertura, da capacidade e da *Quality of Experience* global nos *datacenter* e nos centros urbanos, visto ser uma solução flexível e de baixo custo.

Das muitas aplicações dos sistemas de comunicação em espaço livre (do Inglês FSO - Free-Space-Optics), destacam-se as ligações que envolvem satélites, sondas, aeronaves, estações terrestres, veículos aéreos não tripulados (UAV), plataformas de grande altitude, entre outros. Para além disso, todas estas



ligações podem ser usadas tanto em contexto militar como em civil, o que aumenta bastante a sua utilidade e versatilidade [1]. Ainda assim, o facto de existirem apenas algumas ligações óticas em espaço livre entre localizações fixas demonstra que a sua utilização não se tem destacado necessariamente nas comunicações terrestres. Contudo, para elevados ritmos de transmissão ( $> 10$  Gbit/s) e alcances na ordem de 3 a 5 km, já existem produtos comercializados. Em 2008, a empresa MRV Communications introduziu um sistema com um ritmo de transmissão de 10 Gbit/s, reivindicando uma distância de 2 km em alta disponibilidade [4].

Este tipo de tecnologia requer dispositivos similares aos usados para transmitir em fibra ótica, sendo a única diferença o canal de transmissão. Este sistema possui algumas vantagens, tais como: a não necessidade de abrir condutas para instalar cabos, tendo uma instalação rápida e eficiente; não necessita de licenças e permissões; a largura de banda pode ser superior ou igual aos sistemas de fibra ótica e muito superior ao dos sistemas de RF, podendo chegar à ordem de Tbit/s; e não induzir interferência eletromagnética em outros equipamentos. Por outro lado, a sua principal desvantagem reside no facto de ser bastante difícil de adquirir, de rastrear e de alinhar devido à divergência e dimensão do feixe. Para além disso, as comunicações FSO estão bastante dependentes da imprevisibilidade das condições atmosféricas, que podem degradar o desempenho dos sistemas. Outro fator limitante é também a interferência de fontes de radiação [2].

Neste trabalho, é proposto o desenvolvimento e implementação de um módulo de comunicações óticas, operando na região do espectro visível, baseado na modulação direta do emissor ótico. Tem como finalidade ser implementado como um sistema ótico de *backhaul* de baixo custo, onde a viabilidade da sua aplicação será avaliada. Este trabalho está organizado da seguinte forma: após a introdução, a caracterização do canal e a teoria da implementação do BPSK, QPSK e EVM são apresentadas na seção II. A Seção III trata de todos os hardwares e softwares utilizados. A Seção IV trata da implementação do módulo com modulação BPSK e um LED como emissor óptico. A seção V trata da implementação do módulo com modulação QPSK e de um laser semiconductor como um emissor óptico, onde o EVM será usado para quantificar o desempenho do sistema. Finalmente, as principais conclusões são apresentadas na seção VI.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste trabalho, foi utilizada uma subportadora elétrica para modular a portadora ótica, gerada pelo emissor ótico, cuja receção é baseada na detecção direta, que por sua vez, permitirá extrair a subportadora e processá-la numericamente.

### A. Propagação em Espaço Livre

As tecnologias FSO utilizam o canal atmosférico como meio de propagação, cujas propriedades são funções aleatórias de espaço e tempo, o que torna as ligações FSO um fenómeno dependente do clima e da localização geográfica. Vários fatores ambientais imprevisíveis, como nuvens, neve, nevoeiro, chuva, neblina e entre outros, são fortes atenuantes no sinal ótico, limitando a distância de ligação que pode ser aplicada. Se se considerar que a ligação não é afetada pela atmosfera, no canal básico de espaço livre, o sinal é transmitido sem qualquer tipo de perdas. Caso contrário, se se considerar os efeitos de extinção da atmosfera, é bem conhecido a existência de vários fatores que contribuem para a degradação do sinal recebido. A transmissão através de nuvens e nevoeiro intenso normalmente não é possível devido à elevada atenuação que pode exceder várias dezenas de dB/Km. Ainda assim, sob boas condições climatéricas, as

perdas no canal atmosférico devem-se principalmente a fenômenos de absorção, dispersão e turbulência atmosférica [6].

O cálculo das atenuações causadas pelo nevoeiro, grande parte das vezes é proveniente de abordagens empíricas, pois são mais convenientes quando comparadas com outros tipos de abordagens teóricas muito mais complexas e demoradas. O modelo empírico mais comum é baseado na estimativa do alcance de visibilidade. Com base na estimativa desse alcance, com um limiar de transmissão de 2% sobre o percurso atmosférico, a atenuação do nevoeiro pode ser estimada por [8]:

$$\alpha(\lambda) \cong \frac{17.35}{V} \left( \frac{\lambda}{550} \right)^{-q} \quad (1)$$

onde  $V$  é o alcance de visibilidade em km,  $\lambda$  é o comprimento de onda da transmissão em nm.  $\gamma(\lambda)$  é o coeficiente de atenuação total para nevoeiro e  $q$  é o coeficiente de distribuição do tamanho das gotículas de nevoeiro. O parâmetro  $q$  na equação (2.1) depende do alcance de visibilidade e é dado pela seguinte equação [8]:

$$q = \begin{cases} 1.6, & V > 50\text{km} \\ 1.3, & 6\text{km} < V < 50\text{km} \\ 0.16V + 0.34, & 1\text{km} < V < 6\text{km} \\ V - 0.5, & 0.5\text{km} < V < 1\text{km} \\ 0, & V < 0.5\text{km} \end{cases} \quad (2)$$

## B. Modulação BPSK

Numa primeira abordagem na implementação do módulo, será usado o formato de modulação BPSK. Esta modulação é a forma particular de *phase shift keying*, usando apenas dois valores para a fase, separados por  $180^\circ$ . Para além disso, é a modulação robusta de todas as modulações PSK, uma vez que, só tomando o nível mais alto de ruído ou distorção é que é possível fazer o desmodulador chegar a uma decisão incorreta. É, no entanto, apenas capaz de modular 1 bit/símbolo e por isso poderá não ser adequada para aplicações com ritmos de transmissão elevados [9]. Durante o processo de modulação, a fase da portadora é modificada tendo em conta a informação que se quer transmitir. Esse processo consiste em multiplicar o sinal a transmitir, que neste caso é o sinal digital  $d(t)$ , pela portadora  $S(t)$ , obtendo-se a seguinte onda modulada  $S_{\text{bpsk}}(t)$  [10]:

$$S_{\text{bpsk}}(t) = A \cos(\omega_0 t + \theta(t)) \quad (3)$$

em que  $\theta$  é 0 ou  $\pi$ . Esquemáticamente, este processo é representado pela Figura 1 e a onda modulada toma a forma representada na Figura 2:

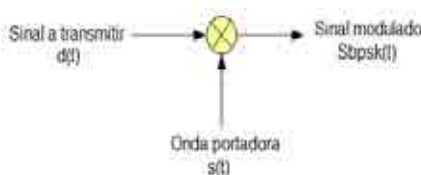


Figura 2 - Esquema da modulação BPSK [adaptado de [9]]

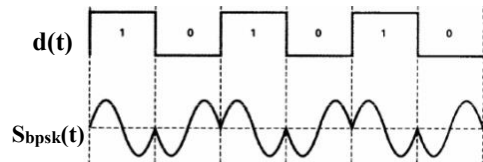


Figura 1 - Forma de onda

Depois do envio do sinal pelo canal de transmissão, é necessário efetuar a desmodulação. O esquema seguinte representa toda a etapa de desmodulação:

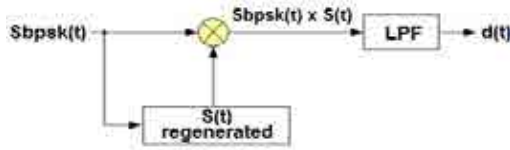


Figura 3 - Esquema da Desmodulação BPSK [adaptado de [9]]

Primeiro, multiplica-se o sinal recebido novamente por uma onda idêntica à onda portadora, obtendo-se assim um sinal com o dobro da frequência da portadora. Esse sinal é caracterizado da seguinte forma:

$$A_1 A_k \cos(\omega_0 t) \times \cos(\omega_0 t + \theta(t)) = A_1 A_k \frac{1}{2} [\cos(2\omega_0 t) + \cos(\theta(t))] \quad (4)$$

Nas situações em que o bit é “1”, a componente modulada encontra-se acima no nível zero, enquanto que quando o bit é “0”, a componente modulada encontra-se abaixo do nível zero. Após a multiplicação, o segundo passo na recuperação do sinal consiste então em aplicar ao sinal resultante um filtro passa-baixo (LPF), de forma a remover a componente oscilatória com o dobro da frequência da portadora, obtendo a seguinte expressão:

$$A_1 A_k \frac{1}{2} \cos(\theta(t)) = \begin{cases} \frac{A_1 A_k}{2} \\ -\frac{A_1 A_k}{2} \end{cases} \quad (5)$$

De acordo com a expressão é de prever que a amplitude diminua para metade. Assim sendo, é possível determinar o sinal de banda base original e, conseqüentemente, a sequência de bits original. Relativamente ao diagrama de constelação do BPSK (Figura 4), os pontos de constelação situam-se inteiramente sobre o eixo x, não tendo, portanto, projecção no eixo y. Isto significa que o sinal modulado BPSK terá uma componente em fase (I) e nenhuma componente em quadratura (Q). Isso ocorre porque tem apenas uma função base.

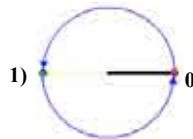


Figura 4 – Diagrama de Constelação do Sinal BPSK

### C. Modulação QPSK

Como segunda e última fase de implementação, pretende-se utilizar o formato de modulação QPSK. A modulação *Quadrature Phase Shift Keying* permite transmitir a informação em quatro transições de fase ( $\pi/4, 3\pi/4, 5\pi/4, 7\pi/4$ ), em que cada símbolo transmitido contém dois bits. Desta forma, esses símbolos já não correspondem apenas a “0” ou “1”, mas sim a {00, 01, 10, 11}, correspondendo a cada um uma transição de fase específica. Isto significa que o QPSK pode ser usado para dobrar o ritmo de transmissão em comparação com um sistema BPSK, mantendo a mesma largura de banda do sinal. Ou então permite manter o mesmo ritmo de transmissão do BPSK, reduzindo para metade a largura de banda necessária [10].

A Figura 5 demonstra o esquema de modulação do QPSK, onde a sequência de bits gerada é dividida em componentes em fase e em quadratura. Estes são então modulados separadamente, ao serem multiplicados pela portadora em fase (I)  $C_i(t)$  e a outra pela componente em quadratura (Q)  $C_q(t)$ . Posteriormente, os dois

sinais são sobrepostos e o sinal resultante é o sinal modulado QPSK. As equações seguintes representam analiticamente o processo:

$$C_i(t) = A_k \cos(\omega_0 t + \theta_{in}(t)) \quad (6)$$

$$C_q(t) = B_k \sin(\omega_0 t + \theta_{qd}(t)) \quad (7)$$

$$S_{qpsk}(t) = C_q(t) + C_i(t) = A_k \cos(\omega_0 t + \theta_{in}(t)) + B_k \sin(\omega_0 t + \theta_{qd}(t)) \quad (8)$$

É de notar que a codificação polar NRZ pode ser feita antes ou depois da divisão dos bits, contudo, foram colocados depois para ilustrar a diferença conceitual entre sinais digitais e analógicos envolvidos com a modulação digital.

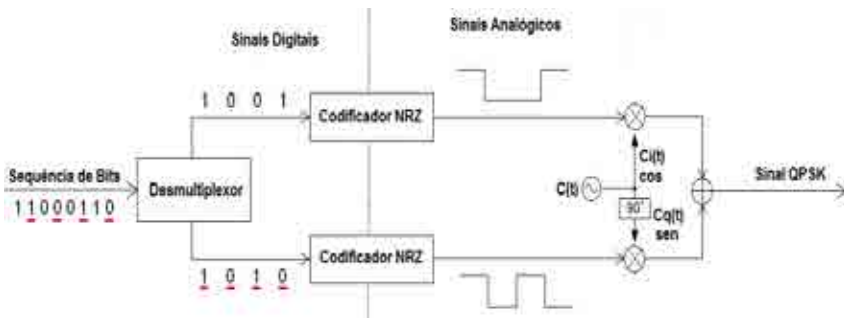


Figura 5 - Esquema da Modulação QPSK [adaptado de [11]]

Depois do envio do sinal pelo canal de transmissão, efetua-se a desmodulação, cuja representação do processo é esquematizado na Figura 6. Primeiro, o sinal recebido é dividido em duas partes, sendo que cada uma delas é multiplicada novamente por uma onda idêntica à onda portadora em fase e em quadratura. De seguida ambos os componentes são filtrados por um LPF, de forma a remover a componente oscilatória com o dobro da frequência da portadora. Cada dispositivo de descodificação utiliza um valor de limiar de referência para determinar se um “1” ou “0” é detetado. Por fim, as duas sequências de bits são sobrepostas, formando a sequência original de bits.

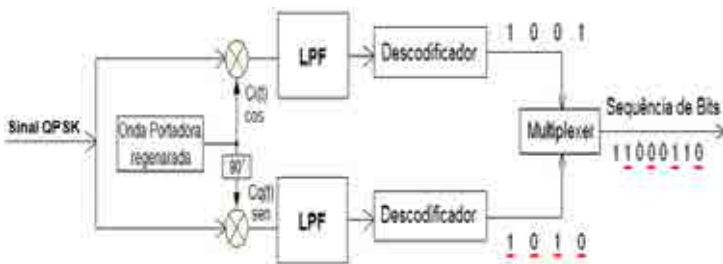


Figura 6 - Esquema da Desmodulação QPSK [adaptado de [12]]

Relativamente ao diagrama de constelação do QPSK, os pontos de constelação situam-se sobre os dois eixos do diagrama, sendo usados quatro pontos equidistantes. Como mostrado na Figura 7, as informações são atribuídas às fases  $\pi/4$ ,  $3\pi/4$ ,  $-\pi/4$  e  $-3\pi/4$  da onda portadora como 00, 01, 10 e 11, respetivamente.

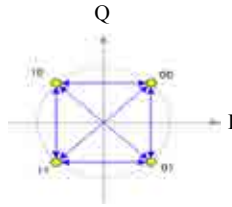


Figura 7 - Diagrama de Constelação do Sinal QPSK

**D. Error Vector Magnitude**

Os sistemas de transmissão ótica coerentes e os formatos avançados de modulação, como a modulação de amplitude em quadratura (QAM), estão estabelecendo-se rapidamente. Para codificar estes formatos, uma variedade de novos conceitos de moduladores óticos foram introduzidos. Entre eles estão moduladores dedicados a um formato de modulação particular, bem como novos transmissores óticos definidos por *software* que permitem a codificação de vários formatos de modulação com apenas um pressionar de um botão. À luz das capacidades para codificar tais formatos de modulação avançados existe a necessidade de avaliar de forma fiável a qualidade dos sinais codificados. Em testes laboratoriais até agora, a maioria dos recetores emprega processamento de sinal digital *off-line* com *clock rates* muito reduzidos. Como tal, este processamento torna o cálculo do *Bit Error Rate* (BER) muito demorado, especialmente se a qualidade do sinal é alta. Em consequência, é necessária uma medida de desempenho mais rápida, embora fiável. Como tal é empregue o *Error Vector Magnitude* do vetor (EVM) [10].

O EVM é, portanto, um parâmetro essencial para a precisão da modulação, pois constitui uma forma de medir e avaliar métodos de modulação multinível e multifase, tais como M-QAM e M-PSK [13]. A discrepância entre os vetores de símbolos reais e ideais é quantificada através de um vetor de erro, como mostrado na Figura 8:



Figura 8 – EVM [adaptado de [10]]

O EVM é, portanto, a relação entre a potência do vetor de erro e a potência do vetor de referência, relacionada com a constelação ideal. O EVM pode ser definido em decibéis (dB) ou percentagem (%) da seguinte forma:

$$EVM(dB) = 10\log_{10} \left( \frac{P_{\text{erro}}}{P_{\text{ref}}} \right) \quad (9)$$

$$EVM(\%) = \sqrt{\frac{P_{\text{error}}}{P_{\text{ref}}}} \times 100 \quad (10)$$

onde  $P_{\text{erro}}$  e  $P_{\text{ref}}$  são a potência quadrática média (RMS) do vetor de erro e o ponto médio (potência média) na constelação de sinais de referência;  $e_{\text{I}}$  e  $e_{\text{Q}}$  são os sinais em fase e em quadratura ideais;  $I$  e  $Q$  são os sinais transmitidos em fase e em quadratura [10]. O EVM também pode ainda ser representado conforme a seguir indicado:

$$\text{EVM (RMS)} = \frac{1}{N} \times \sum_{K=1}^N \sqrt{\frac{(I_k - I_{\text{ref}})^2 + (Q_k - Q_{\text{ref}})^2}{(I_{\text{ref}} + Q_{\text{ref}})^2}} \quad (11)$$

onde N é o número de símbolos únicos na constelação.

Tem-se como exemplo a quantificação do EVM de uma transmissão *back-to-back* de um sinal em que foi adicionado ruído branco gaussiano. De acordo com o gráfico da Figura 9, quanto menor for a relação sinal ruído, maior será o EVM(%). E quanto maior for a relação sinal ruído o EVM tende a diminuir e saturar perto de 1%, correspondendo este valor a um limite de detecção do sistema. E portanto, para valores obtidos próximos de 1% (linha verde) começam a não ser totalmente precisos.

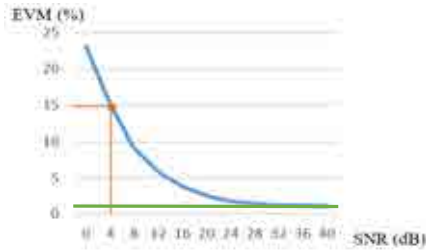


Figura9 - Gráfico EVM(%)/SNR(dB).

A Figura 10 representa o diagrama de constelação QPSK com 1000 símbolos, em que a relação de sinal de ruído é de 4 dB. Neste caso os pontos que constelação, apesar de se concentrarem à volta dos pontos ideais, estão bastantes dispersos, possuindo um EVM de 15%. Um valor desta magnitude é suficiente para causar erros na transmissão, sendo que neste caso originou a transmissão de dois bits errados.

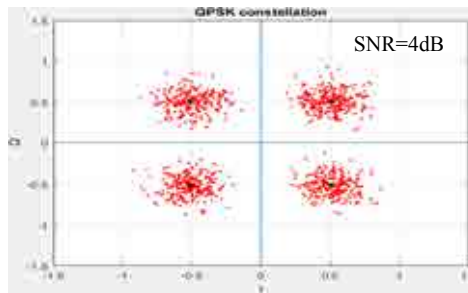


Figura 10 - Constelação QPSK, com SNR=4dB

Na ligação a ser feita, será necessário a utilização de um filtro atenuador, dada a elevada potência do laser. Sendo este o único fator atenuante considerado na ligação, pelo que não haverá perdas atmosféricas durante a ligação e, como tal, prevê-se que o EVM obtido seja próximo do valor de limite de detecção, isto é, próximo de 1%.

### 3.COMPONENTE DE HARDWARE E SOFTWARE

Para o desenvolvimento do módulo ótico foi utilizado um dispositivo analógico designado ADALM1000. O dispositivo possui dois canais analógicos (A e B), cada um capaz de gerar e medir sinais analógicos com

uma taxa máxima de amostragem de 100 kHz. Sendo alimentado diretamente por USB, suporta os sistemas operativos OS X, Windows e Linux [14].

A Figura 11.a mostra uma fotografia da placa ADALM1000 e os seus portos de entrada e na Figura 11.b estão representados os respetivos esquemas de geração e medição de sinais.



Figura 11 - a) Placa ADALM1000; b) Esquema de geração e medição de sinais

Como sistema operativo, propôs-se utilizar o Windows e os testes são efetuados com o recurso ao *software* MATLAB (v2016a).

#### 4. IMPLEMENTAÇÃO DO FORMATO BPSK

No seguimento da parametrização anteriormente descrita, procede-se então à implementação experimental do módulo ótico, baseado na modulação direta do emissor ótico, em que foi definido um LED como emissor ótico. O formato utilizado neste sistema foi *Binary Phase Shift Keying*.

Nesse sentido e conforme esquematizado na Figura 12, é utilizada uma subportadora elétrica para modular a portadora ótica gerada pelo emissor ótico. Desta forma, o LED é modulado diretamente, sendo o sinal emitido detetado diretamente por um fotodetetor, que vai estar colocado à frente deste, a uma distância mínima de 5 mm. Para tal, definiu-se o canal B como sendo o canal de saída, que vai alimentar o LED e o canal A como o canal de entrada, o qual vai receber o sinal captado pelo fotodetetor.

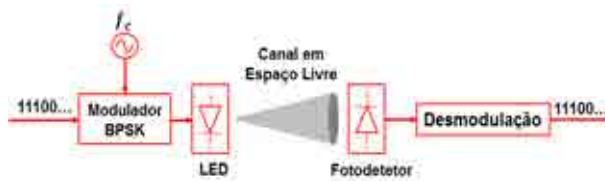


Figura 12 - Configuração do Sistema I

Para a configuração das ligações é utilizada uma *breadboard* simples. Entre o canal B e o LED, foi necessário colocar uma resistência em série de forma a limitar a corrente máxima. Para o efeito, é utilizada uma resistência de 270  $\Omega$ . O LED é designado por IF-E96 e é fabricado pela *Industrial Fiber Optics, Inc.* Permite ritmos de transmissão razoáveis (5 Mps) e emite na região espectral do visível (cor vermelha) de 660 nm [15]. É utilizado é um fotodetetor DET10A/M, de silício (Si), fabricado pela *Thorlabs*, projetado para detetar sinais óticos entre 200 nm e 1100 nm [16].

## A. Intervalo de Transmissão

Antes de se proceder com transmissão do sistema ótico é necessário estudar o comportamento do LED. Na Figura 13, o eixo das abcissas representa a voltagem introduzida no LED. O eixo das ordenadas representa a tensão lida pelo fotodetector durante o processo, que corresponde a potência ótica emitida pelo LED. Como se pode observar, o fotodiodo não lê valores inferiores a aproximadamente 1,8 V, devido ao facto de o LED só funcionar com tensões de polarização superiores a esse valor. Como tal, definiu-se que o intervalo mais apropriado para transmitir o sinal é de 3 a 5 V, onde o LED apresenta uma curva mais linear.

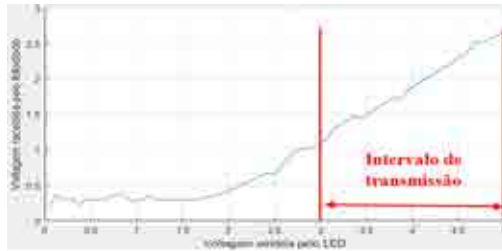


Figura 13 - Potência ótica emitida pelo LED em função da tensão de polarização.

## B. Transmissão

Foi considerada uma onda sinusoidal com frequência de amostragem de 1000 Hz e frequência da subportadora de 50 Hz e definiu-se uma sequência aleatória de 10 bits, para serem transmitidos. Isto significa que cada ciclo terá 20 amostras e que cada bit corresponderá a 5 ciclos, ou seja, 100 amostras. Portanto, sabendo que o dispositivo tem capacidade para realizar 100000 amostras por segundo, o ritmo de transmissão é de 1kbit/s. Na Figura 14, a vermelho está uma representação o sinal digital que se pretende transmitir com a sequência gerada aleatoriamente “1110011001”, e a azul está representado a subportadora  $S(t)$ . É de notar que o sinal digital foi codificado com formato NRZ.

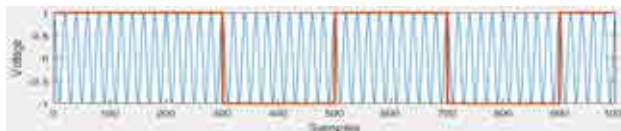


Figura 14 - Sinal Digital (vermelho); Subportadora (azul)

De seguida, para se realizar a modulação, o sinal digital vai controlar a fase da portadora. De notar que, quando ocorre mudança de bits, também ocorre uma transição de  $180^\circ$ . Seguidamente, a subportadora modula o LED em amplitude, que por sua vez emite o sinal pelo canal B. Como resultado dessa operação, obtém-se um sinal ótico modulado  $S_{\text{bpsk}}(t)$ , representado na Figura 15.

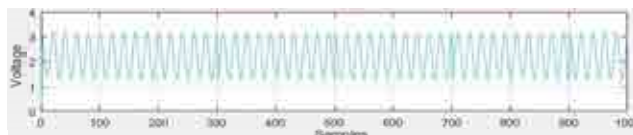


Figura 15 - Sinal modulado BPSK



### C. Recepção

Depois da emissão da portadora ótica modulada, esta é posteriormente captada pelo fotodetector, no canal A, através de detecção direta. De forma a extrair-se a portadora elétrica do sinal ótico, primeiro multiplicou-se o sinal recebido  $S_{\text{bpsk}}(t)$  novamente pela onda portadora  $S(t)$ , obtendo-se a onda representada da Figura 16.

Como se pode verificar, nas situações em que o bit é 1, a componente modulada encontra-se maioritariamente acima do nível zero, enquanto que quando o bit é 0, a componente modulada encontra-se maioritariamente abaixo do nível zero. É de esperar que a onda não seja igual à do capítulo anterior, devido ao processamento realizado pelo fotodetector, nomeadamente no ligeiro aumento da amplitude do sinal.

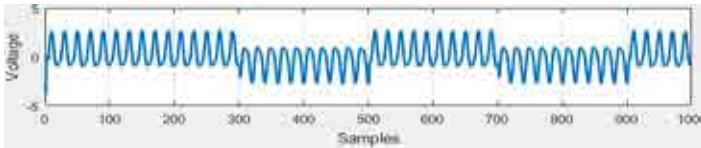


Figura 16 - Sinal resultante no recetor, após a multiplicação.

Após a multiplicação, para a remoção da componente oscilatória, optou-se por aplicar um filtro passa-baixo *butterworth*. Este filtro é desenvolvido de modo a obter-se uma resposta em frequência o mais plana o quanto for matematicamente possível. Desta forma, foi possível determinar o sinal de banda base original e consequentemente a sequência de original de bits. É de notar na Figura 17 que a amplitude do sinal diminuiu para metade, como consequência da aplicação do filtro. É importante referir também que, quanto maior for a ordem do filtro e menor a frequência de corte do filtro, maior será o atraso do sinal nas transições. Isto explica o facto de o sinal recuperado não ser perfeito e ainda assim conter componente oscilatória residual.

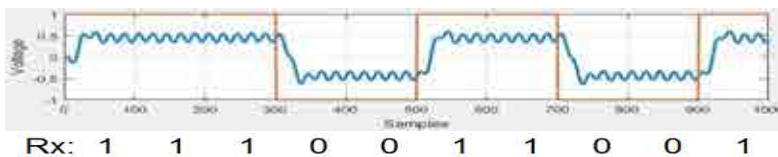


Figura 17 - Sinal de banda base discernível após filtragem

Na Figura 18, está representada a constelação do sinal. O método usado para determinar a constelação do sinal requereu a integração de 10 amostras centrais para cada bit. O valor calculado de cada um corresponde ao seu respetivo símbolo. Apesar de os valores não serem todos iguais, não é particularmente importante onde os pontos estão posicionados.

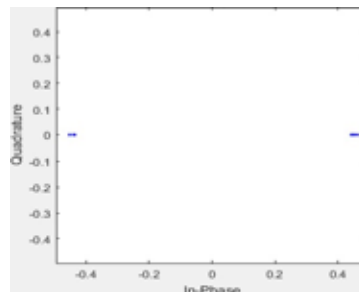


Figura 18 – Diagrama de Constelação do Sinal obtido

## 5. IMPLEMENTAÇÃO DO FORMATO QPSK

Na secção anterior descreveu-se a implementação do módulo de comunicações óticas com o formato BPSK, em que se utilizou como emissor ótico um LED. Verificou-se que este módulo apresenta um bom desempenho, demonstrando que o conceito é viável. De modo a atingir os objetivos inicialmente definidos, o módulo implementado anteriormente será adaptado de forma a poder utilizar-se o formato multinível QPSK e como emissor ótico um laser semiconductor. Desta forma, irá ser possível medir o EVM e consequentemente quantificar o desempenho do sistema, avaliando a qualidade da transmissão e da receção. A configuração do sistema mantém-se, definindo-se o canal B como sendo o canal de saída, que vai alimentar o laser semiconductor, e o canal A como o canal de entrada, que vai receber o sinal captado pelo fotodetector.

Tal como no teste com o LED, utiliza-se a mesma estrutura negra. De notar que a *breadboard* ainda é necessária devido ao facto de a resistência em série entre o fotodetector e o canal A ainda se manter. O fotodetector utilizado foi o mesmo, o DET10A/M, fabricado pela *Thorlabs*. Neste caso, o fotodetector encontra-se posicionado 20 cm à frente do emissor ótico. O laser utilizado é designado por MRL-III-635 e é fabricado pela *Changehun New Industries Optoelectronics Tech, Co, Ltd.* (Figura 48). Possui um diodo vermelho com um comprimento de onda de 635 nm e uma potência de emissão de 300 mW [17], Devido ao facto de a potência do laser ser demasiado elevada, foi necessário colocar um atenuador no meio do canal de transmissão.

Como forma de atenuar a ligação, utilizou-se uma estação de filtros em roda FW1AND, fabricado pela *Thorlabs*. Segundo os valores apresentados pela empresa, para um filtro de densidade ótica 3 e um comprimento de onda de 635 nm, o valor de transmissão é de apenas 0,1035% [18]. Este valor corresponde a uma atenuação de 29,85 dB e, portanto, considera-se que até este valor, a utilização do laser é viável. A Tabela 1 apresenta os valores da atenuação obtidos a partir das equações (1) e (2), com várias condições climáticas, para um comprimento de onda de 635nm. Para cada condição climática também definiu-se um alcance de visibilidade [8]:

Clima	Céu limpo	Neblina	Nevoeiro fino	Nevoeiro Leve	Nevoeiro pesado
Visibilidade (km)	20	2	1.5	1	0.5
Atenuação (dB/km)	0.72	8.22	10.64	16.14	34.7

Tabela 1 - Atenuação atmosférica em (dB/km) em função das visibilidades para 635 nm.

De acordo com os valores obtidos na tabela, o laser tem alcance para todas condições climáticas, exceto em situações de nevoeiro pesado, em que a atenuação é superior ao valor experimental definido (29.85 dB). Contudo, é importante referir que ainda falta considerar a divergência do feixe e a sensibilidade no recetor ótico, pois só assim é que é realmente possível analisar corretamente o alcance do laser para as diferentes situações.

### A. Transmissão

Definiu-se inicialmente que cada ciclo é constituído por 10 amostras uma vez que foi o valor mínimo testado que mais se adequa para definir corretamente uma onda sinusoidal, pelo que, se fosse inferior, o sinal assemelhar-se-ia a uma onda triangular. Cada bit corresponde teoricamente a quatro ciclos e, como tal, a 40 amostras. Contudo, dado que se trata que uma modulação QPSK, na prática, é possível transmitir o dobro da informação e como tal cada bit corresponde a 20 amostras. Tendo em conta que o dispositivo

análogo consegue ler 100000 amostras por segundo, os sinais testados têm então uma frequência de 10 kHz e o ritmo de transmissão é de 5 kBit/s, ou seja, 2500 símbolos por segundo.

Como forma de medir o EVM e assim avaliar o desempenho do sistema, é testado uma transmissão de um sinal ( $S_1$ ), com 40000 amostras. Isto significa, que serão transmitidos 2000 bits e o diagrama de constelação terá 1000 símbolos. O parâmetro a ser quantificado é o EVM(RMS), em percentagem. A Figura 19a representa as primeiras 200 amostras da componente em fase do sinal  $S_1$ , a Figura 19b representa as primeiras 200 amostras da componente em quadratura do Sinal  $S_1$ .

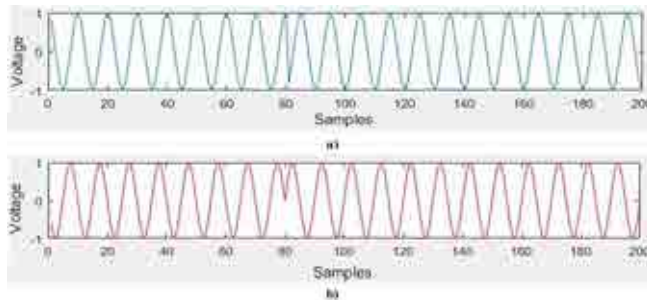


Figura 19 - a)Componente em fase do sinal  $S_1$ ; b)Componente em quadratura do sinal  $S_1$

Após a multiplicação das duas componentes, obtém então o sinal  $S_1$ , estando representado as primeiras 200 amostras na Figura 20.

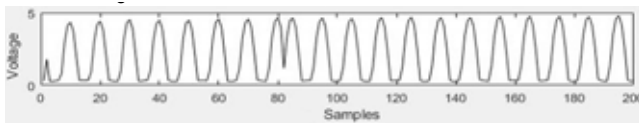


Figura 20 - Sinal modulado QPSK

## B. Recepção

Depois do envio do sinal  $S_1$  pelo canal B e da sua recepção pelo canal A, procede-se à recuperação do sinal original. Primeiro, multiplicou-se sinal recebido pelas ondas portadoras em fase  $C_i(t)$  e em quadratura  $C_q(t)$ , a Figura 21 representa as primeiras 200 amostras. De notar que existe alguma desfasagem na amplitude nos sinais. No entanto, é possível verificar que as amplitudes são alteradas consoante a amplitude do sinal digital.

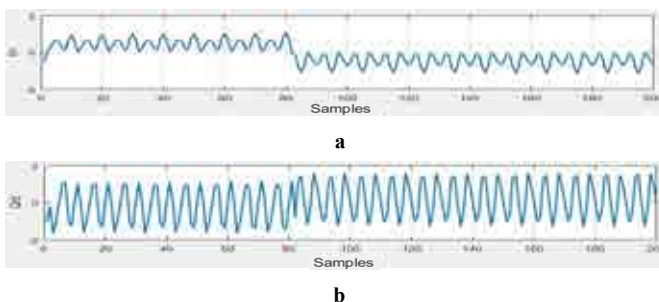


Figura 21 - Sinais obtidos após multiplicação: a)em fase; b)em quadratura.

Após a multiplicação, removeu-se a componente oscilatória, com a aplicação do filtro passa-baixo butterworth. Desta forma, foi possível determinar o sinal de banda base original em fase e em quadratura e consequentemente a sequência de original de bits. O sinal recuperado continua a não ser perfeito e ainda

assim conter componente oscilatória residual e amplitude excessiva, o que pode originar desequilíbrios de amplitude e de fase na constelação de sinais. Isto deve-se essencialmente ao facto de os lasers semicondutores serem inerentemente não lineares, o que torna transmissões analógicas mais difíceis. Também são muito sensíveis a flutuações de temperatura e de corrente, o que pode causar variações no comprimento de onda produzido. A Figura 22 representa as primeiras 200 amostras.

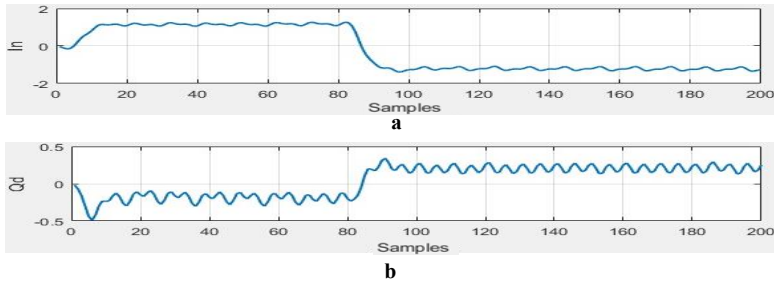


Figura 22 - Sinais Digitais recuperados: a)em fase; b)em quadratura.

Na Figura 23, está representada a constelação do sinal  $S_1$ , obtida a partir dos sinais anteriormente recuperados. O método usado é o mesmo que no BPSK, isto é, de forma analítica através da integração das 10 amostras centrais de cada bit, sendo que os valores calculados a partir do primeiro sinal correspondem à componente real dos sinais, e os valores calculados a partir do segundo sinal correspondem à componente imaginária dos sinais. Como se pode verificar, pontos obtidos (vermelho) encontram-se bastante desfasados dos pontos previstos (preto), sendo necessário rodar alguns graus.

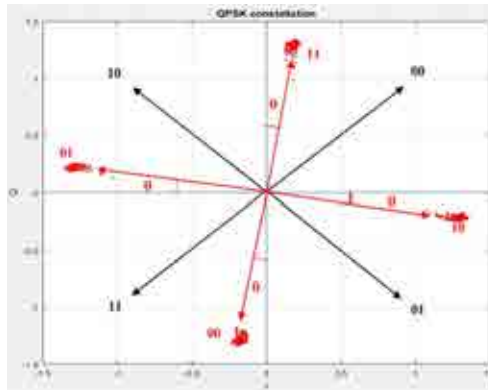


Figura 23 - Diagrama de Constelação obtido do sinal  $S_1$

A partir do ângulo  $\theta$  obtido, vai ser possível determinar os graus de compensação  $\Delta\theta$ . Dado que  $\theta=8^\circ$ , então:

$$\Delta\theta = \theta + 45^\circ + 90^\circ = 8^\circ + 135^\circ = 143^\circ$$

De forma a compensar o diagrama, é necessário rodar 143 graus, para que os pontos (vermelho) se encontrem o mais próximos possíveis dos pontos ideais (preto). A Figura 55 mostra o diagrama resultante. Relativamente à magnitude do sinal, mantém-se aproximadamente igual:

$$k = 250 \rightarrow \begin{cases} P_{250} = 0.2433 + 1.3172 * i \\ P'_{250} = -0.987 - 0.9055 * i \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} |P_{250}| = 1.3397 \\ |P'_{250}| = 1.3394 \end{cases}$$

Onde P é o 250º ponto de constelação do sinal S1 e corresponde ao ponto compensado.

Como se pode reparar na figura, apesar de apresentar os pontos com algum desequilíbrio, estes encontram-se muito mais próximos uns dos outros, quando comparado com o diagrama da Figura 10, em que foi aplicado 4dB de ruído branco gaussiano e como tal é de esperar que o EVM seja muito menor nos resultados obtidos.

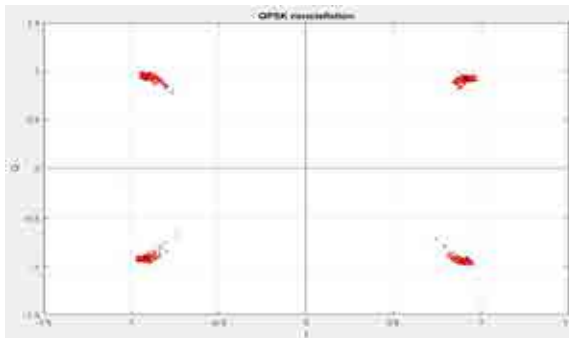


Figura 24 - Diagrama de Constelação S, após a compensação

Após a obtenção do diagrama de constelação compensado, procede-se ao cálculo do EVM(%) do sinal  $S_1$ . Para um sinal com 1000 símbolos, ou seja, 2000 bits, o EVM é de 1,3041%. Este valor ótimo deve-se essencialmente à ausência de ruído e de perdas e também devido ao método de implementação usado durante todo o processo. No entanto, é importante referir que este valor não é exato, tendo em conta que existe um limite de deteção próximo, em 1%.

Durante todo o processamento, o módulo demorou aproximadamente 37 minutos a ser transmitido, sendo um valor 5550 vezes superior ao valor teórico previsto de 0,4 segundos. O que implica que o processamento e o algoritmo necessitam de ser otimizados. Ainda assim, o sistema adequa-se aos objetivos previamente estabelecidos para a dissertação, pois permite efetuar a modulação da subportadora e receber a sequência de bits correta tendo em conta o valor baixo do EVM, podendo assim constituir uma base sólida para o desenvolvimento e implementação de um sistema *backhaul*.

## 6. CONCLUSÃO

Como elemento nuclear nesta dissertação de mestrado desenvolveu-se e implementou-se um módulo de comunicações óticas, de baixo custo, que opera na região espectral visível e é baseado na modulação direta do emissor ótico. Numa primeira abordagem, com a qual se pretendeu comprovar o conceito de modulação da subportadora, optou-se pela utilização de um LED como emissor ótico e do formato de modulação BPSK. Em relação à aplicação do filtro passa-baixo ainda necessita de uma melhor otimização pelo que a recuperação do sinal banda base está longe de estar perfeito. Contudo, analisando os resultados obtidos, pode-se concluir que o conceito foi comprovado com sucesso pelo que a sequência de bits foi transmitida com sucesso.

Numa segunda abordagem, pretendeu-se quantificar o desempenho do sistema, ao medir o EVM a partir do diagrama de constelação. Para tal, optou-se pela utilização de um laser semiconductor como

emissor ótico e do formato de modulação QPSK. A partir da transmissão de um sinal com 1000 símbolos, obteve-se um EVM de 1.3041% que, apesar de não ser um valor totalmente exato, demonstra um resultado promissor, revelando a elevada potencialidade deste módulo de comunicações. Relativamente ao tempo de transmissão, tendo em conta que o ritmo de amostragem é de 100 kHz e o sinal tem 40000 amostras, o tempo de transmissão previsto seria de 0,40 segundos. No entanto, devido ao processamento de sinal efetuado pelo MATLAB e pelo *hardware*, a transmissão demorou 37 minutos, sendo 5550 vezes superior ao valor teórico previsto. Isto implica que em termos de processamento, o algoritmo utilizado necessita de otimização.

Relativamente ao dispositivo analógico utilizado, o ADALM1000 revelou ser uma ferramenta bastante útil e simples de manipular, no que diz respeito à leitura e envio de sinais. Apesar de a sua frequência não ser manipulável, permanecendo nos 100 kHz, adequou-se aos objetivos previamente estabelecidos para a dissertação, porque permitiu efetuar a modulação da subportadora e receber a sequência de bits correta, podendo assim constituir uma base sólida para o desenvolvimento e implementação de um sistema backhaul.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Henniger, H., & Wilfert, O., “**An Introduction to Free-space Optical Communications**”, vol. 19, no. 2, pp. 203–212, 2010.
- [2] Kaushal, H., Kaddoum, G., & Engineering, C., “**Free Space Optical Communication : Challenges and Mitigation Techniques**”, pp. 1–28.
- [3] Gupta , A. & Jha, R., “**A Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies**”, vol. 2, 2015
- [4] MRVTereScope, “**TereScope 10GE**”[Online]. Available: <https://web.archive.org/web/20140818135956/http://www.jazdcommunications.com/commtech/company/MRV/TereScope-10GE.htm?supplierId=50004089&productId=50060878> [Accessed: 15-Nov-2016].
- [5] Artolink, “**10 Gps Through The Air**” [Online]. Available: [http://artolink.com/page/free\\_space\\_optics\\_Artolink\\_news/#new10g](http://artolink.com/page/free_space_optics_Artolink_news/#new10g). [Accessed: 17-Nov-2016]
- [6] Alkholdidi, A. G. (2014). **Free Space Optical Communications: Theory and Practices**.
- [7] Tang, X., “**Polarisation Shift Keying Modulated Free-Space Optical Communication Systems**”, Dissertation presented in partial fulfillment of the requirements of the University of Northumbria, in Newcastle, for Doctor degree, 2012.
- [8] Ali, M. & Mohammed, M., “**Effect of Atmospheric Attenuation on Laser Communications for Visible and Infrared Wavelengths**”, vol. 16, no. 3, pp. 133-140, 2013.
- [9] N. Vlajic, “**Analog Transmssion of Digital Data: ASK, FSK, PSK, QAM**”, **Material de apoio à unidade curricular “Signal Processing and Linear Systems II**”, Universidade de Stanford, San Francisco, EUA, 2016.
- [10] AVNET Reach Further, “**Understanding Quadrature Phase Shift Keying**”, [Online] Available: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/quadrature-phase-shift-keying-qpsk-modulation/> [Accessed: 19-FEV-2017].
- [11] Wikipédia, “**Conceptual transmitter structure for QPSK**”, [Online] Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Phase-shift\\_keying#/media/File:Transmisor\\_QPSK\\_2.png](https://en.wikipedia.org/wiki/Phase-shift_keying#/media/File:Transmisor_QPSK_2.png) [Accessed: 17-JFEV-2017].

- [12] Wikipédia, “**Receiver structure for QPSK**”, [Online] Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Phase-shift\\_keying#/media/File:Receiver\\_QPSK\\_2.png](https://en.wikipedia.org/wiki/Phase-shift_keying#/media/File:Receiver_QPSK_2.png) [Accessed: 19-JFEV-2017].
- [13] Mohammadi, A. & Ghannouchi, F., ***RF Transceiver Design for MIMO Wireless Communications***, Springer, 2012.
- [14] Analog Devices, “**ADALM1000 Overview**”, [Online] Available: <https://wiki.analog.com/university/tools/m1k> [Accessed: 15-NOV-2016].
- [15] Industrial Fiber Optics, Inc, “**Plastic Fiber Optic Red LED**”, *Prod. Data*, 2006.
- [16] Thorlabs, “**DET10A/M Si Biased Detector**”, *User Guide*, 2013.
- [17] CNILASER, “**MRL-III-635/1-500mW**”, *Data Sheet*, 2016.
- [18] Thorlabs, “**Manual Filter Wheel Mounts with Neutral Density Filters**”, [Online] Available: [https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup\\_id=1444&pn=FW1AND#1444](https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=1444&pn=FW1AND#1444).

# Power Quality In Air Force Radar Stations



**Autor:** Hugo Costa, Alferes Aluno do Mestrado Integrado em Aeronáutica Militar  
na especialidade de Engenharia Eletrotécnica  
Academia da Força Aérea, Sintra

**Supervisor:** Professora Doutora Maria Teresa de Correia Barros  
Doutor em Engenharia Electrotécnica e de Computadores  
Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

**Co-Supervisor:** Andreia Leiria  
LabElec, EDP, Moscavide



**Abstract:** Power quality continues to be a major concern, both for suppliers and consumers. These need the correct operation (and durability) of their electrical and electronic equipment. It is essential for customers who consume a huge amount of power, such as hospitals and the industry for example, to have a continuous and correct performance of their equipment.

The Air Force Radar stations aim at addressing the correct performance of all installed equipment, due to the permanent need to control and supervise the national airspace. Therefore, generator sets and battery banks connected to UPS were installed in each of the Radar Stations in order to ensure the correct operation of the whole unit, during a network fault (mainly in the case of voltage sags and power supply interruptions). Currently the expected life time of the battery bank is considerably less than the manufacturer's expectations.

This study was carried out to monitor the power quality in three Radar Stations, in order to analyse if the problem of batteries would be related to the quality of electric power supplied to the Radar Stations. To this end, a 3-month monitoring was carried out and an analysis was made of the UPS's functioning if his configuration had been in accordance with the tolerance curves of the possible immunity classes of the equipment. Lastly, it was concluded that the results do not confirm the initial theory.

**Keywords:** Air Force, electrical energy, Power Quality, monitoring, Radar Stations, voltage dips.

## 1. INTRODUCTION

Electrical energy has become fundamental in human life and as such it is essential in every day life. Without it, it would not be possible to maintain the basic services we rely on a daily basis, such as hospitals and food preservation. As such, it is necessary to have the proper power quality in order to maintain the correct performance of the equipment fed by it, as changes in the power quality can lead to a malfunctioning/outage of electrical and electronic equipment, and eventually to its damage. However, the power quality does not have a static definition. What once used to be the defined standard power quality, today may not hold true. In the past, when most equipment was essentially made of resistors, lack of quality was essentially related to power supply interruptions. Today, with the proliferation of electronic equipment, the quality of the voltage wave is also taken into account. If the characteristics of the voltage wave fall outside the parameters of normal operation, it may lead to a malfunctioning of the equipment or even lead to its damage. Thus, it is increasingly important to analyze the power quality, especially for equipment with greater sensitivity (or less immunity) installed in critical environments, such as hospitals, for the maintenance of human life, or in the case of the Air Force, to safeguard the sovereignty of national airspace.

The Air Force (AF) has several Bases, among them, there are 4 Radar Stations (ER), located in Fóia, Paços de Ferreira, Montejunto and Pico do Areeiro (on Madeira Island). These Units are essential to the normal functioning of the Air Force because they allow the supervision of all national airspace, and it is essential to assure the uninterrupted supply of electric energy. Furthermore, to ensure this uninterrupted supply it is necessary that the voltage parameters that feed the Unit are adequate for the operation of the most sensitive elements operating at the ER. In order to ensure the continued operation of the Radar Stations, resource power supplies have been installed, namely generator sets (GS) and UPS (Uninterruptable Power Supply). UPSs provide power supply immediately after an electrical failure

(either from the public network or the customer's network), however, they have limited autonomy. These equipments allow to filter the electric power coming from the public network, thus improving the voltage wave form characteristics (harmonic reduction and maintenance of the voltage wave amplitude value, for example). Generator sets allow for the unit's energy needs to be suppressed for long periods of time, but their start-up is not instantaneous. As a result, UPSs are used to maintain the continuity of electrical power supply for the most critical loads during a short period of time, while the GS start up during a longer fault (the GS begin the start-up process, for power failures of more than 5s).

The autonomy of the UPS is determined by the bank of batteries which, according to the manufacturers, have a useful life time of approximately 5 years. However, in Air Force Radar Stations it has been found that the battery life time has been much shorter than the 5 years indicated by the manufacturers. These defend that it is due to a high request of the batteries, coming from successive entry into service. As such, this dissertation intends to analyze the power quality in Radar Stations, define the causes that lead to the rapid degradation of UPS battery banks and propose measures to mitigate this problem.

## 2. POWER QUALITY

When it comes to the power quality, it is necessary to define how quality is evaluated. This is assessed in two aspects: the continuity of service and the characteristics of the voltage wave.

### A. Power Quality indicators

In the Quality of Service Procedures Manual (MPQS) the following indicators are defined for continuity of service: Energy not supplied, ENF; Equivalent interruption time, TIE; Momentary Average Interruption Frequency Index, MAIFI; System Average Interruption Frequency Index, SAIFI; System Average Interruption Duration Index, SAIDI; System Average Restoration Index, SARI; Equivalent interruption time of the power installed in medium voltage network, TIEPI; Unallocated power (medium voltage network), END; Interruptions number, NI; and Total duration of interruptions, DI. The calculations of the service continuity indicators should always consider all interruptions affecting the supply terminals, of their network operator, except those originating from customer installations without affecting others [6]. The NI and DI indicators are individual indicators of continuity of service and should be determined by the network operators in each calendar year and for all the supply terminals of their respective networks.

Nowadays, with the proliferation of electronic components and the use of nonlinear loads the continuity of service is no longer the most worrying aspect regarding the power quality (not only for the susceptibility of the loads but also for a great improvement in relation to the aspect of service continuity) and a greater concern regarding the quality of the voltage wave is observed. This is because non-linear loads are more sensitive to changes in the characteristics of the voltage wave. Moreover, changes made to the mains network (a meshed network was created to improve continuity of service) leading to faults propagation, affecting the whole network, thus leading to the occurrence of voltage sags, amongst other changes in the quality of the voltage wave. In order to ensure good quality of the voltage wave, it is essential to keep the values of the quality indicators within the limits laid down in EN 50160 [5]. The following characteristics for the quality of the voltage wave are defined in the European standard EN 50160 [6]: Power Frequency; Supply voltage variation; Flicker severity; Supply voltage Unbalance; Harmonic voltage; and Supply voltage sags/swells.

## B. Voltage Sags

Voltage sags are a typical phenomenon inherent in the operation of electric power grids, usually occurring following a short circuit or re-connection of a line to the grid. These events have a variable number of causes, dominated by atmospheric factors (weather, wind, rain, lightning, etc.), fires and material defects, usually including customers' own facilities. The voltage sags are maintained in the networks, while the electrical faults that originated it remain in the network, that is, until the elimination of these faults by opening the circuit-breakers, as a result of the performance of the protection systems [6]. The voltage sags are characterized by a sudden decrease in the value of the supply voltage (the voltage amplitude being between 90% and 5% of the declared rated voltage value,) delivered to client over the network in a short time (between 10 milliseconds and 1 minute) [5]. For a better understanding of this phenomenon, the characterization of a voltage sag can be seen in figure 1.

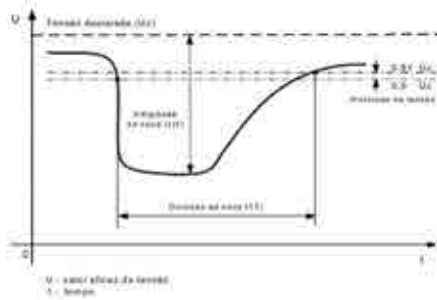


Figure 1: Characterization of a voltage sag (extracted from [6]).

In figure 1 the voltage sag is characterized by the depth or amplitude ( $\Delta U$ ) and the duration of the voltage sag ( $\Delta T$ ), so these quantities are used for their classification. The duration of the voltage sag is given by the time elapsed between the instant when the effective value of the voltage of one of the phases becomes lower than 90% of  $U_n$  and the instant that it returns to be higher to this value in all three phases (plus a hysteresis value, typically 2%). Due to the time required to calculate the effective voltage value, its minimum duration is 10 milliseconds and it is defined with a maximum time of 60 seconds [1]. Regarding the depth of the voltage sags, this is given by the difference between  $U_n$  and the residual voltage (the lowest value of the effective voltage recorded during  $\Delta T$ ).

In order to evaluate voltage sags, the polyphase and time aggregation are performed, in accordance with EN 61000-4-30. The first consists in aggregation in a single voltage sag, characterized by a single duration and a single residual voltage. The second consists in defining an equivalent event in case of multiple successive events [5]. Polyphase aggregation is performed with the aim of aggregating voltage sags generated by the same event (for example, a defect between two phases can cause a voltage sags simultaneously in two phases, in which case the two voltage sags must be added as one biphasic voltage sag). In polyphase aggregation, the voltage sags can be classified as:

- Single-phase: when a single phase is affected by the voltage sag;
- Biphasic: when the voltage sags affects two phases simultaneously;
- Three-phase: when the voltage sags affects all three phases simultaneously.
- In polyphase aggregation, special attention must be paid to evolutionary faults, that is, when voltage sags appear in different phases and initial instants, but due to their duration, they end at the same instant. In this case, the voltage sag must be added polyphasically.

### C. Equipment class

The International Electrotechnical Commission (IEC) began in 1992, with the standard IEC 61000-4-1, to establish standards for testing and characterizing the immunity of electrical and electronic equipment to voltage sags, in order to safeguard the durability of the equipment in the occurrence of voltage sags. In 2004, IEC 61000-4-11 "Testing and measurement techniques voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests"[3] was published, with the objective of establishing a baseline for testing and classify equipment immunity to voltage sags, short interruptions and voltage variations. Therefore has been created a standard that classifies electrical and electronic equipment into voltage sags immunity classes, providing the methods and procedures to be adopted by the manufacturers of these equipment to test and classify them. As regards voltage sags, the equipment is divided into 4 classes: 1, 2, 3 and X. The duration and residual voltage defining each class are presented in table 1, these being test levels of some severity, intending to represent the majority of the voltage sags that occur in the electrical network [3].

Class 1 applies to equipment with little immunity to voltage sags. Equipment with this class of voltage sags immunity is normally equipment that is very sensitive to changes in the supply network and as such must be safeguarded by autonomous power supply systems (such as UPS or flywheels), filters or surge arresters [3].

Class 2 applies to equipment installed in an industrial environment. The compatibility levels are identical to those of public networks [3].

Class 3 is the class in which tests are carried out with voltage sags of greater severity, and therefore the equipment of this class should be more immune to voltage sags. Class 3 equipment should be able to withstand the vast majority of voltage sags that occur in a public network without being damaged or degraded. It is advisable to use class 3 equipment when most loads are fed by converters, there are steel industry in the network, large motors with frequent starting and when loads vary rapidly [3].

The X-Class can be defined by the manufacturer or other entities, therefore it was not defined in IEC 61000-4-11.

Table 1: Preferred test levels and duration for voltage sags. Adapted from IEC 61000-4-11.

Class	Test level and duration for voltage dips				
Class 1	case-by-case according to the equipment requirements				
Class 2	0% in 10ms	0% in 20ms		70% in 500ms	
Class 3	0% in 10ms	0% in 20ms	40% in 200ms	70% in 500ms	80% in 5000ms
Class X	X	X	X	X	X

In order to create better communication between manufacturers and users of electrical and electronic equipment for immunity to voltage sags, CIGRE has set up a working group with the aim of improve the understanding of the compatibility between installations and the electricity supply [4]. A working group was then created which published the brochure 412, Voltage Dip Immunity of Equipment and Installations, by CIGRE / CIRED / UIE joint working group C4.110 in 2010 [4]. In this brochure where defined 6 typical equipment classes, each associated with a different level of immunity of the equipment to voltage sags, defined by voltage sags tolerance curves represented in a residual voltage graph as a function of the duration of the sags. In the brochure 412 of CIGRE, three types of voltage sags are also defined: type I (single-phase), type II (two-phase) and type III (three-phase) voltage sags, each class containing two curves tolerances: one for type I / II voltage sags and another for type III voltage sags. This makes it simple to analyze the

number of voltage sags that can cause the equipment to go out of operation for each class, that is, a voltage sag represented on the graph below the tolerance curve can cause malfunctioning/damage to the equipment, while all voltage sags above the tolerance curve shall be supported by the equipment without its correct performance being affected. Thus, the immunity classes of the voltage sags equipment defined by the CIGRE brochure 412 are [4]:

Class A: defines equipment with the greater immunity to voltage sags, including immunity to short interruptions. Compared to the classes of IEC 61000-4-11, this class presents greater immunity than class 3. In figure 2 are represented the graph with the characteristic tolerance curves of this class for the two large groups: type I/II e type III.

- Class B: defines equipment with immunity to most voltage sags. This class is less immune to voltage sags than Class A but continues to have greater immunity than Class 3 of IEC 61000-4-11. In figure3 are represented the graph with the characteristic tolerance curves of this class for the two large groups: type I/II e type III.

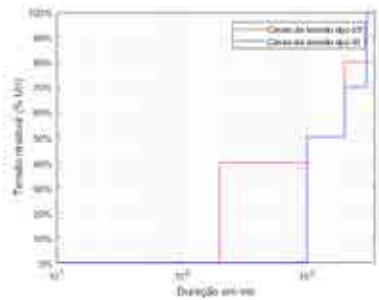


Figure 2: Voltage Tolerance Curves for equipments of Class A (adapted from [4]).

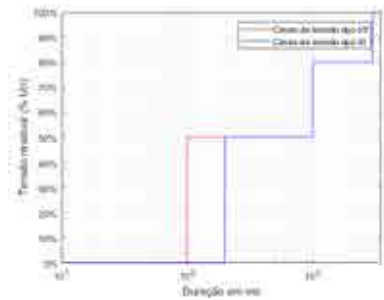


Figure 3: Voltage Tolerance Curves for equipments of Class B (adapted from [4]).

Class C1: defines equipment with immunity to voltage sags with residual voltages higher than 40 of for type I/II and 70 of for type III. The voltage tolerance curve of type I/II is based on class 3 from CEI 61000-4-11, while for the type III a new tolerance curve is proposed, with less immunity. In figure 4 are represented the graph with the characteristic tolerance curves of this class for the two large groups: type I/II e type III.

Class C2: very similar to class C1, with a slight difference in the tolerance curve for type I / II voltage sags, to take into account certain nominal voltage levels typical of some countries. This class is based on the requirements for SEMI F47-0706 Type I and II Voltage sags, and for Type III it is equal to the class C1 [4]. In figure 5 are represented the graph with the characteristic tolerance curves of this class for the two large groups: type I/II e type III.

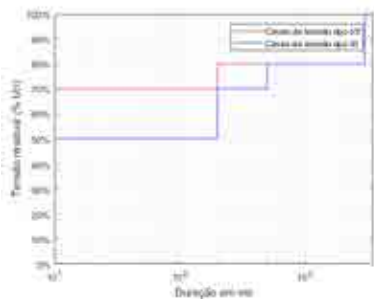


Figure 4: Voltage Tolerance Curves for equipments of Class C1 (adapted from [4]).

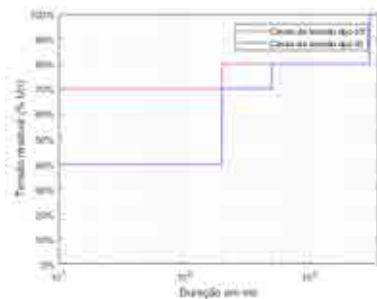


Figure 5: Voltage Tolerance Curves for equipments of Class C2 (adapted from [4]).

Class D: defines equipment with a basic immunity level. It is the class with the lowest immunity to voltage sags. In figure 6 are represented the graph with the characteristic tolerance curves of this class for the two large groups: type I/II e type III.

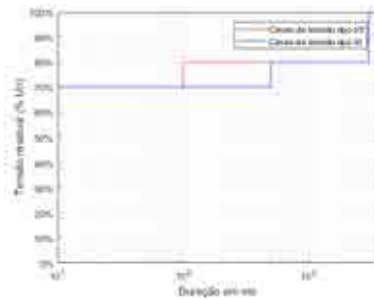


Figure 6: Voltage Tolerance Curves for equipments of Class D (adapted from [4]).

- Class E: defines equipment where the level of immunity does not fit into any of the preceding classes, and as such does not have a predefined tolerance curve.

With the use of this classification of equipment by the manufacturers, the customers, when acquiring the equipment, will know the expected behaviour for each type of voltage sags. In this way, they will be able to predict, based on the history of voltage sags in their region, the number of times the equipment can be out of service due to a voltage sags, and with this information can take corrective/preventive measures (such as installing UPS or flywheels for example) [7]. With the prediction of the number of voltage sags that occur in the customer's area, this should take into account two important aspects in choosing the immunity class of the equipment to voltage sags:

- Equipment price: The more immune the equipment class, the more expensive this will be. Thus, the customer must always check whether the difference in prices justifies the difference in immunity to voltage sags;
- Price of power supply systems: for equipment with low immunity to voltage sags the customer must take into account the protection of the equipment through the installation of power supply systems such as flywheels, UPS, among others.

As such, the customer should take into consideration the economically most feasible option between increasing the immunity of the equipment or improving/installing autonomous power supply systems, in order to safeguard the proper performance of the equipment in the event of voltage sags. However, customers could chose to accept the costs of possible losses after a electrical fault.

### 3. POWER QUALITY MONITORING IN AIR FORCE RADAR STATIONS

#### A. Installations monitored

This monitoring was conducted between January and April of 2017, in Continental Portuguese Air Force Radar Stations, located in Fóia, Paços de Ferreira and Montejunto, during the time presented in table 2.

In terms of loads the three ERs are quite similar. The major difference between them lies in their location, and as such, in the characteristics of the distribution network that supplies electricity to the ER (rate of faults

and topology): the number and type of clients connected to the network, surrounding vegetation, fires and the lightning rate of the region. With the existence of industrial units connected to the distribution network, the possible disturbances increase, namely by the occurrence of voltage sags in the switching of high power equipment. However, the most frequent origin of voltage sags is related to network faults [2].

Table 2: Monitoring period in each ER.

ER	Begin	End
1	January, 23	April, 17
2	January, 16	March, 13
3	January, 6	March, 30

Air Force Radar Stations are fed directly from the medium voltage distribution network (ER1 and ER2 at 15kV and ER3 at 30kV), in order to obtain a better quality of service (since a higher short-circuit power means a lower amplitude of the voltage sag). As such, at the arrival transformation station there is a medium voltage transformer for low voltage that feeds the low voltage general switchboard (QGBT) and this distributes the electrical energy to the entire ER.

To maintain continuity of power supply to critical loads, all ER are equipped with one UPS and two GS. The UPSs, installed in 2003, are from *Liebert*, with a power of 500 kVA. They come pre-configured at the factory to be operational when the input voltage is 10% lower or higher than the nominal voltage and/or the frequency is 3% lower or higher than 50 Hz, and it is not possible to change these limits.

## B. Monitoring Equipment

To carry out the monitoring of the quality of the voltage wave and the continuity of service, three equipments were made available by Labelec *LEM MEMOBOX 300*. These equipments allow a continuous monitoring of the voltage wave, recording, for the three phases, the average values of the voltage in 10 minute intervals and all the voltage sags and interruptions occurred, providing data such as the amplitude, duration, hour and date of the voltage sags or power interruption. The MEMOBOX 300 was connected directly in the entry of QGBT, in order to obtain the voltage wave from the distribution network of MV, passing only through a transformer reducer (MT to BT) without being affected by the GG or UPS installed in the ER.

## C. Processing of monitoring results

For the presentation of the results obtained in the QCT monitoring, a matlab program was developed in order to treat the collected data of the monitoring equipment. Following is an explanation of how the program developed works. The MEMOBOX 300 monitoring device creates 3 different files:

- 1 “.30q” file: This file type is intended to be processed by the CODAM Basic and CODAM Plus programs, allowing the visualization of graphs with information about the voltage characteristics, registered event tables, average value graphs (in intervals of 10 minutes, as defined in the equipment settings) of the voltage, among others.
- 2 Files with extension “.ASC”: these two files were processed in the Excel program, and presented different data: one contains the records of the means of 10 minutes of the voltage, while the other one contains the recording of all the events (voltage sags and power supply interruptions).

Based on the “.ASC” file, which contained the information about the events, the data was processed, as it was necessary to separate the events in voltage sags and service interruptions, and separate them by phase.

Thus, two matlab programs were developed in order to transpose the information contained in the “.ASC” file into tables and graphs. The two programs developed are intended for the treatment of data related to voltage sags and the treatment of data related to power supply interruptions. To optimize the program, “.ASC” files, which contain information about the events, have been manually edited to only contain the data related to an event type (voltage sags or power supply interruptions) and replaced with files “.csv” through the use of Excel.

#### • Program for the processing of voltage sags

The program for the processing of voltage sags starts with reading the “.csv” file, which contains the following information: Date; Hour; Residual voltage in L1; Voltage sag duration in L1; Residual voltage in L2; Voltage sag duration in L2; Residual voltage in L3; and Voltage sag duration in L3. This data is separated by commas, and as such, when the program reads the file and stores the information in the table format of matlab, the columns are misaligned, because the values of the voltage are represented with two decimal places separated by commas. Thus the second process performed by the program consists of realigning the columns. The following is the format conversion, so that the date, time and duration are elements of the “datetime” type. Having the table aligned, the program performs the phase separation, thus obtaining 3 tables with the voltage sags, one for each phase. It follows the polyphase aggregation, which through a routine that compares the date and time between the tables, writes in an auxiliary variable the type of voltage sags in a certain position, so that at the end of the routine all positions of the 3 tables are classified as single-phase, two-phase or three-phase. With this classification it is followed the creation of three more tables of voltage sags: single-phase, two-phase and three-phase. Each line of the created table contains information only on one of the phases and as such follows a routine in order to aggregate the phases, thus obtaining a voltage sags for each row of the table, and with the information of the affected phases in a new column. This is the end of the treatment of the tables, followed by the creation of graphs by the program, which will create the graphs related to the monitoring and the analysis of results, namely the graphs of the voltage sags represented according to their date of duration, and finally with the introduction of tolerance curves.

#### • Program for processing power supply interruptions

The program for processing power supply interruptions is smaller than the previous one, due to the difference between the presented data, because in this case there is no information about the voltage value (in an interrupt this value is less than 5), and as such there is no column misalignment, as was the case with the voltage sags. Thus the program begins by reading the information from the “.csv” file, which contains the following information: Date; Hour; Duration in L1; Duration in L2; and Duration in L3. After the program reads the data, it makes changes relative to the data types used by matlab in order to facilitate the representation of the table. The program ends with the creation of the power interruption table, ordered by date of occurrence of the power interruption.

With the two programs described above, it's performed the same for each of the ER, presenting the tables and graphs obtained in the following section.

### D. Monitoring data collected

At Radar Station No. 1 in Fóia, QCT monitoring began on January, 23 and ended on April, 17 of 2017. Although the period established for monitoring had been continuous for 3 months, this was not possible due



to problems technicians with the equipment that, after collecting data made on April, 17, presented errors in the data transfer. After analyze voltage dips in each phase, it was verified that all the voltage sags had short duration, in the order of milliseconds, the less affected phase was L1, with 23 events, and the most affected phase was L3 with 30 events. With all this events was conducted polyphasic aggregates, resulting the data represented in figure 7, were the events are presented with residual voltage dip vs duration.

Regarding the continuity of service, at ER1 there were no interruptions in the power supply during the monitoring period.

At Radar Station No. 2 in Paços de Ferreira, monitoring began on January 16, 2017 and ended on March 13, 2017. Although the period established for monitoring had been continuous for 3 months, this was not possible due to technical problems with equipment that, after collecting data made on March 13, presented errors in the transfer of records. In the data collection, due to technical incompatibilities, it was not possible at this site to collect data with the installed equipment, having been uninstalled from the network and connected to the computer to perform data extraction. As such, it was necessary to process the data in order to eliminate occurrences caused by the weekly data collection procedure. This procedure led to the fact that between February 27 and March 6, due to errors in the assembly of the equipment after data collection, the QCT monitoring data had not been recorded. After analyze voltage dips in each phase, it was verified that all the voltage sags had short duration, in the order of milliseconds, the less affected phase was L1, with 23 events, and the most affected phase was L3 with 30 events. With all this events was conducted polyphasic aggregates, resulting the data represented in figure 8, were the events are presented with residual voltage dip vs duration.

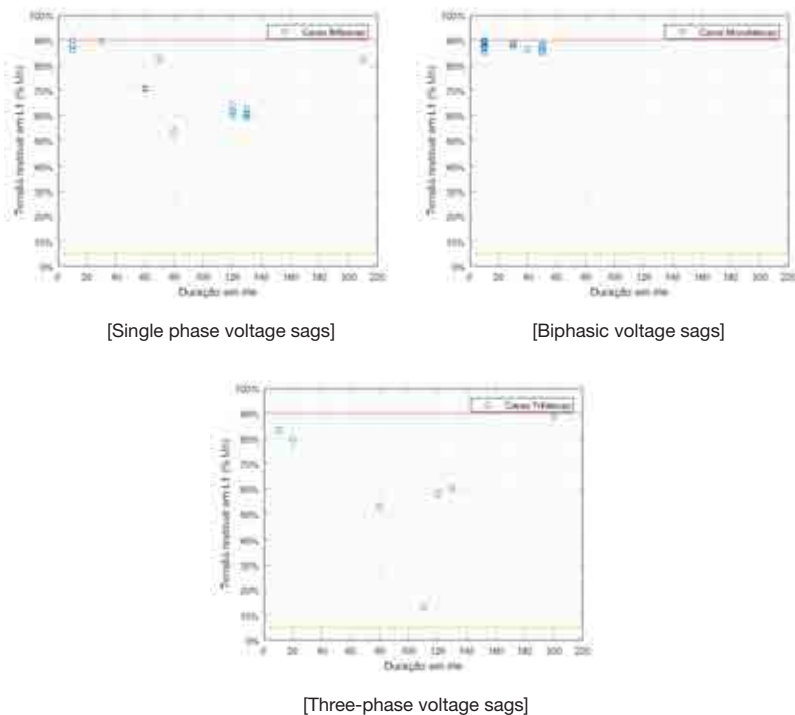


Figure 7: Voltage sags in ER1, between January 25 and April 17, 2017. Its characterization by residual tension / duration, after polyphase aggregation.

As far as the continuity of service is concerned, there were no interruptions in the power supply during the monitoring period at ER2.

At Radar Station No. 3 in Montejunto, QCT monitoring began on January 6, 2017 and ended on March 30, 2017, for a period of approximately 3 months. In the data collection, due to technical incompatibilities, it was not possible at this site to collect data with the installed equipment, having been uninstalled from the network and connected to the computer to perform data extraction. As such it was necessary to process the data in order to eliminate occurrences caused by the weekly data collection procedure.

After analyze voltage dips in each phase, it was verified that all the voltage sags had short duration, in the order of milliseconds, the less affected phase was L3, with 6 events, and the most affected phase was L2 with 14 events. With all this events was conducted polyphasic aggregates, resulting the data represented in figures 9, were the events are presented with residual voltage dip vs duration.

As for the continuity of service in the radar station n°3 there were interruptions in the supply of electric power, presenting in the table 3 the records of the interruptions, which 2 where long interruptions (longer than 3 minutes).

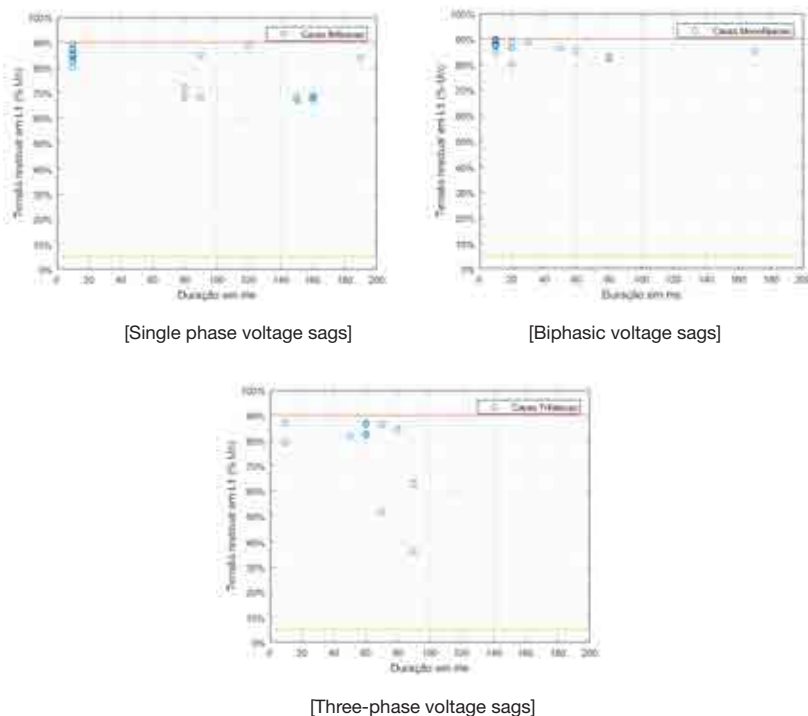


Figure 8: Voltage sags in ER2, between January 16 and March 13, 2017. Its characterization by residual tension / duration, after polyphase aggregation.

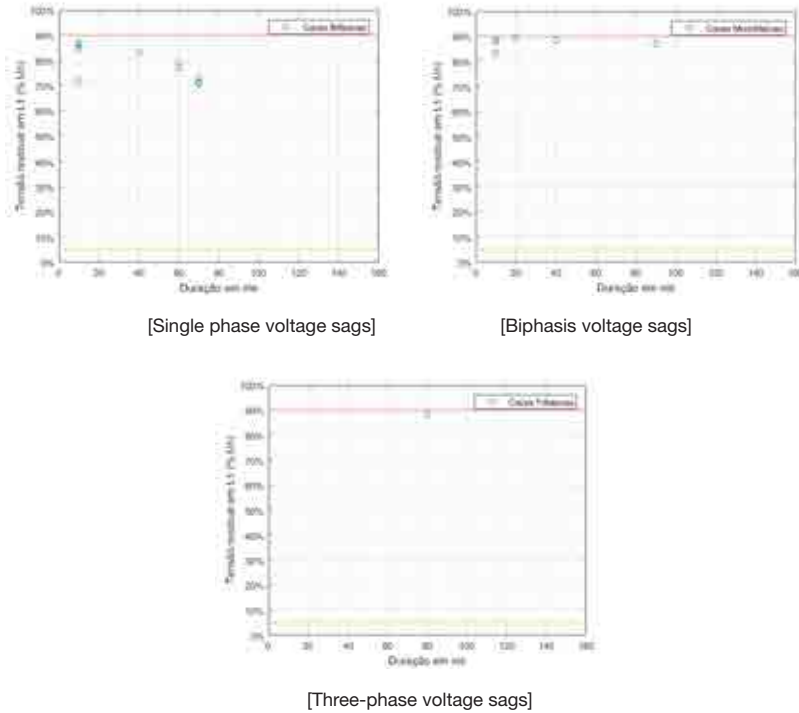


Figure 9: Voltage sags in ER3, between 6 January and 30 March of 2017. Its characterization by residual tension / duration, after polyphase aggregation.

Table 3: Record of service interruptions in the ER3

Data	Duration L1	Duration L2	Duration L3
09-01-2017 13:50:54.980	00:00:00.001	00:00:00.001	00:00:00.001
10-01-2017 10:58:04.110	00:01:24.890	00:01:25.960	00:01:27.110
10-01-2017 10:59:29.400	00:03:12.600	00:03:12.600	00:03:12.600
10-01-2017 11:02:42.600	00:00:01.390	00:00:01.390	00:00:01.380
14-01-2017 08:42:27.360	00:00:00.720	00:00:00.670	00:00:00.410
07-02-2017 09:53:39.000	00:00:00.001	00:00:00.001	00:00:00.001
13-02-2017 15:42:57.320	00:00:00.410	00:00:00.680	00:00:00.680
21-02-2017 10:02:03.430	00:00:00.001	00:00:00.001	00:00:00.001
21-02-2017 11:55:21.760	00:00:05.240	00:00:05.240	00:00:05.240
08-03-2017 18:25:24.340	00:00:00.001	00:00:00.001	00:00:00.001
08-03-2017 18:26:07.200	17:02:04.800	17:02:04.800	17:02:04.800
16-03-2017 08:13:40.230	00:00:02.770	00:00:02.760	00:00:02.760
16-03-2017 09:20:27.470	00:00:08.530	00:00:08.530	00:00:08.540
29-03-2017 10:44:04.890	00:00:00.001	00:00:00.001	00:00:00.001
29-03-2017 10:46:08.460	00:00:04.540	00:00:04.540	00:00:04.540

## 4. RESULTS ANALISYS

In order to conclude about the functioning of the UPS was tried to compare the UPS alarms with the monitoring data. Although it was not possible due to the lack of memory to save every alarm in that period. So other monitoring was made, between August, 22 and September,20, to compare with the error message from the UPS. However, due to some errors in the MEMOBOX 300, only from August, 22 to 28 it was possible to collect the data from MEMOBOX 300. The polyphasic aggregated voltage sags, after being processed by the *matlab* program developed, is present in table 4. The UPS registered errors are present in table 5 and have the following description:

- 10- *Bypass* absent;
- 12- *Bypass* undervoltage;
- 14- *Bypass* phase rotation error;
- 16- *Bypass* off;
- 22- rectifier block;
- 35- inverter unsynchronized;
- 52- battery on load.

This error codes are normally associated to supply cuts in UPS entry, either by voltage sags, service failure or manual intervention (for example to maintenance). After comparison between data from MEMOBOX 300 and from UPS errors, it was verified that UPS only worked for voltage sags longer than 200ms and with an residual voltage below 50V (25).In figure 10 are represented the voltage sags registered in ER3 during this monitoring, where the green ones did made the UPS work and the red ones take the UPS work.

Table 4: Voltage sags occurring in ER3, from 22 to 28 August 2017.

Data	Tensão		Duração [ms]	Fase
	[v]	%		
'28-08-2017 02:15:19.540'	203,03	88,27	40	U1U2U3
'28-08-2017 06:49:49.750'	202,71	88,13	30	U1U2U3
'24-08-2017 08:58:44.480'	194,87	84,73	10	U1U3
'24-08-2017 08:58:44.500'	191,42	83,23	10	U1U3
'27-08-2017 19:58:06.340'	46,31	20,13	260	U1U2
'28-08-2017 06:49:03.740'	203,65	88,54	20	U2U1
'28-08-2017 13:39:50.810'	45,90	19,96	310	U2U3
'28-08-2017 14:52:32.510'	187,45	81,50	70	U1U3
'24-08-2017 08:55:33.750'	197,90	86,04	10	U1
'24-08-2017 08:55:33.770'	191,53	83,27	10	U1
'24-08-2017 08:55:33.790'	198,01	86,09	10	U1
'24-08-2017 08:55:33.810'	201,88	87,77	10	U1
'24-08-2017 08:55:33.830'	204,60	88,96	10	U1
'24-08-2017 08:58:44.520'	196,96	85,63	10	U1
'24-08-2017 08:58:44.540'	202,09	87,87	10	U1
'24-08-2017 08:58:44.560'	204,91	89,09	10	U1
'27-08-2017 19:58:53.550'	176,68	76,82	30	U3
'28-08-2017 13:39:50.990'	205,64	89,41	20	U1
'28-08-2017 13:39:51.050'	206,16	89,63	10	U1

Table 5: ER3 UPS Alarm Logs, August 22-28 of 2017.

Data	Entrada	Saída	Código
27/08/2017	22:32	22:32	22
27/08/2017	22:32	22:32	14
27/08/2017	22:32	22:32	16
27/08/2017	22:32	22:33	10
27/08/2017	22:32	22:34	52
27/08/2017	22:33	22:33	35
27/08/2017	22:33	22:33	35
27/08/2017	22:33	22:33	22
27/08/2017	22:33	22:33	10
27/08/2017	22:33	22:33	12
27/08/2017	22:33	22:33	16
27/08/2017	22:33	22:33	35
27/08/2017	22:33	22:33	35
28/08/2017	16:14	16:14	22
28/08/2017	16:14	16:15	52

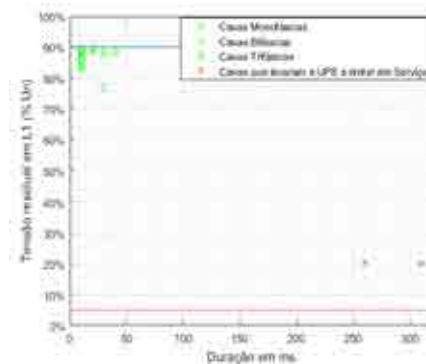


Figure 10: Voltage sags registered in ER3 between August 22 and 29, 2017. Their characterization by residual voltage / duration, after polyphase aggregation.

### A. Voltage tolerance curves analysis

In the ER1 and ER2 there are frequently voltage sags, totalling a total of 51 and 58 voltage sags, respectively. In ER3 the main problem is service interruptions, with 18 voltage sags and 15 power failures registered. Regarding the UPS functioning, about power supply interruptions can not be done because a power failure causes the UPS to act in order to safeguard the correct performance of all the equipment installed in the ER. However, it is possible to decrease the number of inputs in service of the UPS in relation to the voltage sags, by adjusting the UPS according to the tolerance curve of the equipment with lesser immunity to voltage sags [4].

Since it was not possible to obtain the tolerance curves of the equipment installed in the ER, due to the high degree of confidentiality related to the information about the equipment installed in the ER, an analysis was elaborated based on all equipment tolerance curves described in 2, yielding the number of voltage sags that would request the UPS in case of be set for the respective class tolerance. For such, figures 7, 8 e 9 were

overlaid with the tolerance curves of each class, originating the table 8 where the number of requests to the UPSs, if these were configured for each of the above classes, and the number of voltage sags registered in ER1, ER2 and ER3, respectively, are presented.

Table 8: Number of requests to UPS for the various classes of equipment, for a total of 51, 58 and 18 voltage sags registered in the ER1, ER2 and ER3, respectively.

Class	N° of UPS requests in ER1	N° of UPS requests in ER2	N° of UPS requests in ER3
A	0	0	0
B	1	0	0
C1	4	3	0
C2	4	3	0
D	12	12	0

After analysing the table 8, it's noted that the number of requests to UPS would decrease drastically with the regulation of this to one of the tolerance classes defined by the working group C4.110 from CIGRE, "*Voltage Dip Immunity of Equipment and Installations*" [4]. However, this regulation does not prove advantageous in the short term because it presupposes two conditions that are not satisfied, or it was not possible to guarantee, at the moment:

Immunity to voltage sags: it would be necessary for all the equipment installed in the ER to withstand, without disturbing its normal operation or aggravated wear, the voltage sags of the defined class.

UPS regulation capability: UPS are required to be able to regulate the voltage limits for the equipment with the lowest immunity installed in the ER (Class A equipment with the highest immunity and Class D equipment with the lowest immunity).

The conditions described above do not exist because the UPS installed in the ER is old (about 15 years old) and does not allow the regulation of the voltage limits. In addition to this inability of the UPS, the numerous equipment and equipment systems installed in the ERs are old and there is no knowledge of their class of immunity to voltage sags, there are even some where manufacturers have not defined their immunity to voltage sags .

## 5. CONCLUSION

Air Force Radar Stations play a key role in the surveillance of national airspace, and as such, its continuous and correct performance is essential. For this it is necessary that the electrical energy that feeds the ER is compliant. Although there are autonomous power systems that allow the normal operation of all the equipment installed in the ER when power supply interruptions or voltage sags occur (among other changes in the quality of the wave of voltage). Thus, it was intended with this work to analyse the power quality supplied to the ER and it was concluded that it is within the Units normal operations, having registered mainly voltage sags with small amplitudes (residual voltage close to 90% of reference voltage) and small durations (below 200 ms).

With this conclusion, it was tried to compare the UPS functioning with the voltage sags registered by the monitoring equipment, but without success since at that time it was only possible to obtain a generalized UPS alarm register without being able to correlate with the voltage sags because of the limited memory of the UPS in storing the detailed records of alarms issued. In order to achieve this objective, a new monitoring was carried out with the registration of the alarms issued by UPS, which resulted in a week of registrations,

and it was verified that for voltage sags of low amplitude and duration the UPS was not put into service.

Finally, and in a practical scope, the analysis of UPS functioning was carried out for different adjustments of its parameters, taking into account the immunity curves defined in CIGRE brochure 412 [4]. A total of 12 UPS inputs were then obtained for ER1 and ER2 for a regulation corresponding to the class of equipment with lower immunity (class D), at 51 and 58, respectively, voltage sags recorded. With a regulation corresponding to the class of equipment with greater immunity (class A) it would not be expected the UPS functioning. In ER3 in any of the classes would not be expectable the UPS functioning. However, it is to safeguard that class A equipment has a much higher cost than Class D equipment, and it is always necessary to carry out a cost-benefit study between equipment with greater immunity and autonomous power systems.

The results presented do not indicate that the short life of the battery bank is due to a poor power quality supplied to the ER, once it only was registered low amplitude and short duration voltage dips. Majority of the voltage dips had 10ms duration and residual voltage between 80% and 90% of reference voltage.

Regarding the objectives initially established for this work, it was concluded that the main objective was successfully achieved, having analysed the power quality, proving that it hadn't significant voltage dips. Regarding the secondary objective, nothing can be concluded for not having been authorized the analysis of the equipment installed at Radar Stations because of its high degree of confidentiality.

## REFERENCES

- [1] A. Dos Santos and M. T. C. De Barros, "**Voltage sags tolerance and responsibility curves,**" 2015 *IEEE Eindhoven PowerTech, PowerTech 2015*
- [2] "**Relatório De Qualidade De Serviço,**" *REN*, 2015.
- [3] "**Testing and measurement techniques - Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests,**" vol. IEC 61000-4-11, 2004.
- [4] CIGRE/CIREU/UIE Joint Working Group C4.110, "**Voltage Dip Immunity of Equipment and Installations,**" *CIGRE Publications*, no. April, 2010 [5] "Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks, EN 50160," *CENELEC*, 2010.
- [5] "**Regulamento de Qualidade de Serviço do Setor Elétrico, Regulamento n. 6/2013,**" *Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos*, no. N 232, 2013.
- [6] A. Q. dos Santos, "**Stochastic Prediction of Voltage Sags Amplitude and Duration in Transmission Networks,**" PhD Thesis, Instituto Superior Técnico, 2015.

# Development of additional sensor capabilities for use in unmanned aerial vehicles under CIDIFA



**Autor:** Rafael Batalha Parcelas, Alferes Aluno do Mestrado Integrado em Aeronáutica Militar na especialidade de Engenharia Eletrotécnica.  
Academia da Força Aérea, Sintra

**Supervisor:** Ricardo Adriano Ribeiro, Professor Doutor  
Institute for Systems and Robotics (ISR-Lisboa), Lisboa

**Co-Supervisor:** Gonçalo Charters Santos Cruz, Capitão Engenheiro Eletrotécnico  
Academia da Força Aérea, Sintra



**Abstract:** Unmanned aerial vehicles (UAVs) were, originally designed for military applications, which by nature, did not necessarily required human operators on-board. The Seagull Project developed by the Portuguese Air Force Academy, originated from a need to generate a more accurate maritime situation awareness of the Portuguese maritime territory, so that the Portuguese Air Force had a tool fulfill its mission requirements in compliance with the guidelines of the Strategic National Defense Concept.

This work aims to extend the capabilities previously developed in the Seagull project, which one of the main interests was the ability to geo-locate identified target vessels from the visual data of the aircraft, where the use of camera devices with variable-parameter lenses is more useful than those with fixed-parameter lenses. The variable-parameter lenses enable an operator to obtain better images by adjusting the camera's lenses to the present conditions of a scene. However, variable parameter lenses are not commonly used in computer vision because they are difficult to model for continuous variations of the lenses configuration.

This study presents a camera calibration methodology for devices with variable zoom and its employment in a vision-based target geo-location method. The camera calibration method presented in this work is based on Zhang's technique for camera calibration, where a model of the camera intrinsic parameters is obtained by exploring the interdependence between the camera zoom and its parameters.

A small-scale experiment of the geo-location problem was conducted in order to validate both the camera intrinsic parameters models and the proposed geo-location methodology. In this experiment by identifying the pixel location of a target in an image and the measurements of the camera position and pose, the world coordinates of the target are determined. Using the same methodology, a full-scale experiment of the geo-location problem was devised. In this a set of location across the Portuguese Air Force Academy Campus were selected to employ the methodology devised. The objective of this experiment was to assess the accuracy of the work presented in this thesis under real-world conditions and the ability to localize an uncooperative ground target using the UAV vision sensor. By comparing the results of the target estimated position obtained from the geo-location methodology with the actual GPS coordinates of the selected locations to identify factors and/or error sources where identified, which can be mitigated.

The geo-location methodology developed is a proof of concept that empirically as shown encouraging promises to be employed in a maritime environment. The errors verified in the experimental procedures were mainly caused by three factors. First the precision of the camera variable-parameters models obtained, these are estimates of the real behavior of the lenses and as such are considered empirical approximations. Second the height difference between the camera altitude above ground and altitude above target, which is linked to the flat-earth hypothesis, as such errors can occur from the relative height difference. Third the environmental factors which induce image noise, which coupled the increasing obliquity of the captured image, can exacerbate the positioning errors obtained.

**Keywords:** camera calibration; geo-location; variable-parameter lenses; UAVs.

## 1. INTRODUCTION

The Portuguese continental territory is located in the occidental periphery of Europe bordering Spain and covering an area of 89 000. The Portuguese territory also includes the archipelagos of Madeira and Azores located in the North Atlantic with a combined 3000 area. In total, the country occupies a land area of 92 000 .

Portugal has small land mass territory with scarce natural resources. However, considering its maritime territory, it is one of the largest maritime nations in the world. Several of the most important maritime shipping

routes in the Atlantic Ocean cross the Portuguese national waters and due its unique maritime geopolitical position the nation faces multiple challenges in maintaining the control and surveillance of the national maritime space.

### **Motivation**

The considerable size of the Portuguese maritime territory, originates unique surveillance challenges, with which the Portuguese State is confronted. The main challenges are related with the fulfillment of its international obligations and responsibilities in its sovereign territory both in the maritime exclusive economic zone and the search and rescue area. These obligations include: oversight and control of maritime related activities, environmental control, search and rescue of shipwrecked vessels and medical support to their crews and operations in territorial waters.

The Portuguese Strategic National Defense Concept establishes the guidelines that the government must address to fulfill the responsibilities in its sovereign maritime territory. The development of these guidelines into policies falls under institutions with proper jurisdiction. As such, the maritime territory security, safety and surveillance must be integrated in a broad scale perspective with all partners involved.

The Strategic National Defense Concept establishes that the capability for proper surveillance and control of the maritime space must be maintained, with focus on employing the most cost-effective means. This document also emphasizes the optimization and coordination between the national institutions; the responsible use of combat means in criminal activities; and the prevention and preparation of protocols in order to respond to natural disasters through an effective observation and alert system.

Up until now the Portuguese Air Force has been committed to respond by using manned air platforms. However, unmanned aircraft platforms (in contrast to manned aircraft), characterized by their low costs in both maintenance and operation, emerge in this context as an appealing alternative solution to reduce both the man power employed; the platforms maintenance costs; and the aircraft acquisition costs.

The Seagull project was conducted to test and validate solutions to meet immediate and future needs for the management and information gathering of the maritime situation. The project started in July 2013 and ended in July 2015, was led by Critical Software with the participation of: CIAFA (Centro de Investigação da Academia da Força Aérea), ISR/IST (Institute for Systems and Robotics/Instituto Superior Técnico), FEUP (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto) and the Centro de Investigação Naval. The Seagull project aimed to develop an intelligent integrated system for UAV's and its purpose was to generate a more accurate maritime situation awareness knowledge base.

Maritime situation awareness is a large topic and the Seagull project addressed some of the points present in the Strategic National Defense Concept with concrete solutions such as: target detection, classification and tracking, identification of suspicious vessel behavior and monitoring environmental indicators. In order to accomplish these objectives, the airborne platform was equipped with an array of sensors and cameras in a multitude of light spectrums (infrared, multi-spectral, visible light). The dimension of this project provided a unique opportunity for the development of vision-based algorithms and a new software architecture. This work is aligned with the continuity of the project, by working within the developed software architecture and with the already employed sensors in an attempt to expand and properly validate the concepts supporting the extended capabilities of the airborne platform.

### **1.1. Problem Formulation**

One important sensor that many UAVs have is a camera devise. With a camera, a vehicle can obtain a lot of information about its surroundings and possible targets of interest. In the Seagull project, one of the most important

topics developed was the capability of detecting targets in maritime surveillance environment, specifically the detection of vessels using an optical color sensor mounted on an airborne platform. This topic represents a very complex problem due to the maritime environment, where the detection algorithm must be able to deal with variability of the vessels appearances, wave crests, presence of sun glare, change in the lighting conditions, clouds and platform movement. The extension of this already developed capability is the geo-location of vessels once they are identified in an image. Geo-location is defined as the identification or estimation of the real-world geographic location of an object. This information allows the national institutions to undertake immediate actions related to the surveillance and control of the maritime scenario. In this work, object recognition was not a major concern, rather the focus was to find a target real world coordinates with a variable-parameters lenses camera in order to test a geo-location proof of concept methodology. The solution proposed was designed in order to work as independently as possible from the object recognition algorithm and other systems of detection.

The problem presented in this work consists in obtaining real world coordinates (latitude, longitude and altitude) of a target once identified in an image. To accomplish this goal, several challenges arise as result of its complexity. The first challenge is the mathematical characterization and modeling of the camera equipment, where a calibration procedure must be employed. The second challenge is evaluating the correctness of the derived models from calibration. Once a target is identified in an image and the camera device that captured such image is correctly modeled the third challenge is the depth or range estimation of the target regarding the airborne platform. Monocular cameras such as the one used in this work, do not provide this information therefore, an alternative solution must be employed. All of these challenges are part of the vision based geo-location problem proposed in this study.

## 2. BACKGROUND

The Seagull project attempted to develop efficient solutions to increase and answer to the maritime situation awareness challenges. The objective of this project was to create intelligent on-board systems to implement in UAVs. The project main contributions were to: detect, identify, classify and follow possible targets of interest in a maritime environment.

The complete system setup used during the Seagull project includes several computers, were the three main units are: the Piccolo autopilot unit, the on-board command and control unit (SEC2) and the on-board payload control unit (SEP).

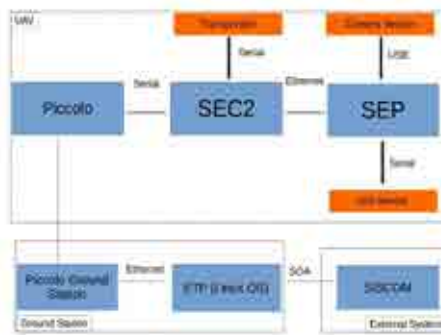


Figure 3.3.1 : Geo-location method.

The ground station computers units are: the Piccolo ground station and the payload ground station (ETP). In the end there is an external system which monitors the operations. This integration of systems and the communication protocols between is illustrated in Figure 2.1

The Piccolo Ground Station is the computer used by the UAV operator on the ground, providing an operation interface to the user. It is connected to the antennas used for communication with the aircraft. The Payload Ground Station (ETP) is a computer used by the aircraft payload specialist. This computer is responsible for the operation of the payload equipment, data acquisition and data transfer regarding the specific payload employed and payload configuration.

The Piccolo unit is the autopilot unit of the UAV platform. It directly commands the aircraft control surfaces, provides navigation telemetry to other systems and manages the communication channel with the ground station. The SEC2 is responsible for the connection between all other Seagull systems and the Piccolo unit. This computer is also responsible for all the command and control tasks related to the sense and avoid (S&A) context.

The SEP computer contains all features regarding the UAV payload control, as such it is connected to the array of sensors and equipment in the payload. Given the nature of the computer vision algorithms employed, the SEP computer has a higher performance requisite possessing a Graphics Processing Unit and compatible with Open Computing Language. This on-board computer system uses a Linux operating system. It contains the Image Acquisition and Automatic Identification System (AIS) driver, Seagull Manager, Detection Module and Seagull Actuators modules as illustrated in Figure 2.2

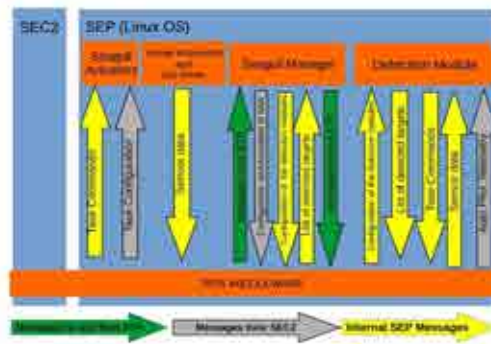


Figure 2.2: On-board Payload Architecture.

The most significant module used in this work is the Detection module; this integrates all the computer vision, filtering, estimation and decision algorithms.

The architecture illustrated in Figure 2.2 has been chosen due to performance issues. Some of which are related with the transmission of images as a ROS message, this can be difficult process particularly if multiple messages are transmitted. Problems related to message lagging can occur either from the publisher or subscriber nodes, wrong message encoding from the parts in communication and memory usage are just some examples of common issues, which are exacerbated if multiple images and/or cameras are used.

The Detection Module itself is constructed of several different sub-modules as illustrated by Figure 2.3. The Vision sub-module employs all target detection algorithms. This sub-module uses the images collected and the detection configuration parameters correspondent with the mission type. It provides descriptors of the targets identified, including not just the dimension and position of the target vessels in the image plane but also a quality quantifier parameter for the detection found.

The Filtering and Association sub-module is tasked with two operations. First it filters the target's position, helping the detection of targets in intermittent data and increases the detection quality throughout the mission, consequently, increasing the detection quality quantifier of consistently detected targets. Second, it determines which detection correspond to each target vessel. This association task is required because the Vision sub-module returns a bulk of detected targets without any information of which target vessel originate each detection.

The Decision sub-module receives all of the information and determines if the target should be pursued or not, according to the current mission requirements. The Decision module can use the location data from the AIS database by comparing it with the targets positions. This module sends the required information for controlling the gimbal camera through the respective control module. The output of the Decision sub-module is a list of detected targets and their relevance to the mission. This list is the principal input for the geo-location algorithm developed in this work.

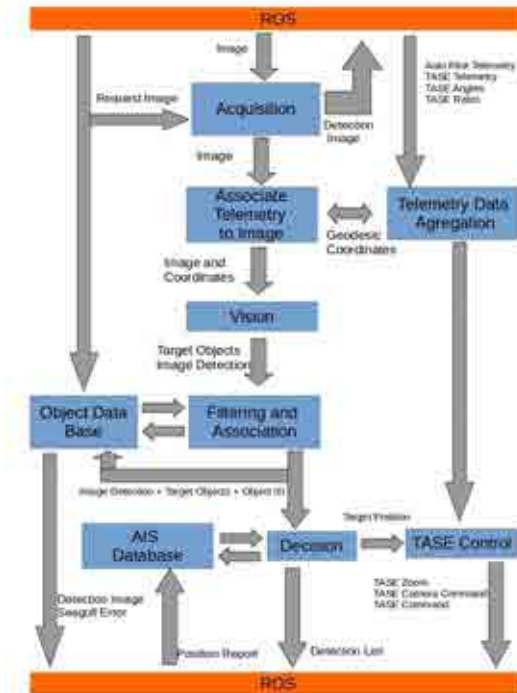


Figure 2.3: Detection Module.

### 3. METHODOLOGY

#### 3.1. Camera Model and Calibration

A camera device is commonly represented by the "pin-hole" model set by a projection matrix. This matrix maps a tri-dimensional space into a bi-dimensional projective space using a perspective transformation. A tri-dimensional point in homogeneous coordinates defined is transformed into in homogeneous coordinates of an image plane. The geometric representation of the *pin-hole* model perspective transformation is represented in Figure 3.1.

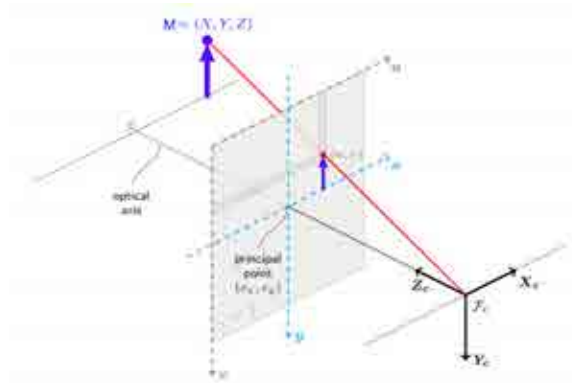


Figure 3.1.1: Pin-hole camera model representation.

The “*pin-hole*” camera model is defined as:

$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} [R|t] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

- $(u, v)$  - Image coordinates of a projected point;
- $\begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$  - Camera matrix, or matrix of intrinsic parameters;
- $(f_x, f_y)$  - Focal lengths;
- $(c_x, c_y)$  - Principal point coordinates;
- $[R|t]$  - Joint rotation-translation matrix (extrinsic parameters);
- $[X Y Z 1]^T$  - Coordinates of a 3D point in the world coordinate space;
- $s$  - Scale factor.

Camera calibration is a necessary procedure in order to determine the matrix of intrinsic parameters. This step is fundamental in tri-dimensional computer vision and allows to extract metric information from bi-dimensional images. Zhang proposes a technique which requires only that a camera observe a planar pattern (or model points) shown in several different poses, where either the camera or the planar pattern can be moved by hand. The proposed approach, which uses bi-dimensional metric information, lies between photogrammetric calibration, which uses an explicit tri-dimensional pattern measurement, and self-calibration, which uses motion rigidity or equivalently implicit tri-dimensional information.

Despite the pin-hole model describing the ideal camera perspective transformations of tri-dimensional entities to bi-dimensional image objects distortion parameters are present in any camera lenses and must be taken into account as well as the intrinsic parameters. A distortion can be referred as a lens aberration in which a deviation from rectilinear projection occurs. A lens that exhibits distortion produces slightly curved images of all those lines that do not pass through the center of the image. This factor originates mainly from the lens manufacturing process or assembling and is something that can't be overlooked.

The OpenCv tool box used in this work establishes six radial distortion coefficients and two tangential distortion coefficients, these are taken into consideration when modeling the camera.

### 3.2. Camera, Gimbal and Body Frames

Coordinate frame transformations are described by two basic operations: rotation and translation. Establishing that all coordinate frames are centered in the aircraft center of mass, translation matrices are not considered, and only rotation transformations are needed.

The gimbal and body coordinate frames are related by the angles  $\alpha$  and  $\beta$ , which correspond to the pan and tilt movements of the gimbal camera. The body and inertial coordinate frames are related by the conventional angles of aircraft movement pitch ( $\theta$ ), roll ( $\Phi$ ) and yaw ( $\Psi$ ).

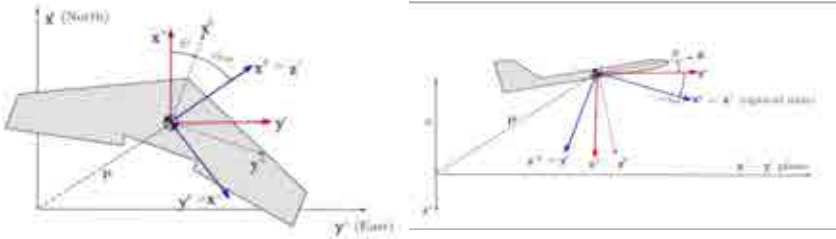


Figure 3.2.1: Aircraft and gimbal coordinate frames representation.

### 3.3. Geo-location

The computer vision Paper-Map-based method estimates a target location assuming that the target is centered in a camera image. The target geographic location is determined as the intersection between the camera pointing axis and the ground plane in a earth-fixed coordinate frame using the local position of the UAV as well as the position of the target relative to the UAV captured by the on-board gimbal camera.

The geo-localization methodology uses the coordinate frames presented in the previous section and considers the transformation of the target vector (defined in the camera reference frame) among the several coordinate frames (assuming that all coordinate frames are right-handed and orthogonal). The target range is not directly measured, instead the altitude of the aircraft above the ground ( $h$ ) is used to define a scale factor to reference the target coordinates relative to the UAV platform. In Figure3.7, this allows to determine the target world coordinates by a vector sum of the inertial-aircraft.

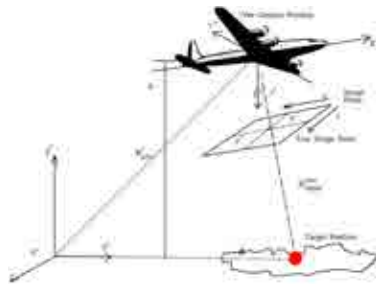


Figure 3.3.1 : Geo-location method.

Assuming that the target is identified in a generic pixel  $p$ , it is possible to define a pointing vector pointing to the pixel where the target is identified with origin in the camera optical center. The pointing vector in the camera coordinate frame is given by:

$$\vec{P}_{Target}^C = \begin{bmatrix} u - c_x \\ v - c_y \\ \frac{f_x + f_y}{2} \end{bmatrix}$$

and, considering the coordinate frames presented before, the vector is transformed by successive rotations in the gimbal, body and vehicle frame () respectively by:

$$\vec{P}_{Target}^V = \begin{bmatrix} x_{Target} \\ y_{Target} \\ z_{Target} \end{bmatrix} = R_B^V R_C^B R_C^G \vec{P}_{Target}^C$$

where references the target vector in the UAV-carried inertial coordinate frame (vehicle frame, with the same orientation as the inertial coordinate frame). Using a flat earth model, it is possible to determine a scale factor that defines the intersection of the target vector with the ground and is defined as:

$$\lambda = \frac{h}{z_{Target}}$$

therefore, the target location in the UAV-carried reference frame is given by:

$$\vec{P}_{Target}^{UAV} = \lambda \begin{bmatrix} x_{Target} \\ y_{Target} \\ z_{Target} \end{bmatrix}$$

the final target location in the inertial Earth Centered Earth Fixed coordinate frame is given by the vector sum of the vector of:

$$\vec{P}_{Target}^I = \vec{P}_{UAV}^I + \vec{P}_{Target}^{UAV}$$

## 4. EXPERIMENTAL PROCEDURES

### 4.1. Camera Calibration

To accomplish a full variable camera settings calibration, several images samples were collected across the camera zoom band with a fixed focus (at "infinity") and with auto-focus. A statistical analysis was conducted considering 40 images samples trough 62 zoom levels for a total of 10555 for the fixed focus scenarios and 50802 for the auto-focus scenarios.

The results from the calibration procedure, regardless of the scenario considered, point to a very good camera equipment with a very robust lens assembly practically free of distortion. The statistical analysis conducted verifies the performance of the calibration conducted where regardless of the images provided, the results are relatively consistent from one calibration to other.

In Figures XX and XX, the data leads to the conclusion that is possible to obtain a polynomial model of the respective intrinsic parameters focal length and radial distortion parameter across the zoom range in both scenarios studied. The calibration values of the distortion parameters and across the zoom band were assumed to be zero due to two factors. First, their values were most of the cases zero, holding no influence over the distortion parameters. Second, their erratic behavior in some zoom ranges reveals a difficult to emulate their behavior as a continuous function. Therefore, they were discarded with the conscience of their possible impact on future results.

The tangential parameters and present a value close to zero, therefore similarly to and they were not considered in the following experiments.

The re-projection RMS error comparison between the scenarios tested is a clear example of the increasing difficulty of obtaining good data for higher zoom level in the case of the fixed focus. Compelling the belief that the calibration values obtained for a fixed focus scenario should not be considered valid, and the adoption of the auto-focus is a better option.



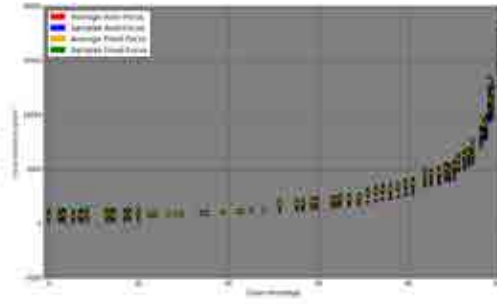


Figure 4.1.1: Focal distance through the zoom range.

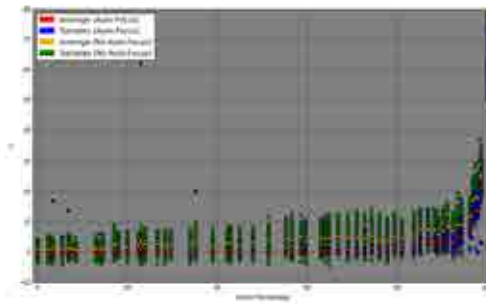


Figure 4.1.2: Distortion parameter through the zoom range.

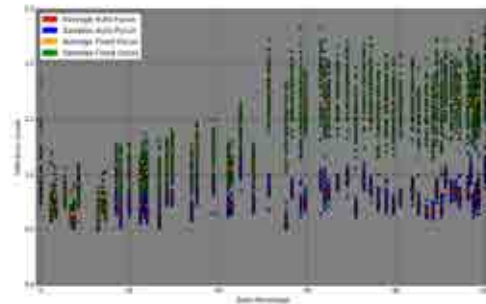


Figure 4.1.3: Re-projection RMS error through the zoom range.

## 4.2. Geo-location in Laboratory Environment

Before employing the geo-location algorithm in a full-scale scenario, some assumptions were verified in a small-scale scenario illustrated in Figure 5.2.1. The first objective of this experiment is to verify the validity of the several polynomial models obtained from the previous experiment data and determine the combination of focal length and distortion parameters models with better overall results in the geo-location. The second objective is to verify if the proposed methodology is a valid approach to the geo-location problem. The experiments conducted cover several zoom levels, as well as diverse camera, poses. These conditions were purposely varied with the objective of providing a set of different scenarios and comparing them for the several polynomial approaches proposed.

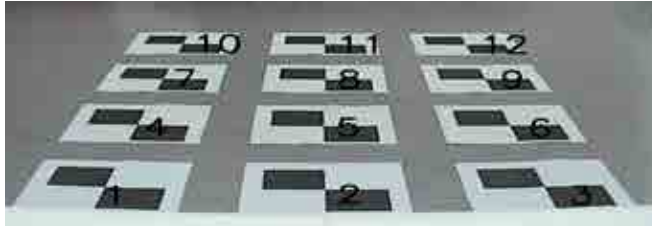


Figure 4.2.1: Example of experimental setup.

Target	Test 0	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Mean Error	RMS Error
1	0.0269	0.0310	0.0426	NA	NA	NA	0.0333	0.0339
2	0.0510	0.0506	0.0475	NA	NA	NA	0.0497	0.0497
3	0.0180	0.0233	0.0278	NA	NA	NA	0.0230	0.0234
4	0.0447	0.0428	0.0517	0.0270	NA	NA	0.0415	0.0425
5	0.0678	0.0490	0.0478	0.0520	NA	NA	0.0541	0.0547
6	0.0407	0.0564	0.0514	0.0324	NA	NA	0.0452	0.0462
7	0.1052	0.0730	0.1052	0.0839	0.0839	NA	0.0903	0.0912
8	0.1012	0.0956	0.0994	0.0843	0.0885	NA	0.0938	0.0940
9	0.0742	0.1032	0.1030	0.0858	0.0837	NA	0.0900	0.0907
10	0.1531	0.1764	0.1420	0.1570	0.1547	NA	0.1566	0.1570
11	0.1732	0.1281	0.1890	0.1692	0.1771	0.1904	0.1712	0.1724
12	0.1559	0.1934	0.1725	0.1606	0.1591	NA	0.1683	0.1689

Table 4.2.1: Error module using focal length degree model and a degree approximation for .

Target	Test 0	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Mean Error	RMS Error
1	0.0270	0.0308	0.0422	NA	NA	NA	0.0334	0.0340
2	0.0524	0.0509	0.0479	NA	NA	NA	0.0504	0.0504
3	0.0187	0.0241	0.0283	NA	NA	NA	0.0237	0.0240
4	0.0449	0.0430	0.0519	0.0270	NA	NA	0.0417	0.0427
5	0.0672	0.0492	0.0472	0.0525	NA	NA	0.0540	0.0546
6	0.0411	0.0565	0.0515	0.0325	NA	NA	0.0454	0.0463
7	0.1053	0.0736	0.1054	0.0841	0.0840	NA	0.0905	0.0914
8	0.1013	0.0954	0.0993	0.0842	0.0883	NA	0.0937	0.0939
9	0.0744	0.1033	0.1032	0.0859	0.0836	NA	0.0901	0.0908
10	0.1528	0.1761	0.1422	0.1572	0.1545	NA	0.1566	0.1569
11	0.1734	0.1278	0.1891	0.1690	0.1773	0.1914	0.1713	0.1726
12	0.1561	0.1960	0.1735	0.1616	0.1571	NA	0.1688	0.1695

Table 4.2.2: Error module using focal length degree model and a degree approximation for .

Target	Test 0	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Mean Error	RMS Error
1	0.0270	0.0311	0.0421	NA	NA	NA	0.0334	0.0340
2	0.0509	0.0508	0.0474	NA	NA	NA	0.0497	0.0497
3	0.0183	0.0239	0.0280	NA	NA	NA	0.0231	0.0237
4	0.0448	0.0418	0.0518	0.0270	NA	NA	0.0416	0.0426
5	0.0677	0.0492	0.0482	0.0522	NA	NA	0.0543	0.0549
6	0.0409	0.0562	0.0504	0.0327	NA	NA	0.0450	0.0459
7	0.1055	0.0739	0.1053	0.0834	0.0845	NA	0.0905	0.0914
8	0.1013	0.0958	0.0998	0.0843	0.0883	NA	0.0934	0.0939
9	0.0751	0.1037	0.1031	0.0857	0.0836	NA	0.0902	0.0907
10	0.1533	0.1764	0.1420	0.1572	0.1543	NA	0.1566	0.1572
11	0.1738	0.1283	0.1892	0.1695	0.1767	0.1914	0.1710	0.1722
12	0.1560	0.1958	0.1722	0.1610	0.1594	NA	0.1689	0.1700

Table 4.2.3: Error module using focal length degree model and a degree approximation for .

Analyzing the results in Tables 4.2.1, 4.2.2 and 4.2.3 it is possible to conclude that the combination of models regarding Table 5.2.1 provide the best results for the proposed experiment. Comparing both the mean and RMS errors of the data the combination of the focal length degree model and degree provide the smaller position error estimate. In summary, the results of this experiment allowed to verify the validity of the calibration procedure proposed as well as the geo-location algorithm and determining the more favorable model of the camera parameters for employment in a full-scale scenario. The results revealed to be encouraging and, although errors were verified, their presence is inevitable due to the choices and assumptions made for the camera intrinsic parameters modulation.

### 4.3. Geo-location in Real World conditions

This experiment tests the geo-location algorithm in a full-scale real-world scenario. The objectives of this experiment are: final validation of the proposed methodology for calibrating a camera with variable settings and test the geo-location algorithm under real-world conditions and constraints.

To accomplish the proposed objectives the degree polynomial model for the focal length and the degree polynomial model for the radial distortion parameter were used. In this experiment, a test target with 2.8 meters in length by 2 meters in width was and placed in several locations throughout the Portuguese Air Force Academy campus. The gimbal camera setup was placed on the top of the water tower building. This location was chosen to ensure a sufficient height to approximate, as close as possible, the aircraft altitude of operation.

The results of the geo-location algorithm were studied under three different scenarios to access the influence of the altitude estimation in the algorithm performance. The height estimation using the proposed geo-location method is a key factor, where errors are more prompt to occur. The method relies on an accurate measurement of the camera height in regard with the target, which in turn affects the geo-location algorithm in the calculation of the scale factor, and therefore the determination of the target coordinates. As such in this experiment two different altitudes were considered: altitude above target and altitude above ground.

Figure 4.3.1 illustrates the several scenarios proposed and represents a schematic view of the different altitudes considered, where the height is the clearer representation of the altitude above target (obtained from the GPS average positions of the camera and target) and, the representation of the altitude above ground.

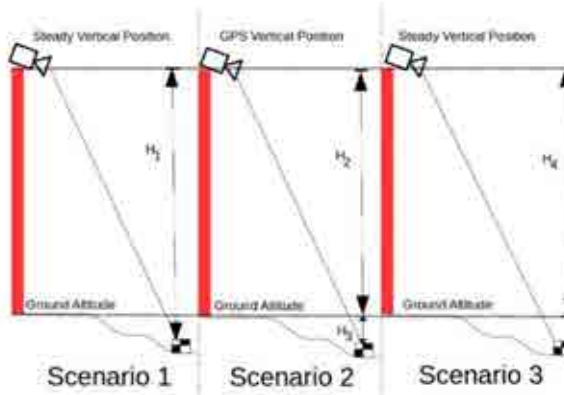


Figure 4.3.1: Test scenarios proposed.

In the first scenario, it is assumed that the GPS coordinates of the camera are fixed. In this case, the height used to calculate the scale factor of the geo-location algorithm is the fixed altitude above the target for each location. This means that the scale factor is obtained by using a steady altitude () above target for each location. In the second scenario, the coordinates of the camera are obtained directly from its GPS receiver and the target coordinates are fixed. The height measurements to determine the scale factor is the altitude difference between the camera and the target in each time instance. In this scenario the altitude above target is given by . The height is the online real data coming from the camera's GPS receiver and therefore, varies along the time. The height is maintained fixed. In the third scenario, the height measurement to determine the scale factor is given by the altitude above ground of the camera regardless of the target location.

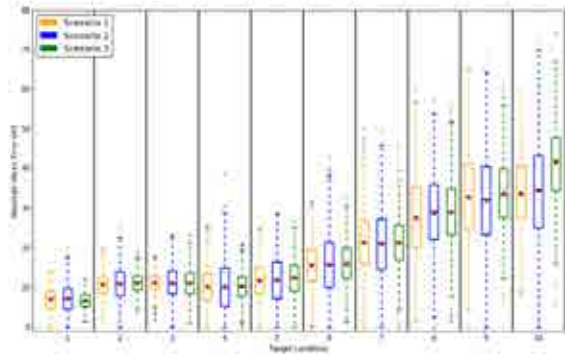


Figure 4.3.2 : Geo-location error of each location in increasing horizontal distance to the camera location from 1 to 10.

Comparing the first and second scenarios both the median and mean (red square) suggest that using the online instant data from the camera GPS sensor does not significantly affect the location errors. This fact is due to the stable fix acquired by the GPS sensor during the experimental procedure. Because the camera initial position does not change, the location errors consequently are not affected in a significant way. The locations 1 to 5, which are closer to the camera, present a moderate error location error varying from 7 to 15 meters. Although the outliers of the graph in these cases present errors as high as 15 meters (target location 1) and 23 meters (target location 5) this means that in some cases the online instant error of the estimated position was bigger than the average error. In locations 6 to 10, which are further away from the camera location, the positioning error is higher than in the previous locations (1 to 5). In the data collected, the mean error varies from 18 to 35 meters as the target distance to the camera increases. The samples dispersion of the results in these locations also increases, where the location error obtained from an instant online sample in some locations shown by the outliers of the box plot can be as high as 32 to 60 meters. Regardless of this fact, the results from using a constant value for the camera coordinates and using the GPS instant readings are similar.

However, the difference between the upper and lower quartile of the box plot is higher in the second scenario. The data points to the negligible effect of the camera GPS position variation in the average position obtained but, with higher dispersion of samples. The experiment procedure conducted and consequent data analysis points to several factors which influence the geo-location method proposed. The first factor is the camera intrinsic parameter models obtained.

The models used approximate the intrinsic parameters behavior as function of the zoom setting, they are bound to their relative accurateness and therefore the errors made during the model calculations are propagated to this experiment. The fact that, in the small-scale scenario of this experiment, the disregard of some distortion parameters did not present a great influence in the results, at a large scale they undoubtedly influence the results.

The second factor which affects the geo-location algorithm is the height difference between the altitude above target and the altitude above ground. When these altitudes are similar there are no significant errors. However, when the height difference increases, the positioning errors increase, meaning that the proposed geo-location solution is not suitable to be employed in rugged terrain where significant geological formation such as mountains and valleys would result in a significant loss of accuracy.

The third factor which influences the geo-location algorithm performance is the target distance in relation

to the camera, where for higher distances the error is consequently higher. The increasing target distance results in increasing image obliqueness, where images captured at a more oblique position cover a bigger area. Therefore, the further a target is located the more influence the pixel location of the target has in the final estimate of a target coordinates.

The results obtained are encouraging. However, they point some factors which much be taken into consideration for future tests. The fact that the scenario of operation of the geo-location method developed is a maritime environment, where the height difference between the target altitude and the ground (mean sea level) altitude is negligible, mitigates the effect that the height difference influences the proposed method.

The target distance at which the target is points to a careful selection of the flight path of the aircraft. In this, the lower the more oblique an image is the more prompt the location errors are, meaning that an altitude/distance compromise must be verified which minimizes the error.

## 5. CONCLUSION

In this work a new methodology for geo-locating an unknown, uncooperative target object in the maritime environment using a camera with variable settings was presented. The experimental results allowed to demonstrate an interdependence between the camera zoom and its intrinsic and distortion parameters, where it was possible to define several polynomial models of the parameters through the zoom band. The proposed geo-location method was devised according to the environment of operation of the aircraft. In the context of the Seagull project, this represents an extension of the capabilities already in existence.

Tests in a controlled environment reveal the sustainability and validity of the algorithm implemented. However, the location errors increased with the distance of the target location in relation to the camera position. An experiment under real world conditions also verified this fact, were the errors were consequently, higher given the target distances considered. In a real-world scenario, several other sources of error were identified: wind, the inaccurate measurement of the altitude above target and the target horizontal distance to the camera. These can in the future reveal a significant role in the foreseeable errors of the deployment of the geo-location solution proposed if left unchecked or unmitigated.

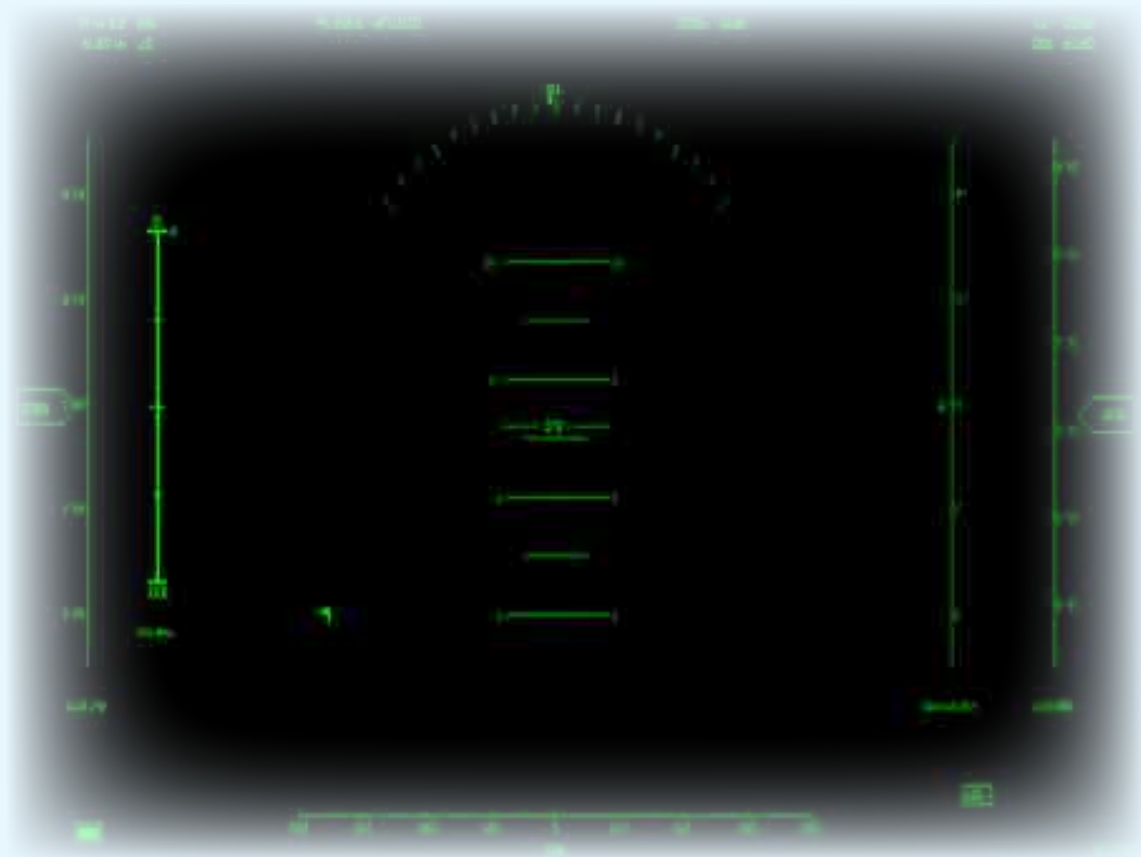
In conclusion, the work presented details a possible methodology to geo-locate targets with a calibrated monocular camera, which shows promising results. The camera calibration method employed held good results as well as the geo-location algorithm, under a controlled environment.

Despite the sources of error verified and highlighted, under real-world conditions, the method proposed had a satisfactory performed as a stand-alone instant online solution indicating that the proposed approach is suitable to be more carefully studied and developed to increase the Seagull project capabilities.

## REFERENCES

- [1] Governo de Portugal, **Conceito estratégico de defesa nacional**, 2013.
- [2] Z. Zhang. **Flexible camera calibration by viewing a plane from unknown orientations**. In The Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision, 1999.
- [3] A. Bernardino, N. Ferreira, C. Dias, F. Nunes, G. Cruz, and J. Viegas. **SEAGULL - Relatório Estado da Arte**. Critical Software S.A., 2013.
- [4] D. Salgueiro, G. Cruz, J. Viegas, P. Silva, R. Batista, T. Oliveira, and R. Ribeiro. **SEAGULL - Especificação do Software Embarcado**. Critical Software S.A, 2014.

# Desenvolvimento de Sistema de Telemetria sobre Vídeo para UAS da FAP



**Autor:** Fábio Lourenço, Aspirante Aluno do Mestrado Integrado  
na especialidade de Piloto Aviador  
Academia da Força Aérea, Sintra

**Orientador:** João Caetano, Capitão Engenheiro Aeronáutico  
Doutor em Engenharia Aeroespacial  
Academia da Força Aérea, Sintra

**Coorientador:** Diogo Silva, Tenente Engenheiro Eletrotécnico  
Academia da Força Aérea, Sintra

**Resumo:** Atualmente, no âmbito das operações de *Unmanned Aircraft Systems* (UAS) na Força Aérea Portuguesa (FAP), o controlo manual da plataforma é efetuado pelo *Safety Pilot* (SP). Este revela-se como elemento fundamental na segurança das operações, garantindo complementaridade e *backup* ao piloto automático (Autopilot – AP), mesmo em caso de emergência. Porém, o voo é sempre em *visual line-of-sight* (VLOS), pelo que o SP está fora da *Ground Control Station* (GCS) em permanência, sujeitando-se às condições meteorológicas e ambientais. Além disso, as informações de voo são obtidas via rádio pelo operador, sendo que este não possui qualquer sistema de telemetria em tempo real.

Com o objetivo de providenciar um sistema de telemetria para SP, optou-se por analisar o conceito de voo *First Person View* (FPV) sobreposto com um *On Screen Display* (OSD). Desta forma, a presente dissertação visa o desenvolvimento e implementação de um sistema de telemetria sobre vídeo, enquanto sistema auxiliar para SP. No sentido de cumprir este objetivo, iniciou-se a aquisição e instalação de um sistema de vídeo FPV independente de AP, com telemetria disponibilizada pelo controlador de voo, atuando como sistema para teste de conceito. Paralelamente, desenvolveu-se um OSD aplicado em *Robot Operating System* (ROS) com telemetria proveniente do AP. Como forma de validação do conceito, desenvolveu-se uma ferramenta de *software* com vista a deteção da latência no sinal de vídeo.

Através da metodologia adotada, validou-se o conceito de sistema de vídeo FPV, através do controlo manual do UAV em todas as fases de voo, exceto na aterragem, utilizando um ecrã com vídeo do voo e telemetria. O SP consegue, agora, voar o *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) a partir da GCS. Tal facto resulta num acréscimo de segurança para as operações UAS na FAP dado que o SP deixa de estar sujeito a voo em VLOS e às condições meteorológicas.

Desta forma, conclui-se que é vantajoso a implementação de vídeo FPV com telemetria em OSD com vista à mitigação dos atuais riscos de operação.

**Palavras-chave:** *Safety Pilot*; UAV; vídeo FPV; telemetria; OSD.

## 1. INTRODUÇÃO

A área da Aeronáutica testemunha e reflete o avanço tecnológico com o desenvolvimento de sistemas aéreos não tripulados (*Unmanned Aircraft System* – UAS). A remoção do piloto do *cockpit* alberga inúmeras vantagens operacionais, políticas e económicas, cada vez mais aliciantes e promissoras para o utilizador. O risco de perda humana ser reduzido, a eficiência da utilização dos meios aumentar e a possibilidade de Guerra Aérea Remota surgem como alguns dos elementos preponderantes na utilização destes sistemas (Morgado e Sousa, 2009).

O cariz experimental das plataformas *Unmanned Aerial Vehicles* (UAV) desenvolvidas no CIDIFA exige a existência de um SP, conforme determina o atual Conceito de Operações (CONOPS) UAS na FAP (Teixeira, 2016), dado que não existe um sistema de redundância de controlo automático. Neste momento, são contabilizados apenas três acidentes que resultaram na perda total da plataforma, correspondendo a 0,5% dos voos efetuados. Dito isto, esta imposição é justificada pelos seguintes pontos:

Em primeiro lugar, a plataforma necessita de efetuar inúmeros procedimentos iniciais – tais como voos de aceitação – por forma a estabelecer os parâmetros a inserir no piloto automático, sendo estes voos



controlados em modo manual pelo SP. Em segundo lugar, dada a inexistência de um sistema redundante de piloto automático (Autopilot – AP) nos UAV, a mitigação de risco e falha do mesmo é garantida pelo SP, por controlo manual da plataforma com *override* ao AP. Em terceiro lugar, o controlo manual da plataforma é sempre efetuado em *visual line-of-sight* (VLOS), no exterior da *Ground Control Station* (GCS), expondo o SP a fatores climatérios que afetam a segurança da operação nomeadamente: precipitação, temperatura, turbulência, ruído, luzes encadeadoras (mais patente em voo noturno) e insetos. Além disso, dado que o comando do SP requer uma conexão permanente à GCS, esta necessita de estar próxima da pista. Por fim, as comunicações entre o SP e a GCS são via rádio, onde toda a transmissão de informação de parâmetros de voo são verbais. No caso de ocorrer uma falha de comunicações, verifica-se a perda de informação de velocidade e distância transmitida ao SP.

Importa igualmente mencionar que, mediante os objetivos assentes no documento MFA 500-12, bem como as diretivas estabelecidas pela circular N°1/13 da Autoridade Aeronáutica Nacional (AAN), a formação de um SP deve ser cada vez mais minuciosa e competente, pelo que se torna imperativo uma melhoria no seu desempenho.

Deste modo, é pertinente para o CIDIFA, no âmbito dos projetos em que se encontra inserido, que seja analisado e implementado um sistema de telemetria que assista as atuais funções do SP. Assim sendo, foi estabelecida a seguinte pergunta de partida:

**“Em que medida é vantajoso providenciar um sistema de vídeo *First Person View* com tecnologia *On Screen Display* como auxiliar de telemetria para *Safety Pilot*?”**

Tendo em consideração a problemática apresentada, a presente dissertação visa desenvolver e testar um sistema de vídeo, com tecnologia OSD, auxiliar às funções do SP. Para tal, foram analisados dois métodos – mediante telemetria dependente e independente de piloto automático (Teixeira, 2016) – cujo objetivo final será fornecer um OSD sobreposto com emissão de vídeo – em que o independente atua como teste de conceito e elemento redundante do atual AP e o dependente como elemento primário a ser utilizado em operação.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em termos gerais, as Forças Armadas (FFAA) que operam UAS fazem uso de uma série de tecnologias e procedimentos idênticos às aeronaves tripuladas – tipos de sistemas e sensores a bordo, *checklists* antes, durante e após o voo – subordinadas ao tipo de missão a desempenhar pela aeronave (Vicente, 2011). Assim sendo, apesar da heterogeneidade operacional, os principais requisitos do sistema são:

- UAV;
- GCS;
- *Link* de comunicações entre UAV e GCS em tempo real;
- Espaço aéreo;
- Equipa de operação;
- Local para descolagem e aterragem.

Segundo o atual Conceito de Operações (CONOPS) na FAP (Figura 2-1), existe uma equipa de operação, constituída por vários elementos, incluindo o SP. Neste momento, o SP é responsável por efetuar as descolagens do UAV, as aterragens – caso o AP não consiga fazê-lo devido a fatores meteorológicos – bem como efetuar os testes em voo de plataformas em fase de certificação, assumindo um papel fundamental com redundância, realizando o *override* do sistema automático.

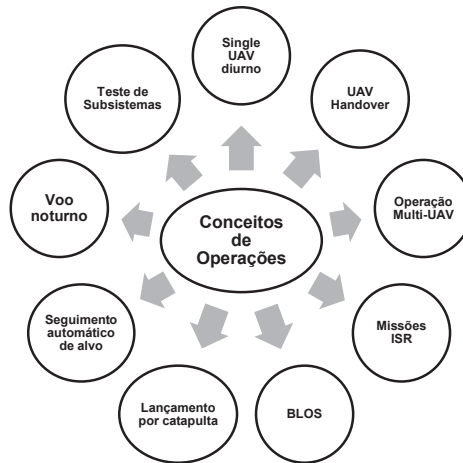


Figura 2 1 - Conceitos de Operações UAS na FAP.

## 2.1 SAFETY PILOT

O SP é responsável pela segurança da operação. É este elemento que garante, em caso de falha do sistema automático, o controlo manual da plataforma, sempre em linha de vista. Nos procedimentos atuais da FAP, o SP apresenta-se como um dos elementos humanos nas operações UAS, cujas funções exigidas evidenciam a sua importância na manutenção de segurança na operação, desde os testes no solo até à plataforma estar em voo. As funções que o SP desempenha variam de acordo com o tipo de missão, bem como a classe do UAV a operar (Teixeira, 2016).

Atualmente, as operações UAS da FAP exigem a presença de um piloto de segurança. A sua posição encontra-se limitada ao exterior da GCS, dado que não existem condições técnicas, nas aeronaves operadas pelo CIDIFA, que permitam o controlo manual BVLOS (*Beyond Vision line-of-sight*). O voo RC é sempre efetuado em VLOS, sujeito às condições meteorológicas, limitado pelo alcance do transmissor rádio à plataforma. Dado que o voo da plataforma em modo manual é realizado em VLOS, é compreensível que o controlo eficiente da mesma será tanto menor quanto maior for a distância do UAV ao piloto.

Outra limitação envolvendo o piloto é o fato de não ter acesso a qualquer informação de telemetria diretamente da plataforma de forma independente, isto é, o controlo manual é realizado visualmente, sendo que qualquer parâmetro de voo é obtido pela comunicação com o operador que se encontra na GCS, via rádio.

## 2.2 CONCEITO FIRST PERSON VIEW

Um sistema FPV é composto por vários componentes, em função da complexidade da operação e/ou voo a efetuar. No entanto, existem sete (7) elementos que são transversais a todos os sistemas FPV, nomeadamente:

A bordo	[	Câmara de vídeo	]	No solo	[	Display (Monitor ou <i>goggles</i> )
		Transmissor de vídeo				Alimentação energética (e.g.: Bateria)
		Antena				Recetor de vídeo
		Bateria				

Além destes elementos essenciais, um sistema FPV poderá ser equipado com sistemas cujas capacidades permitem um elevado nível de controlo, como o regresso a casa (*Return to Home – RTH*) – no caso de perda de *link* de vídeo – ou adição de uma *gimbal* – componente que permite a câmara rodar sobre determinado eixo.

### 3. SISTEMA DE VÍDEO INDEPENDENTE DE AUTOPILOT

Um sistema de vídeo independente justifica a sua designação através do modo como obtém e envia dados de telemetria para um determinado utilizador no solo (Teixeira, 2016). Para tal, o sistema é composto por um controlador de voo – cujas características se assemelham às de um AP – capaz de realizar diversos cálculos mediante os sensores que nele integram; uma câmara de vídeo; um transmissor e respetiva antena e uma bateria, de modo a providenciar energia elétrica a todos os componentes do sistema (EagleTree Systems, 2017).

Ao controlador de voo podem ser conectadas ligações de atuadores de forma direta, isto é, o pulso (sinal) é enviado diretamente do controlador para o atuador. No entanto, existe, ainda, a possibilidade de conectar um recetor RC ao controlador de voo. Desta forma, todos os comandos provenientes de um transmissor RC no solo serão recebidos pelo controlador de voo via recetor RC. A Figura 3-1 ilustra os componentes de um sistema de vídeo independente.

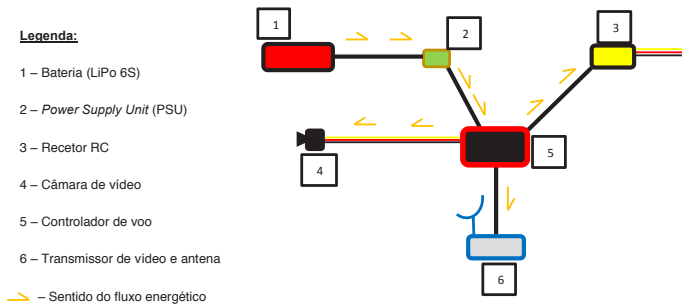


Figura 3 1 - Diagrama representativo dos componentes básicos de um sistema de vídeo independente.

No sentido de testar e validar o conceito proposto, adquiriu-se um sistema desenvolvido pela *EagleTree Systems™*, cujas características permitem colmatar as limitações previstas. O sistema é composto por um controlador de voo – designado por *Vector* – onde se encontram incorporados os sensores de bússola magnética e a unidade de medida de inércia (*Inertial Measurement Unit – IMU*), e todos os componentes acessórios que permitem enriquecer a informação de voo que é obtida pelo piloto – neste âmbito, o SP – nomeadamente: tubo *pitot*, GPS e cablagem para conexões entre o controlador e o componente.

À semelhança do piloto automático *Piccolo*, uma das capacidades essenciais neste sistema é a de *Return To Home* (RTH), ativada manualmente – através do transmissor RC do piloto – ou automaticamente, mediante deteção de falhas de segurança (*failsafe detections*). O *Vector* permite, ainda, configurar diversos modos de voo, variando consoante o tipo de missão a efetuar e a experiência do piloto, revestindo-se como algumas medidas *failsafe*. O sistema incorpora um OSD, sobreposto em vídeo, com vista à demonstração de informações de voo e dados do sistema, manipuláveis pelo utilizador mediante o *software* disponibilizado pelo sistema. A Figura 3-2 exemplifica uma configuração do OSD por parte do utilizador.

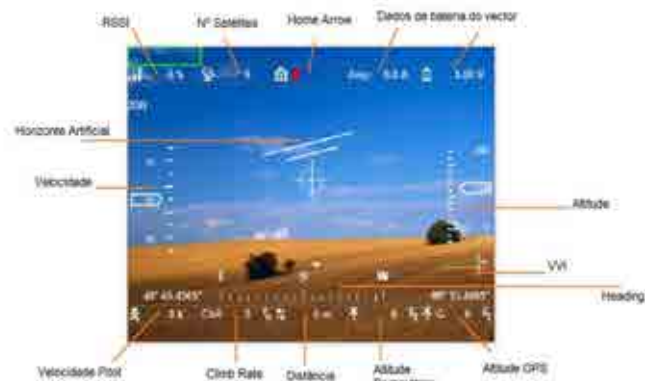


Figura 3 2 - OSD do sistema fabricado pela EagleTree™. Adaptado de (EagleTree Systems, 2017).

Ao abrigo da circular nº1/13, emitido pela AAN, todos os subsistemas – em fase de teste – que afetem, em qualquer momento do voo, as superfícies primárias de controlo de um UAV, necessitam de uma Licença Especial de Aeronavegabilidade (LEA) para poderem ser testadas (AAN, 2013). Assim sendo, em todos os testes em voo realizados, o *Vector* assumiu a função de *data logger*, i.e., apenas com a função de adquirir e guardar informações de voo, suficiente para cumprir o objetivo de teste de conceito do sistema.

### 3.1. MONTAGEM DOS COMPONENTES NA PLATAFORMA ANTEX X02 ALPHA

Após o teste do sistema em bancada, procedeu-se à análise do modo de colocação e instalação dos componentes num UAV. Para facilitar o teste de conceito, foi utilizado um UAV de classe I – Antex X02 Alfa – com o número de cauda 08, cujo *payload* apresentado era o mais simples. Além disso, estava preparado apenas para voo RC, possuindo, desta forma, mais espaço para a colocação do material FPV. Os limites operacionais da plataforma constam no Anexo C.

Tendo em conta a fuselagem da plataforma, existia duas formas de colocação da câmara, sem perturbar o escoamento do ar: no nariz ou na cauda em H. Tendo em conta as características da câmara, assim como a estrutura de montagem da mesma, foi decidido que esta seria melhor colocada no nariz. O facto deste estar alinhado com o eixo longitudinal da plataforma e ser oco internamente, garantiu uma maior segurança na instalação da câmara. O tubo de *pitot* do sistema FPV foi também instalado no nariz, conforme observado pela Figura 3-3.



Figura 3 3 - Montagem da câmara de vídeo e tubo de pitot no nariz.

Finalizada a montagem destes dois componentes, procedeu-se à colocação do sistema FPV dentro do UAV, assim como um AP (*Piccolo plus*), no sentido de providenciar telemetria para uma GCS. Para a colocação dos componentes, foram estabelecidas algumas condições com vista à manutenção da fiabilidade e segurança do sistema, designadamente:

- Transmissor de vídeo colocado num local fresco.
- *Piccolo* e *Vector* próximos do centro de gravidade da plataforma;
- Antena de transmissão de vídeo afastada da antena de comunicações *Piccolo*;
- Módulo GPS no topo da plataforma.

A primeira condição justifica-se pela elevada temperatura atingida pelo componente durante a operação, pelo que não é aconselhável ser instalado num local de pouco isolamento térmico. A segunda condição é imposta devido ao facto de ambos possuírem sensores de inércia – através dos quais são medidas acelerações lineares e angulares. Consequentemente, quanto maior for a distância dos mesmos ao centro de gravidade, menos fidedignos serão os valores de aceleração. A terceira condição é exigida pela banda de frequência onde radiam as antenas (2.4 GHz) pelo que existe a possibilidade de interferências em ambas as transmissões. O módulo GPS é colocado no topo da plataforma por forma a garantir uma aquisição satisfatória de satélites. A Figura 3-4 ilustra uma etapa na montagem dos componentes.



Figura 3 4 - Montagem do sistema FPV em Antex X02 Alfa.

O modelo da câmara de vídeo instalada na plataforma designa-se por RunCam® Swift 2, cujas principais características são:

- Sensor de imagem: Sony® Super HAD II CCD;
- Resolução horizontal: 600 TVL;
- Lentes: 2.1; 2.3 ou 2.5 mm.

Relativamente ao sistema de receção de vídeo, foram adquiridos os goggles Quantum V2Pro (Figura 3-5) equipado com um monitor LCD de 5 polegadas, cuja resolução é 800x680. Possui uma ligação de energia e uma ligação de entrada de vídeo, assim como uma lente de zoom ótico (1X, 1.25x e 1.5X).'



Figura 3 5 - Goggles Quantum V2 Pro, utilizados para teste de conceito FPV.

### 3.1. TESTES EM VOO

Para a validação do conceito, foram efetuados diversos voos no CFMTFA, sempre com o mesmo perfil de voo – rolagem, descolagem, voltas suaves para a esquerda e direita, subidas e descidas, nivelar e aproximação à aterragem. Os voos foram realizados em modo RC, sempre em VLOS do SP.

A primeira fase da validação do conceito consistiu na obtenção de resultados que demonstrassem a possibilidade de efetuar o controlo primário do UAV recorrendo a um *display*, em sobreposição com telemetria do mesmo. Desta forma, para garantir a segurança da operação, foram utilizados dois transmissores RC, um principal ou *master* e um escravo (*slave*), conforme ilustra a Figura 3-6 (imagem da esquerda).

A segunda fase decorreu, em parte, devido aos resultados satisfatórios obtidos anteriormente. Modificou-se o *display*, através da incorporação de um monitor, colocado fora da GCS, como medida de segurança derivado do contexto da operação – com o amadurecimento e implementação completa do sistema, o monitor passará a estar dentro da GCS. A vantagem em relação ao método utilizado na primeira fase é que o SP *slave* possui a capacidade de pilotar o UAV através de um monitor, bem como aumentar o conhecimento situacional (*situational awareness* – SA). Desta forma, em caso de perda de *downlink* de vídeo, o SP *slave* não perde a posição atual do UAV por completo, dado que a sua visão não se encontra limitada pelos *goggles*, conforme observado através da Figura 3-6 (imagem da direita).



Figura 3 6 - Duplo comando de UAV, com o master à esquerda em VLOS, e à direita o slave, com os goggles. RC slave a controlar o UAV através de um monitor.

O perfil da missão foi idêntico ao da primeira fase. O SP *master* pilotava o UAV durante as fases críticas (descolagem e aterragem), efetuando a passagem do controlo para o SP *slave* assim que este estivesse em voo de nível, com uma altitude de segurança. Foram, ainda, realizadas aproximações à aterragem, tendo sido atingida uma altura mínima de 70 FT AGL.

Durante o desenvolvimento dos testes foi possível observar uma melhoria no controlo do UAV, tendo sido efetuada uma descolagem através do monitor. Tal facto provou ser um indicativo satisfatório na validação do conceito. Além disso, foi possível alterar a posição do SP *master* para a GCS, retirando-o das condições meteorológicas desconfortáveis – temperatura elevada na pista e elevada luminosidade solar –, melhorando, desta forma, a pilotagem. A Tabela 3-3 demonstra um resumo das vantagens e desvantagens de cada *display*.

Tabela 31 – Resumo das vantagens e desvantagens observadas em cada display.

Display	Vantagens	Desvantagens
Goggles	FPV com maior definição.	Possíveis tonturas e enjoos; Dificuldades em focar informações no OSD; Menor SA; SP fora da GCS.
Monitor	SP dentro da GCS; Melhor comunicação entre operador e SP; Maior SA; Melhor controlo do UAV.	Adicionar um monitor na GCS.

Relativamente à desvantagem observada pelo monitor, a adição de um monitor à GCS implica uma alteração da atual disposição física dos elementos de controlo, assim como possíveis custos associados à sua aquisição.

#### 4. SISTEMA DE VÍDEO DEPENDENTE DE AUTOPILOT

Para o teste deste sistema, foi necessário desenvolver um *software* capaz de receber e apresentar dados de telemetria, bem como executar a leitura de *frames* de vídeo, em tempo real, e apresentar num ecrã, sobrepondo os mesmos com os dados de telemetria.

À semelhança do atual *Primary Flight Display* (PFD) disponibilizado pelo PCC, foi desenvolvida uma interface gráfica, capaz de ser cruzada com vídeo, superando as limitações visuais do *software* do *Piccolo* (Barchet *et al.*, 2012). Esta assenta numa plataforma de *software* para robótica – *open source* – designado por *Robot Operating System* (ROS). O *modos operandi* desta plataforma encontra-se alicerçada em cinco conceitos, nomeadamente: publicador (*publisher*), o subscritor (*subscriber*), mensagem (*message*), nó (*node*) e tópico (*topic*), cada um contribuindo para a constituição de uma rede ROS. Um nó é representado por um determinado processo cujo objetivo é realizar uma tarefa específica. Este poderá ter a função *publisher*, i.e., para publicar uma mensagem, ou a função *subscriber*, para receber uma mensagem (Quigley *et al.*, 2009).

Para a criação da interface gráfica (GUI), recorreu-se à biblioteca *Pygame* (Shinners, 2011), cuja função se especializa na recolha e processamento de informação, produzindo uma superfície virtual no ecrã onde é possível visualizar os dados. Utilizou-se a biblioteca *Matplotlib* (Hunter, 2007) para desenhar os eixos representativos da velocidade, altitude, atitude, rumo e VVI (velocidade vertical indicada), assim como a ferramenta GIMP (*GNU Image Manipulation Program*), *open source*, por forma a desenhar as caixas de leitura e indicação de dados (Team, 2017).

O *software* do OSD é iniciado com um nó que subscreve a dois tópicos: o tópico ‘Autopilot\_telemetry’ e o tópico ‘video\_msg’. Através destes, obtém as mensagens, convertendo-as para um OSD em sobreposição com vídeo. Para testar o *software*, utilizou-se a câmara TASE 150, produzida pela *CloudCap Technology*, com uma frequência de telemetria a vários níveis, nomeadamente: 1 Hz, 10 Hz e 25 Hz. O OSD desenvolvido possui todas as informações previamente requisitadas pelo SP, com um *display* idêntico ao PFD do *Piccolo*, cujo produto final encontra-se ilustrado na Figura 4-1.



Figura 4 1 - OSD recetor de telemetria de Piccolo e vídeo.

Além dos parâmetros colocados no exemplo demonstrado pela Figura 4-2, é possível ajustar a posição de cada campo, assim como é possível adicionar qualquer tipo de informação proveniente dos pacotes de telemetria do *Piccolo*. A Tabela 4-1 descreve cada campo e respectivas unidades constituintes do OSD.

Tabela 41 - Descrição de cada campo constituinte do OSD.

<b>Campo</b>	<b>Parâmetro</b>	<b>Unidades</b>
1	Hora UTC	HH:MM:SS
2	<i>Waypoint</i>	n/a
3	Rumo	Graus
4	Voltagem de bateria	Volts
5	Velocidade Indicada	Kt
6	VVI	ft/min
7	Indicador de Atitude e pranchamento	Graus
8	<i>Home Arrow</i>	n/a
9	Potência de motor	%
10	Indicador de altitude	Ft
11	<i>Data link</i>	%
12	RSSI	dB
13	RPM do motor	RPM
14	Indicador de pranchamento	Graus
15	Distância ao próximo <i>Waypoint</i>	Metros
16	Coordenadas GPS	Graus, minutos e segundos

No sentido de alertar o SP para valores mínimos de segurança, as barras de velocidade e altitude assumem uma cor vermelha, bem como os respectivos valores de velocidade e altitude. Tal como estes avisos, é possível adicionar outro género de avisos, e.g.: bateria baixa, perda de *link* de vídeo, baixo RSSI e/ou *data link*.



## 5. FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO DE LATÊNCIA

A fim de implementar os sistemas auxiliares de telemetria propostos, torna-se imperativo verificar a existência de latência entre a emissão e a recepção de uma *frame* de vídeo. Para tal, foi desenvolvido um *software* cujo produto final representa uma subtração entre dois intervalos de tempo, em cada *frame*.

### 5.1 METODOLOGIA

A ideologia teórica adotada convergiu na execução de diversos testes, com o objetivo de caracterizar a latência nos vários percursos que um sinal percorre, desde o momento que é emitido até ao que é processado. Neste sentido, foi analisada a existência de latência em duas vias de comunicação: via cabo e via RF. Na ligação por cabo, foram realizados três testes cujas diferenças consubstanciam-se num aumento de tarefas computacionais, e na ligação RF, foram realizados dois testes, igualmente diferenciadas. Foram realizados testes sem telemetria (1A e 2A) e testes com telemetria (1B, 1C e 2B), variando entre 1Hz e 25Hz.

Para a concretização dos testes, foi efetuada a captura, mediante uma câmara, de imagens publicadas num ecrã – através de um *software* cujo resultado final é o *display* de quatro dígitos – correspondendo ao tempo a que está a ser capturada determinada *frame*. Assim sendo, sempre que a câmara captura uma imagem, esta é detetada pelo *frame grabber* e é publicada, num tópico ROS, com o tempo em que foi recebida no computador. Por fim guarda-se as mensagens publicadas no tópico, para, posteriormente, aplicar o algoritmo de deteção e reconhecimento de dígitos.

O método proposto para analisar latência entre *frames* de vídeo foi moldado mediante certas condições teóricas e operacionais, designadamente:

- Limite máximo tolerável de latência que um SP poderá assumir, durante o controlo manual de um UAV, cujo valor foi fixado em 0,3 segundos (30 centésimos de segundo).
- Taxa de refrescamento dos dígitos a 15 Hz (aproximadamente a 0,0667 segundos).
- Latência deveria ser registada até ao centésimo de segundo.

No sentido de desenvolver um algoritmo capaz detetar e classificar dígitos numa imagem, foi necessário utilizar diversas bibliotecas com vista à deteção de objetos, reconhecimento e escrita em imagens, nomeadamente: *Open Source Computer Vision* (OpenCV) (Pulli *et al.*, 2012), *Skimage* (Walt, van der *et al.*, 2014) e *Sklearn* (Pedregosa *et al.*, 2011).

As bibliotecas *Skimage* e *Sklearn* são utilizadas no âmbito de processamento de imagens, com múltiplas capacidades, particularmente, a criação de descritores de imagem em HOG (*Histogram Oriented Gradients*) e de técnicas de decisão, através de SVM (*Support Vector Machines*).

Para a elaboração de um classificador de dígitos, recorreu-se a uma base de dados – “MNIST,” previamente elaborada e disponibilizada para diversos utilizadores –, contendo aproximadamente 70000 imagens de dígitos escritos à mão, variando desde o dígito “0” até ao dígito “9” (LeCun, 1998).

### 5.3 ALGORITMO DE DETEÇÃO E RECONHECIMENTO

Após a elaboração do classificador, desenvolveu-se um *software*<sup>2</sup> com a função de capturar as *frames* de vídeo, converter para mensagens ROS e publicar para um tópico através de um nó. Após receber as *frames*, são aplicadas diversas funções de processamento de imagem (de ambiente OpenCV) com vista a melhorar a deteção e classificação de dígitos. O resultado pode variar entre três possíveis: *frame* detetada, *frame* não detetada e *frame* “falso positivo”, isto é, detetada de forma incorreta, conforme ilustra a Figura 5-1.

<sup>2</sup> Código disponível em: [https://github.com/falourenco/Ferramenta-de-Lat-ncia/blob/master/cam\\_rec.py](https://github.com/falourenco/Ferramenta-de-Lat-ncia/blob/master/cam_rec.py).

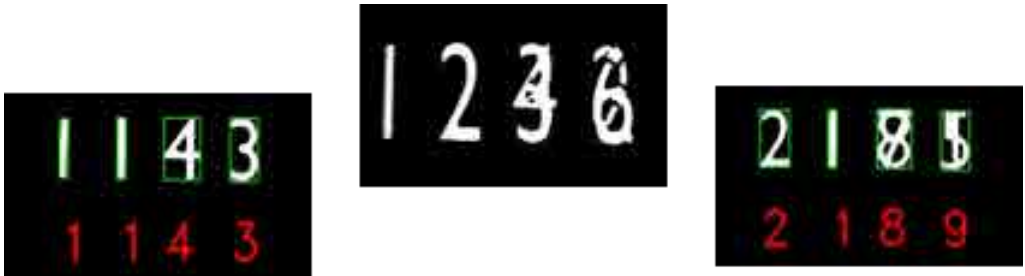


Figura 5-1 - Resultados após aplicação do algoritmo.

Em paralelo a este algoritmo é extraído, de cada *frame*, o *timestamp*. Após a classificação dos dígitos, a latência é obtida de acordo com a Eq. (1):

$$Lat_{frame} = timestamp_{dig} - dig_{rec} \left[ \frac{1}{100} s \right] \quad (1)$$

De acordo com a Eq. (1), a latência de cada *frame* é obtida através da subtração entre os quatro dígitos do *timestamp* correspondentes ao segundo e centésimo de segundo, e os dígitos resultantes da classificação. Após esta operação, os valores de latência são guardados num ficheiro CSV, para posterior tratamento e análise estatística.

#### 5.4 RESULTADOS OBTIDOS

De acordo com a Tabela 5-1, foram analisadas 4695 *frames*, sendo que 3,41% delas não foram detetadas e 5,43% foram detetadas como “falsos positivos”. A média de precisão obtida pela aplicação do algoritmo foi 91,26%, onde o teste com a maior precisão foi o 2-B, com uma frequência de telemetria a 10 Hz, e o com a menor precisão o 1-C, com frequência de telemetria a 25 Hz. A percentagem de *frames* com latência inferior a 0,03 segundos foi de 89,62.

A média de latência obtida no sistema de vídeo por cabo SMA foi 0,13 segundos, tendo sido o menor valor obtido no teste 1-B, com uma frequência de telemetria a 10 Hz, e o maior no teste 1-C, com uma frequência de telemetria a 25 Hz.

Relativamente à latência no sistema de vídeo RF, a média foi 0,291 segundos, sendo que o valor mais elevado verificou-se no teste 2-B, com uma frequência de telemetria a 25 Hz e o valor mais baixo no teste 2-A – sem telemetria.

Tabela 5-1 – Resumo dos resultados obtidos.

Total de <i>frames</i> testadas	4695
% de <i>frames</i> não detetadas	3,41
% de falsos positivos	5,43
Média de Precisão do algoritmo (%)	91,16
Média de latência via cabo (s)	0,13
Média de latência via <i>wireless</i> (s)	0,291
Média da % de <i>frames</i> com latência até 0,03 s	89,62

## 6. CONCLUSÕES

Os resultados evidenciados nos testes em voo do sistema de vídeo independente provaram ser possível implementar o sistema, na medida em que foi possível controlar o UAV em todas as fases de voo – exceto na fase de aterragem, devido ao cariz experimental do teste – quer pelos *goggles*, quer através de um monitor. Todos os SP presentes na missão tiveram oportunidade de testar o equipamento, pelo que a habituação ao sistema foi relativamente rápida por todos. Relativamente aos *goggles*, alguns SP experienciaram dificuldades em observar os parâmetros de voo no OSD, devido à proximidade do ecrã aos olhos. De uma forma geral, a utilização do monitor como *display* foi a preferência dos SP, justificado por uma maior conforto no controlo do UAV, assim como uma melhor visualização do OSD.

Em relação ao OSD desenvolvido, obteve-se uma média de 30 FPS, com receção de *frames* de vídeo com resolução 640x480 e receção de telemetria de *Piccolo*. Com vista à observação do comportamento das *frames*, aumentou-se a frequência de telemetria (1, 2, 5, 10 e 25 Hz), tendo-se registado uma queda de 3 FPS para uma frequência de telemetria a 25 Hz, motivada por um aumento de tarefas a realizar pelo processador do computador utilizado.

Nos testes de latência para sistema de vídeo via cabo, a média de latência registada foi 0,13 segundos, com uma precisão de 87,72%. Por outro lado, no sistema de vídeo via *wireless*, a média de latência registada foi 0,29 segundos, com uma precisão de 94,42%. Em termos globais, a precisão do algoritmo de deteção e classificação de dígitos foi 91,16%, numa amostra de 4695 *frames*.

O SP poderá passar a voar dentro da GCS, sem estar submetido a voo VLOS, bem como às condições meteorológicas e ambientais, melhorando, desta forma, a segurança das operações UAS da FAP. Além disso, a comunicação de telemetria via rádio poderá ser eliminada, tendo em conta que o SP possui toda a informação, em tempo real, dos parâmetros do UAV, através do OSD disponibilizado pelo sistema independente e/ou dependente de AP. Relativamente à latência registada, conclui-se que é possível implementar um sistema de vídeo como auxiliar para voo manual.

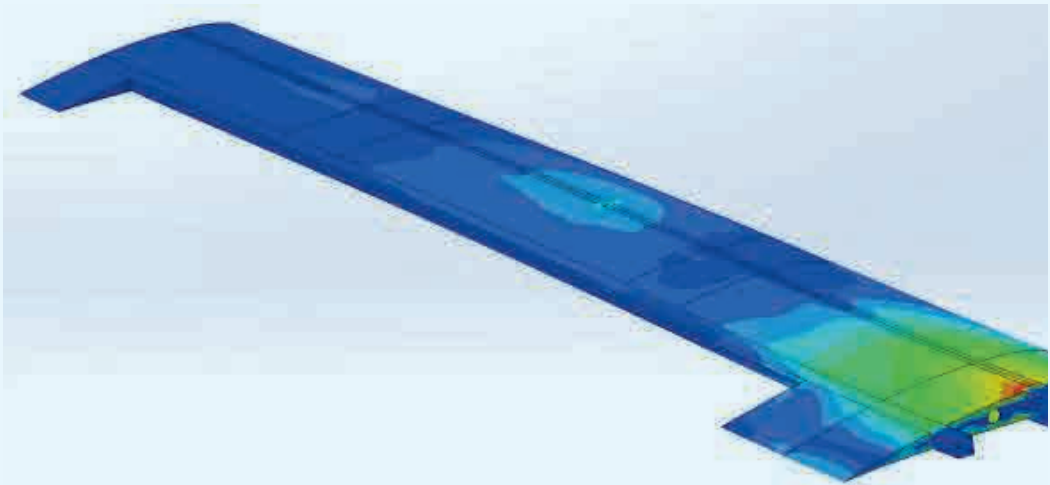
Todavia, é necessário ter em conta o acréscimo de componentes materiais, humanos e, consequentemente, financeiros, inerentes à aplicação deste sistema. Caso seja aplicado o OSD com telemetria de piloto automático, é indispensável a utilização de mais um computador e monitor na GCS, assim como a formação do SP, de modo a familiarizar-se com este novo subsistema.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Autoridade Aeronáutica Nacional. Circular nº 01/13, 23-09-2013, Acessível na Autoridade Aeronáutica Nacional, Lisboa, Portugal.
- [2] BARCHET, Alex et al. - **PCC User's Guide**. [S.l.]: UTC AerospaceSystems, 2012.
- [3] GREEN, Barry - **FPV Beginner's guide** [Em linha], atual. 2016. [Consult. 18 fev. 2017]. Disponível em WWW:<URL:http://www.propwashed.com/understanding-antennas/>.
- [4] HUNTER, John - Matplotlib: A 2D graphics environment. **Computing In Science & Engineering**, 2007.
- [5] LECUN, Yann - Gradient-Bases Learning Applied to Document Recognition. **Proceedings of the IEEE**. 1998.
- [6] MFA 500-12 - **Visão Estratégica para Sistemas de Aeronaves Não Tripuladas**. Estado-Maior da Força Aérea (EMFA), Divisão de Operações, 2013.

- [7] MOIR, Ian; SEABRIDGE, Allan; JUKES, Malcolm - **Civil Avionics System**. 2a ed. John Wiley & Sons, 2013. ISBN: 978-1-118-34180-3.
- [8] MORGADO, José; SOUSA, João - **O Programa de Investigação e Tecnologia em Veículos Aéreos Autónomos Não-Tripulados da Academia da Força Aérea**. Cadernos do IDN, nº.4. Instituto de Defesa Nacional, (2009).
- [9] PEDREGOSA, Fabian et al. - Scikit-learn: Machine Learning in Python. **Journal of Machine Learning Research**, 2011.
- [9] PULLI, Kari et al. - Real-time computer vision with OpenCV. **Communications of the ACM**.
- [10] QUIGLEY, Morgan *et al.* - **ROS: An open-source Robot Operating System**, 2009.
- [11] SHINNERS, Pete - **Pygame Game Development** [Em linha], atual. 2011. [Consult. 18 out. 2016]. Disponível em WWW:<URL:www.pygame.org>.
- [12] SZELISKI, Richard - **Computer Vision : Algorithms and Applications**. ISBN 1848829345.
- [13] TEAM, The GIMP - **GNU Image Manipulation Programm** [Em linha], atual. 2017. [Consult. 22 jan. 2016]. Disponível em WWW: <URL:www.gimp.org>.
- [14] TEIXEIRA, Paulo - **Proposta de implementação de sistema de vídeo e controlo para piloto de segurança de uas**. Sintra: Centro de Estudos Aeronáuticos, 2016. Trabalho de Projeto Individual.
- [15] EagleTree Systems, 2017 - Vector Multirotor / Fixed Wing Flight Controller + OSD User Guide Table of Contents.
- [16] VICENTE, João - **Sistemas de Aeronaves Não-Pilotadas: Contributos Para Uma Visão Estratégica**, 2011.
- [17] VICENTE, João et al. - **A Transformação do Poder Aeroespacial - Tendências internacionais e as operações expedicionárias da Força Aérea**. 1a ed. Porto: Fronteira do Caos, 2013. ISBN 978-989-8647-13-9.
- [18] WALT, Stéfan VAN DER et al. - scikit-image: image processing in Python. ISSN 2167-8359. 2, 2014.
- [19] ZELLE, John - **Python Programming: An Introduction to Computer Science**. 2a ed. Oregon, EUA: Franklin, Beedle & Associates INC., 2010. ISBN 978-1-59028-241.

# Design and Optimization of a Wing Structure for a UAS CLASS I 145 kg



**Autor:** João Jorge Miguel da Silva, Alferes Aluno do Mestrado Integrado em Aeronáutica Militar, na especialidade de Engenharia Aeronáutica  
Academia da Força Aérea, Sintra

**Orientador:** Professora Doutora Virgínia Isabel Monteiro Nabais Infante  
Instituto Superior Técnico, Lisboa

**Coorientador:** Diogo Xufre de Sousa Duarte, Major Engenheiro Aeronáutico  
Direção de Engenharia e Programas, Alfragide

**Abstract:** In the context of air power in a Global scale, unmanned aerial systems (UAS) arise as one of the most promising developments of the last years. The Portuguese Air Force (FAP) has been developing UAS since 2008 which, although having been developed for R&D purposes, have already seen operational use, achieving significant results both nationally and internationally. These results have motivated the intent of using these platforms as part of the Portuguese weapons convoy that ensures surveillance missions over the vast area under Portugal's jurisdiction. The intent to use unmanned aerial systems in operational contexts demands for a significant increase of their design assurance level and reliability. In fact, as the safety of the over flown people must be ensured at all times, the use of such platforms must not only be able to adequately respond to demanding operational requirements, but also, comply with airworthiness requirements.

This work contributes to that intent by designing and optimizing the structure of the wing of a UAS with a maximum take-off weight of 145 kg (CLASS I), to be used for surveillance purposes. The work involved determining the loads acting on the structure, planning its general shape and components layout, choosing materials (composites), and then, shaping, sizing and optimizing it, for weight, strength and stiffness. In the optimization process, consideration was given to material cost and also to manufacture complexity. 3D geometric models were produced and structural numerical analyses were performed using finite element analysis - FEA. The optimization process used was based on a "chain top-down approach", which although simple, proved to be robust and effective. In order to account for the variability of the composite material properties introduced by the production techniques used, the material properties used in the FEA were determined experimentally by manufacturing and testing production samples. The resultant structure complied with every structural, weight and operational requirement, and showed to be simple and easy to build at an affordable manufacturing cost.

**Keywords:** Air power, FAP, UAS CLASS I, wing structural design, structural optimization, composites.

## 1. INTRODUCTION

Portugal has search and rescue (SAR) responsibilities over almost 6 million km<sup>2</sup> (square kilometers) of airspace from which 98% are over water (including interior waters, territorial sea and the Economic Exclusive Zone (EEZ)) [1] [2] [3] [4] [5], which makes Portugal the country holding the vastest water jurisdiction area in the European Union (EU), and the second vastest in the world [1] [2] [3] [6] [7] [8]. All of this areas require aerial presence either in the form of surveillance or patrol to ensure that the country's rights and duties are enforced and no illegal activities are performed. Also, monitoring is crucial to ensure border control and, therefore, the security and sovereignty of the Nation [4]. The size, importance and mandatory nature of these missions, requires the existence of means/equipment/platforms (aerial, maritime and ground), that can act in an integrated manner.

The Portuguese Air Force (FAP) has been developing UASs since 2008 under a project of Research, Development and Innovation (RD&I) called PITVANT (Project of Technological Investigation in Unmanned Aerial Vehicles) which have seen successful operational use, both nationally and internationally. However, service life of those platforms is ending due to limitations of its operational use and also due to the lack of a solid structural design which makes those platforms unsuitable for certification.

Due to the need for a new platform capable of fulfilling all the operational and airworthiness requisites of Search and Surveillance missions over the vast area under Portugal's jurisdiction, the present work aims to answer that need by designing and optimizing the structure of the wing of a new operational UAS, being developed, with a maximum take-off weight of 145 kg (CLASS I).

The design project had to fulfill the following structural, mass and operational requirements: Symmetric positive limit maneuvering load factor  $\geq 3.8$  and symmetric negative limit maneuvering load factor  $\leq -1.5$ ; high wing stiffness - wing tip displacement  $\leq 5\%$  of the wing's half span; wing mass  $\leq 26.2$  [kg]; each half-wing capable of carrying an external suspended payload up to 10 [kg]; wing structure capable of being certifiable in terms of airworthiness.

The structural optimization process was conducted towards weight minimization and reduction of manufacturing costs.

The following conditions / restrictions were imposed to the project: wing's external geometry established by the UAVision preliminary designs; use the materials available at the FAP; wing had to allow for the internal routing of electric cables for the various electronic equipment and for the wing-tip lights; wing had to allow for the installation of "servo-motors" to control the ailerons and flaps; wing had to allow for the installation of wing-tips / winglets.

The totality of the work involved determining the loads acting on the structure (definition of the aircraft's flight envelope and identification of the wing's critical loading condition), planning the general shape and components layout, choosing materials (composites – manufacturing of specimens and experimental testing to obtain their properties), and then, shaping, sizing and optimizing its many components to give every part just enough strength without excess weight and also to reduce costs.

## 2. IMPLEMENTATION

### 2.1. Geometric Parameters Definition

The first step towards the wing's structural design consisted in obtaining a 3D model which was accomplished by using the modeling capabilities of the software *SolidWorks 2016 x64 Edition* (SW), the geometric information provided by the UAVision's preliminary design document [9] and additional airfoil geometric data from [10]. It allowed to better understand the wing's geometry, at to establish the structure's outer limits. See Figure 1.

When modeling the wing's surfaces, 3 [mm] gaps were created in-between the control surfaces (Flap and Aileron) and, between them and the main wing surface, to allow for their relative movement. Also, a specifically dimensioned gap was left between the main wing bottom surface and bottom leading edge surfaces of both the Flap and Aileron, to allow for their maximum deflections.



Figure 1 - Wing's surface geometry (2D shells): a) Half-wing top view; Half-wing side view (root).

### 2.2. Forces Acting on the Wing

#### 2.2.1. Combined Flight Envelope

The next step towards the structural design consisted in determining the aircraft's Flight Envelope which is a graph (diagram) that maps the possible combinations of maximum and minimum values of Speed (Equivalent Airspeed (EAS),  $V_E$ ) vs Load Factor ( $n = \frac{L}{W}$ ) that an aircraft can experience during flight. Within

this “envelope” the aircraft can operate without suffering any structural damage. This envelope results from the superposition of the *maneuvering envelope* (V-n diagram) and the *gust envelope* (V-g diagram). See Figure 2.

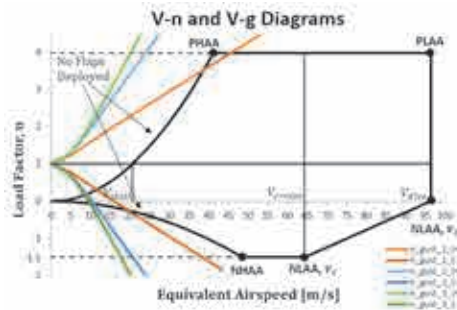


Figure 2 – Superposition of V-n and V-g diagrams.

Both the V-n and V-g were obtained for *sea level conditions* since aerodynamic forces typically have their maximum magnitudes when the aircraft is maneuvering at low altitude [11].

Because of the small mass of the aircraft (Maximum Take-off Weight (MTOW) of 145 Kg), the standard gust values of 25, 50 and 66 [ft. /s] or 7.62, 15.24, 20.12 [m/s] result in large values of load factor that greatly surpass the maneuver envelope and, therefore, don't allow for a typical combination of both diagrams. The solution was to discard the influence of the wing gusts (V-g) and consider that the flight envelope of the aircraft corresponds to the maneuvering envelope (V-n), only.

### 2.2.2. Wing Critical Loading Condition

Because the design of an aircraft structure is based on the largest expected load that it can endure, the Flight Envelope (V-n) was used to determine the wing's critical loading condition (during flight). That condition was identified as corresponding to the Positive Low Angle of Attack (PLAA) point, which corresponds to a situation in which the aircraft is performing a symmetric maneuver at maximum design / dive speed ( $\rightarrow V_s = 96.42 \left[ \frac{m}{s} \right]$ ) and reaching its limit load factor,  $n_{limit} = 4$ . See Figure 2 and 3.

For this aircraft, considering its main mission type (surveillance – far from acrobatic), the most probable flight maneuver and attitude, correspondent to that situation, was identified as being a “dive” followed by a “pull-up” maneuver and with the aircraft on a horizontal trajectory. See Figure 4.

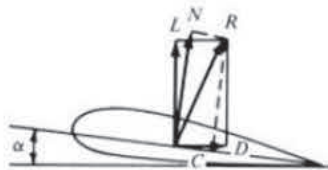


Figure 3 - Aerodynamic Force Resultants on an airfoil for the Positive Low Angle of Attack (PLAA) condition. Forces applied at the airfoil's *center of pressure* (C or CP) [12].



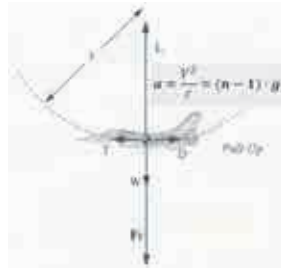


Figure 4 – “Pull-up” maneuver. Equivalent set of Static Conditions for the Accelerated Motion that is the maneuver. Forces acting on the aircraft’s center of gravity: Lift (L); Weight (W); Inertial Force (Fi); Thrust (T); Drag (D); radius (r); velocity (V); acceleration (a); load factor (n); Earth’s gravity acceleration (g).

According to the certification specifications [13], when designing an aircraft structure, the effect of the force resultant acting on the structure in each direction, should be studied separately.

Therefore, considering the objective of this work, the wing structure was designed to withstand the critical force resultant in the critical direction and no other forces resultants were considered simultaneously. The critical loading direction was identified as being the one perpendicular to the wing (y direction - wing coordinate system, see Figure 1). In that direction, the critical forces acting on the wing – in a static condition – were Lift, the wing’s Weight and the wing’s Inertial forces and the root forces resultant from the wing-to-fuselage attachment. The critical force resultant was given by:

$$\Sigma F_{\text{perpendicular half-wing}} \approx \frac{L_{\text{wing}}}{2} - (W_{\text{half-wing}} + F_{\text{inertial}}) \cdot \cos(\alpha) \cdot \cos(\Gamma) + F_{\text{root-cantilever}}$$

Where  $\alpha$  is the wing angle of attack and  $\Gamma$  is the wing’s positive dihedral angle.

Further discretization and description of these forces and of their distributions, placement and associated moments was needed before any structural simulation could be run.

### Lift

Using the SCHRENK’s method a conservative estimation for the lift distribution along the wing span (z direction) was obtained, see Figure 5:

$$\bar{l}_{\text{halfwing}}(z) = \frac{1}{2} \cdot \left[ \frac{2 \cdot L_{\text{wing}}}{b \cdot (1 + \lambda)} \cdot \left[ 1 - \frac{2 \cdot z}{b} \cdot (1 - \lambda) \right] + \frac{4 \cdot L_{\text{wing}}}{\pi \cdot b} \sqrt{1 - \left( \frac{2 \cdot z}{b} \right)^2} \right]$$

Where  $b$  is the length of the wing span,  $\lambda$  is the wing taper ratio and,

$$L_{\text{wing}} \approx n_{\text{design}} \cdot W_{\text{aircraft}} = n_{\text{design}} \cdot MTOW \cdot g$$

Where  $g$  is the Earth’s gravity acceleration for sea level conditions and,

$$n_{\text{design}} = SF_{\text{loads}} \cdot n_{\text{limit}} = SF_{\text{loads standard}} \cdot SF_{\text{loads composites}} \cdot n_{\text{limit}}$$

Where the  $SF_{\text{loads}}$  is the *load safety factor* which, in this case, is comprised by:  $SF_{\text{loads standard}} = 1.5$  ( $\approx 1.5$  is the standard for the aircraft industry for structures whose failure would lead to a Hazardous or more serious failure condition [14]), and by the  $SF_{\text{loads standard}} = 1.5$  ( $\approx 1.5$  applied for composite structures where specimen were tested with no specific allowance for moisture and temperature [14]).

The total lift value was equally obtained either from the integration of (2) or the division of (3) by 2.

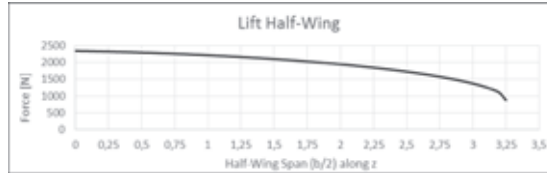


Figure 5 – Lift distribution for half-wing.

Lift forces acting on the center of pressure (CP) are usually replaced by lift at the aerodynamic center (AC) plus a constant pitching moment  $M_0$ , also called  $M_{ac}$  or  $M_{0.25c}$  since the AC is normally located at about 0.25 of the airfoil's chord (measured from the leading edge) [11]. However, for simulation purposes, Lift was applied to the structure along the caps of the main spar, which were located at  $0.28 \cdot chord_{local}$ . Therefore, the associated wing pitching moment ( $M_{0.28c}$ ) also had to be determined.

### Wing Pitching Moment

Taking into consideration the linear twist and taper of the wing, the pitching moment distribution along the wing span (z direction) was obtained:

$$\llbracket M_{(0.28 \cdot c)} \rrbracket_{(half\_wing)}(z) = -1/2 \cdot [(2 \cdot L_{wing}) / (b \cdot (1 + \lambda))] \cdot [1 - (2 \cdot z) / b \cdot (1 - \lambda)] + (4 \cdot L_{win}$$

, with  $0 \leq z \leq \frac{b}{2}$

Where  $\alpha_{twist}$  is the wing's twist angle at the root,  $\alpha_{tip}$  is the angle of attack at the tip of the wing,  $d_{root}$  and  $d_{tip}$  are the distance between CP and AC measured along the airfoil's chord at the root and at the tip of the wing, respectively,  $c_{root}$  and  $c_{tip}$  are the chord of the airfoil at the root and at the tip of the wing, respectively.

The total pitching moment value was obtained from the integration of (5).

### Weight and Inertial Forces

#### Wing Structure

Because, for the critical flight condition (Figure 5), the weight and the inertial force had coincident force vectors, a *total body force* (BF) was used instead:

$$W_{wing\_structure} = g \cdot m_{wing\_structure} \quad (6)$$

$$F_{inertial\_wing\_structure} = (n - 1) \cdot g \cdot m_{wing\_structure} \quad (7)$$

$$BF_{half\_wing} = n_{design} \cdot \frac{W_{wing\_structure}}{2} \quad (8)$$

The wing's initial mass was established to be the UAVision's estimated value of 26.2 [kg] since one of the objectives of this work was to lower the structural weight of the conceptual design, thus making this a conservative assumption.

Assuming that the wing, which had a trapezoidal geometry and constant taper and twist, also had an initial structure where components had constant thickness and were equally spaced along the wing span, the following body force (BF) distribution was obtained:

$$BF_{half-wing} \approx \frac{n \cdot 2 \cdot W_{wing}}{b \cdot (1 + \lambda)} \cdot \left[ 1 - \frac{2 \cdot z}{b} \cdot (1 - \lambda) \right] \quad (8)$$

, with  $0 \leq z \leq \frac{b}{2}$

### Additional Masses

Additional masses were attached to the wing structure and consisted of: a suspended payload pod and the two servo motors needed to actuate the ailerons and flaps (one for each). Their masses were 10, 0.2 and 0.2 [kg], respectively. The payload mass was imposed by operational requirements. The servo motors' mass was estimated based on the size of the wing  $5 \frac{[\text{kg}]}{[\text{mm}]}$  required to actuate its aerodynamic surfaces. From statistical data, servos with a force of  $5 \frac{[\text{kg}]}{[\text{mm}]}$  have a mass  $< 0.2 [\text{kg}]$ . The motors' mass approximation was therefore conservative.

These masses translated into weight and inertial force and, because the application points and force vectors were coincident (for each body), the resulting body forces were given by:

$$BF_{payload} = n_{design} \cdot W_{payload} \quad (9)$$

$$BF_{motor_1} = n_{design} \cdot W_{motor_1} \quad (10)$$

$$BF_{motor_2} = n_{design} \cdot W_{motor_2} \quad (11)$$

## 2.3. Wing Structural Design

Before any structural design, it is a good practice to define which materials may be used because materials influence the design and the design influences how and what materials can be used.

### 2.3.1. Materials Selection

Nowadays, aircraft designers have a variety of high performance materials to choose from. Wanting to minimize the weight of the structure while still being able to maintain a high structural strength and stiffness, the materials chosen were carbon fiber laminate composites since they are the type of material with the best structural efficiency (best strength-to-weight ratio  $\frac{\sigma_w}{\rho \cdot g}$  and best stiffness-to-weight ratio  $\frac{E}{\rho \cdot g}$ ) [11]. Furthermore, knowing that the aircraft is expected to operate in a high salinity environment (maritime surveillance), the use of composite materials is also ideal due to their non-metallic nature which translates into the avoidance of corrosion problems.

As mentioned before, one of the limitations this work was to use the materials available at the FAP. From the materials available, the following were selected to be used in the structure:

- Bidirectional Carbon Fiber, 3K, High Strength (HS),  $160 \frac{[\text{gr}]}{[\text{m}^2]}$ , P (plain weave);
- Unidirectional Carbon Fiber, 3K, HS,  $215 \frac{[\text{gr}]}{[\text{m}^2]}$ , 15 [cm] tape;
- Epoxy Resin: SR 1500 + Hardener: Sicomin SD 2505 (100 [g] Epoxy - 33 [g] Hardener );
- Airex C70.75, thickness 3 [mm], (isotropic material);
- Kevlar 49, 195 denier, bidirectional, plain weave.

Many combinations of laminate composite materials could have been obtained from the materials selected, each one, with unique mechanical properties. In order to simplify the design process, and create a starting point for future material optimization studies, all the laminates created had all their plies oriented in the same direction (0°). Also, the percentages of resin and hardener as well as the curing conditions

were kept the same for all materials: 100 [g] Epoxy - 33 [g] Hardener, 20°C Cure, dry heat air conditioning, -0.5 [bar] vacuum, 24H duration.

Furthermore, in order to obtain a perception of how the physical characteristics of a composite change with the number of plies (thickness), different configurations were created. This was a crucial step because it allowed to understand the limitations of the materials in terms of their minimal thickness possible and associated porosity and permeability. These notions were essential for the translation of the theoretical project into a feasible one.

According to the information provided above, the following composite materials were manufactured using the hand-lay-up method:

- Epoxy + Bi Carbon Fiber (Bi CF):  $[C_1^{0^\circ}]$ ;  $[C_2^{0^\circ}]$ ;  $[C_4^{0^\circ}]$ ;  $[C_{10}^{0^\circ}]$ ;  $[C_{11}^{0^\circ}]$ ;  $[C_{12}^{0^\circ}]$ ;  $[C_{13}^{0^\circ}]$ ;  $[C_{14}^{0^\circ}]$ ;
- Epoxy + Uni Carbon Fiber (Uni CF):  $[C_1^{0^\circ}]$ ;  $[C_2^{0^\circ}]$ ;  $[C_9^{0^\circ}]$ ;  $[C_{10}^{0^\circ}]$ ;  $[C_{11}^{0^\circ}]$ ;  $[C_{12}^{0^\circ}]$ ;
- Epoxy + Bi Carbon Fiber + Airex:  $\begin{bmatrix} C_1^{0^\circ} \\ A_1 \\ C_1^{0^\circ} \end{bmatrix}$ ;
- Epoxy + Airex:  $[A_1]$ ;
- Epoxy + Kevlar:  $[K_2^{0^\circ}]$ ;
- Epoxy + Bi Carbon Fiber + Kevlar:  $\begin{bmatrix} C_1^{0^\circ} \\ K_2^{0^\circ} \\ C_1^{0^\circ} \end{bmatrix}$ ;

Their relevant properties, for structural analysis purposes, were determined using experimental procedures, conducted in accordance with regulations from the American Society for Testing Materials (ASTM). All the necessary properties that could not be obtained via experimental means were obtained from statistical data [15] or, as a last resort, using theoretical methods (*rule of mixtures* for the unidirectional carbon fiber composites and, formulas from [16], for the bidirectional composites). For the foam, the properties that could not be obtained via experimental means were obtained from the manufacturer [17]. The cost of each material was also determined.

All the experimentally obtained values were found to be in accordance with theoretical and statistical data.

### 2.3.2. Initial Design

An initial wing structure was idealized in order to meet all the aircraft's structural and operational requirements.

Because Flaps and Ailerons have a minimal contribution to the wing's overall capability to withstand maximum loads, they were considered not to be part of the wing structure. Their individual structures would be addressed later on. The non-inclusion of these trailing edge devices was a conservative approximation because their inclusion would further, slightly, increase the wing structural rigidity and decrease the maximum stresses. Although this devices were not part of the designed structure, their forces and moments were still present and applied to the wing structure since they influence the forces determined in section 2.2.2.

For the half-wing without the aileron or the flap, the components that made up the structure, as well as their respective locations, were defined as follows:

- **Skin:** Plain geometry; Constant thickness throughout the span;
- **1<sup>st</sup> Spar:** Located at where the airfoil is thickest (in this case  $0.28 \cdot c(z)$ ) in order to maximize the

Spar's *area moment of inertia* ( $I$ ) and consequently maximize its effectiveness to resist bending loads; Along the full length of the wing plus a root extension for attachment purposes (wing to fuselage); Constant thickness; Constituted by 2 Caps and 5 Webs: Caps in permanent contact with the skin; Webs kept in a vertical position throughout the span and unequally spaced: 1 at the middle, 1 at 1/3 and 1 at 2/3 of the Caps' width;

**2<sup>nd</sup> Spar:** Located near to the hinge axis of the trailing edge devices (flap and aileron); Along the full length of the wing plus a root extension for attachment purposes (wing to fuselage); Constant thickness; Constituted by 2 Caps and 2 Webs arranged in a "box" configuration (quadrangular cross-section): Caps in permanent contact with the skin; Webs kept in a vertical position throughout the span.

**9 Ribs:** Plain geometry; All with the same thickness; Placed at the following locations: Wing root; Wing tip; Payload location; Motor 1 attachment area inner border and outer border; Motor 2 attachment area inner border and outer border; and another two Ribs to close skin gaps.

**Additional design features:**

**Holes:** Holes were made on the skin and ribs. A "laminare drilling damage factor for bidirectional composites" of  $\frac{5}{3}$  was established and used thus, the holes were designed as having a diameter equal to the damage (delamination) diameter instead of their true diameter.

Ribs:

- 2 holes per Rib were drilled in order to allow for the passage of electrical wires, also being useful for water drainage or internal structural inspection.

Skin:

- 12 holes were drilled in the payload attachment area to allow for the bolted connection; 8 holes were drilled in each of the servo motors attachment areas to allow for bolted connections;

**Cut-outs:** "Cut-outs" can be created by either cutting away material or by not adding material to that area during a component's construction (in the case of composite laminate materials).

Skin:

- Two cut-outs were created in the center of both servo motors attachment areas (on the Skin). These were dimensioned to be large enough to allow for the servo motor to pass through the opening and to be installed inside the wing. Due to the quadrangular geometry of the cut-outs, their vertices were rounded in order to minimize maximum stresses on the edges of the openings. The best corner radius was determined from [18].

**Attachment Areas:** In order to comply with regulation's specifications, the attachment areas of both the payload and the servo motors were dimensioned so that the distance from their border to any hole border would always be larger than the hole true diameter.

From the parameters defined above, the *wing structure initial model* was represented by modeling its components as 2D shells, Figure 6:



a)



b)

Figure 6 - Wing structure initial model: a) Bottom view of the external surface (skin) with holes and cut-outs for the payload and servo motors; b) Wing internal structure: two Spars and nine Ribs.

## 2.4. Wing Structural Analysis and Optimization

For purposes of structural analysis, it was decided to use a finite element analysis (FEA). In order to save computation time, the *wing structure initial model* was simplified. This simplification also served the purpose of creating an initial structure as simple as possible for the purpose of establishing a starting point for the subsequent step-by-step logical optimization of each structural component.

For both the FEA and the modelation of the various geometric configurations, the software SolidWorks 2016 (SW) was used.

### 2.4.1. Geometric Model Simplification

The simplifications performed were the following: suppression of holes and cut-outs in the skin, suppression of holes and cut outs in the ribs, suppression of the root extensions. See Figure 7.



Figure 7 - Simplified Initial Model.

Another simplification which greatly contributed to the reduction of the simulation time was to maintain the model designed as 2D shells instead of 3D which is an approximation that can be performed for structures

which components are made up of thin sheets of material (as was this case). This approximation was found to be conservative in terms of the maximum stress value.

**Material Attribution**

In order for the *Simplified Initial Model* to become the starting point for the optimization process, a single material and a single thickness were attributed to all the 2D shells that made up the structure (Epoxy + Bi CF  $[C_{10}^{0^\circ}]$  and thickness of 1.9 [mm]), see Figure 8.

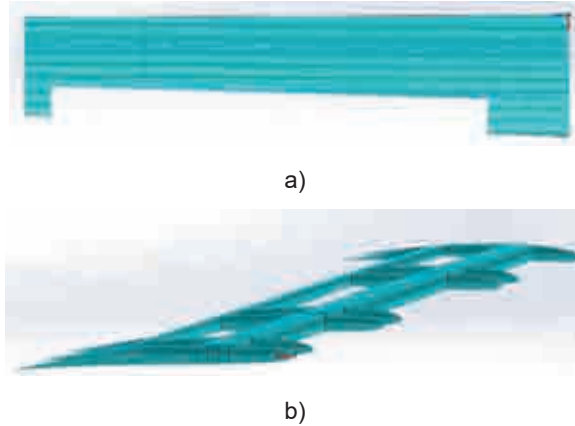


Figure 8 - Material 0° Direction: a) Simplified model: Skin and Caps; b) Simplified model: Ribs and Webs.

Regarding the thickness, most 2D shells (surfaces) did not have their thickness symmetrically attributed since those were not “mid-plane” surfaces but rather “top” or “bottom” surfaces.

**Mesh Definition and Mapping**

All the surfaces were discretized in FE of the type “triangular” with a “standard mesh” and the option “Draft Quality Mesh” was selected. Also an initial value for the “Global FE size” and “Tolerance” were selected, see Figure 9.

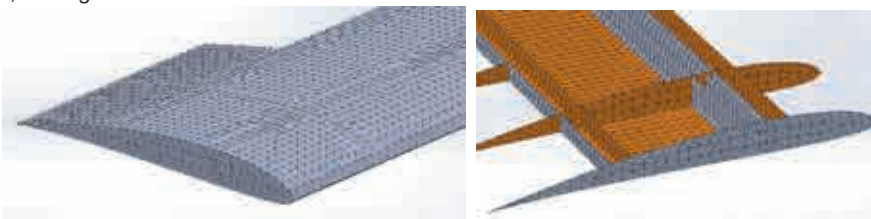


Figure 9 - Various components' meshes and respective nodes coincidence: a) Detail: coincidence between Skin and Rib nodes; b) Detail: coincidence of multiple nodes belonging to: Skin, Spars, Ribs, payload attachment area.

After meshes had all been attributed, they were checked using the command “Render shell thickness in 3D”, allowing to check the mesh quality and also, if the thicknesses that been properly attributed, see Figure 10.

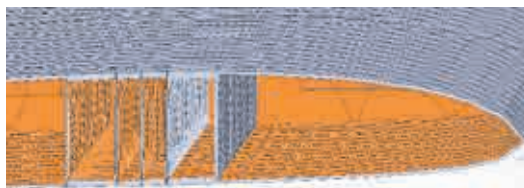


Figure 10 – Components thicknesses.

### 2.4.4. Boundary Conditions

The structure was placed under a cantilever boundary condition as follows (see Figure 11):

The root edges of the both Spars were “fixed”- no rotation and no displacement - in order to simulate the wing attachment to the fuselage (usually to a bulkhead mounted on the interior of the fuselage);

The outer surface of the Rib at the root ( $z = 0$ ) was put under a “roller-slider” condition in order to simulate the sliding contact between the Rib at the root and the fuselage skin.

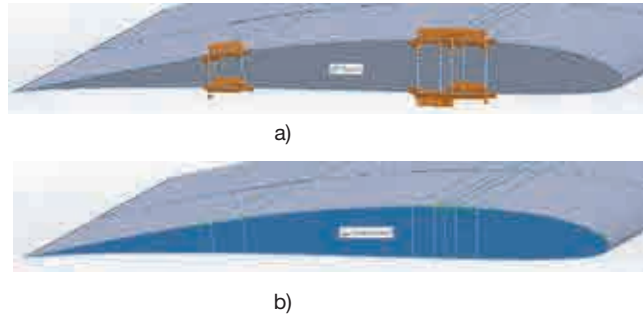


Figure 11 – Cantilever boundary condition.

### 2.4.5. Forces and Moments

The force  $F_{root-cantilever}$  was applied to the structure via the cantilever boundary condition applied to the root of the wing. The aerodynamic loads, pitching moment, inertial loads and weight, were applied to the structure as follows (see Figure 12):

The Lift distribution function was applied on both caps of the 1<sup>st</sup> Spar in the positive y direction;

The Pitching Moment distribution function was applied on both caps of the 1<sup>st</sup> Spar, using the 1<sup>st</sup> Spar axis as the reference torsional axis.

The Payload Body Force was applied to its delimited “attachment area” on the skin in the negative y direction.

The Motor\_1 and Motor\_2 Body Forces were applied to their delimited “attachment area” on the skin in the negative y direction.

Because the SW allows to apply an acceleration to a structure under analysis, the previously determined wing structure’s Body Force was replaced by an acceleration in the negative y direction given by:

$$a_y = n_{design} \cdot g \cdot \cos(\alpha) \cdot \cos(\Gamma) \quad (9)$$

Where  $\alpha$  is the wing’s angle of attack and  $\Gamma$  is the wing’s dihedral angle.



Figure 12 - Forces and Moments applied on the structure: a) Lift; b) Pitching Moment; c) Payload Body Forces; d) Motor 1 or 2 Body Forces; e) Structure’s Acceleration.



### Analysis (FEA)

A structural analysis of the type “Static” was performed and the outputs “Von Mises Stress” and “Displacement” were selected. From these, the maximum stress and maximum displacement were recorded.

The next step consisted in the convergence analysis of the finite elements (FE) size, resulting in the selection of a value that allowed for good meshing and acceptable computational times while ensuring the existence of convergence in the simulation outputs.

Applying the new FE size and tolerance a new simulation was run for the *Simplified Initial Model* and the values of maximum Von-Mises stress and Displacement were recorded. See Figure 13.

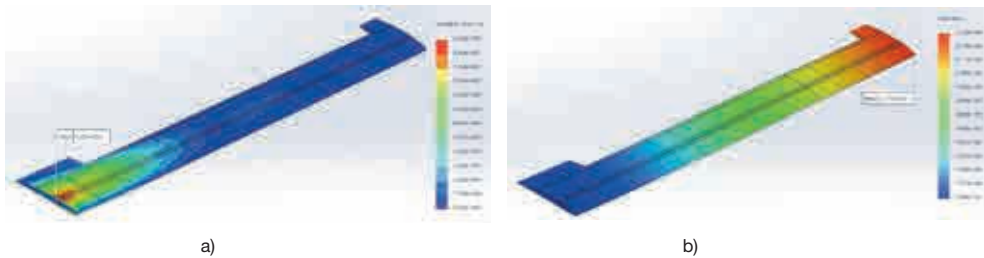


Figure 13 – a) Von Mises Stresses across all plies with maximum Stress localized at the wing root; b) Wing Displacement with maximum Displacement localized at the wing tip.

At this point, the mass of the structure was also estimated / calculated in a conservative manner, based on the total surface area, the attributed thicknesses and the material density.

Comparing the obtained values with the structural and mass requirements set for the wing, it was concluded that the *Simplified Initial Model* satisfied all the structural requirements in terms of strength and rigidity however, in terms of weight, knowing that the UAVision’s estimation for the half-wing total weight also included the flap and the aileron, the final weight of the present half-wing model would be higher than the target value. Therefore, in order to significantly reduce the mass of the structure while guaranteeing the fulfillment of the structural requirements, an optimization process was undertaken.

### 2.4.7. Structural Optimization

A “chain top-down” approach was created and used in order to optimize the structure by individually optimizing each component in the following order (from first to last): Skin, 1st Spar, 2nd Spar, Ribs. This chain top-down approach could be described as a “hierarchic decomposition method” and it was inspired by the logic behind the “topological optimization method” - which uses stress lines as the guides for the shape optimization of a given material volume. The optimization process consisted of four main steps:

#### Step 1:

Definition of the best cross-section geometric configuration for each component, which minimized the structure’s maximum stress ( $\sigma_{max}$ ).

Restrictions:

- Components’ locations maintained;
- Components with constant thickness throughout the span;
- Components’ mass kept constant.

#### Step 2:

Definition of each component’s mass relevance for the minimization of the  $\sigma_{max}$ .

**Step 3:**

- Redistribution and minimization of the total mass of the structure. Restrictions:
- Fulfillment of the structural requirements;
- Feasibility of manufacturing – one of the factors being the material's minimum possible thickness.

**Step 4:**

- Reintroduction of the Skin holes and cut-outs and dimensioning of their reinforcements;
- Study of the possibility of replacing materials in order to further reduce the structure's total mass;
- Reintroduction of the root extension.

At the end of Step 4 a successfully optimized structure was obtained. Figure 14 shows the FEA analysis results for that *Final Geometric Configuration*.

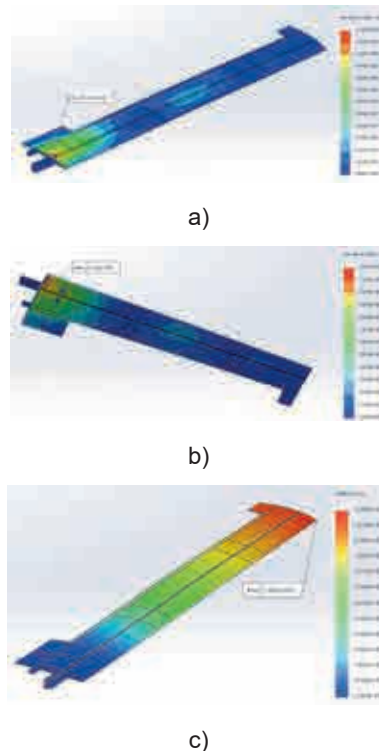


Figure 14 - a) and b) Von Mises Stresses across all plies with maximum Stress localized at the wing root; c) Wing Displacement with maximum Displacement localized at the wing tip.

## 2.5. Wing Final Design including Flaps and Ailerons

The wing structure final design corresponded to the final geometric configuration resultant from the optimization process. Nevertheless, there was the need to obtain a Complete Wing Geometric Configuration, which included the Flaps and the Ailerons, in order to properly estimate the full weight of the wing, thus allowing to assess if it already complied with the weight requirement ( $< 26.2$  [kg]), and to estimate the final construction cost of the complete wing.

### 2.5.1. Complete Wing and Weight and Cost Estimation

In order to obtain a complete wing geometric configuration, the Flaps and Ailerons structures were

defined based on the premise that they could be considered “scaled down wings” therefore, their structures were defined as being constituted by: Skin, one Spar and three Ribs, although no structural study was performed for none of them.

The Flaps and Ailerons component’s design, thickness and positioning were proposed based on their predictable manufacturing process resulting in the following:

- Ribs: same thickness and lamination as the Ribs of the main structure; one placed at the mid-span and one at each end;
- Spar: with the same shape and lamination configuration as the 2<sup>nd</sup> Spar; placed at the Flap or Aileron “leading-edge”;
- Skin: Same thickness and lamination as the Skin of the main structure.

The hinged connection between the ailerons and flaps and the main wing structure was designed to be made out of two plies of Kevlar 49.

For the assembly of the whole wing, a quantity of Epoxy, equivalent to a ply with a thickness of 0.1 [mm], was estimated (based on the manufacture experience gained from the production of the material’s specimens) to be necessary in order to connect the various components.

Adding up the mass contributions of all the wing’s components (Skin, Spars and Ribs) and connection agents (Epoxy 0.1 [mm] “ply”), not one but three possible final mass values were obtained for the wing. Those depended on the type of resin impregnation method chosen to be used during the manufacturing process of the Skin - sandwich composite laminate with foam core - which would directly affect the amount of resin “trapped” in the foam (Airex C70.75) porous surface.

For each one of those three methods – use of “store bought” Prepreg, Pre-impregnation by hand-lay-up and No Pre-impregnation - three different manufacturing costs (based solely on material costs) were determined.

### 2.5.2. Wing Final Design, Characteristics Summary

The final wing structure satisfied all structural, mass and operational requirements imposed:

- Capable of enduring: 4 and -1.5 G’s;

$\sigma_{max} = 133.3 \text{ [MPa]}$  < 570.0 [MPa] - Ultimate (and yield) compressive strength in x (0°) of the material Epoxy + Bi CF  $[C_{10}^{0^\circ}]$ ;

< 1.45 [MPa] – Airex C70.75 compressive strength. Also,  $\sigma_{average \text{ foamplyies}} \approx 0.15 \text{ [MPa]}$ ;

$d_{max} = 100.8 \text{ [mm]}$  < 162.5 [mm] - Structural stiffness requirement stated that the wing tip displacement should be inferior to 5% of the wing’s half span (3250 [mm]);

$mass_{wing} = 18.07 / 21.464 / 24.86 < 26.2 \text{ [kg]}$  - UAVision’s weight estimation for the full wing.

- Each half-wing capable of carrying up to 10 [kg] of suspended payload;
- Materials used (composite materials) capable of enduring high salinity environments without suffering corrosion problems;
- Long service life expected due to the large margin between the working stress and the maximum (design) stress.

How much the initial predicted mass of 26.2 [kg] was reduced, depended on the impregnation method used on the Skin: 31% (Prepreg); 18% (Pre-impregnation by hand-lay-up) or 5% (Hand-lay-up).

The lowest manufacturing cost, based solely on material costs, corresponded to the Pre-impregnation: 2x 1107.12€, followed by the Hand-lay-up: 2x 1315.70€, and the highest, to the use of Prepregs: 2x 1451.68€. Despite the higher manufacturing cost, the use of Prepregs on the Skin would be ideal since it significantly

reduced the total mass of the wing, in comparison to any other methods, therefore significantly reducing operational costs and increasing the aircraft's operational capabilities.

All the materials needed for the manufacture  $\left[ \frac{gr}{m^2} \right]$  the wing would be:

Bidirectional Carbon Fiber, 3K, HS, 160  $\left[ \frac{gr}{m^2} \right]$ , (plain weave) ("normal" hand-lay-up impregnation) ( $C_n^{n^{\circ}}$ ). Quantity:  $\approx 32.32 [m^2]$  (if no Pre-impregnation or Prepreg is used);  $\approx 23.77 [m^2]$  (if Pre-impregnation or Prepreg is used);

Bidirectional Carbon Fiber Pre-impregnated or Equivalent Prepreg material ( $Cp_n^{n^{\circ}}$ ). Quantity:  $8.55 [m^2]$ ;

Epoxy Resin: SR 1500 + Hardener: Sicomin SD 2505 (100 [g] Epoxy - 33 [g] Hardener). Quantity:  $\approx 2.750$  [kg] (if Prepreg is used);  $\approx 5.740$  [kg] (if no Pre-impregnation is used);  $\approx 7.776$  [kg] (if normal hand-lay-up method is used);

Airex C70.75, thickness 3 [mm], (isotropic material) ( $A_n$ ). Quantity:  $\approx 3.40 [m^2]$ ;

Kevlar 49, 195 denier, bidirectional, plain weave ( $K_n^{n^{\circ}}$ ). Quantity:  $\approx 0.177 [m^2]$ .

From these materials the configurations created for each component would be the following:

#### Skin:

Areas over the spars' caps:  $[C_2^{0^{\circ}}]$  or  $[Cp_2^{0^{\circ}}]$   $[C_2^{0^{\circ}}]$  or  $[Cp_2^{0^{\circ}}]$  - 0.38 [mm];

"Attachment areas" of the servo motors:  $[C_{16}^{0^{\circ}}]$  or  $\left[ \frac{Cp_1^{0^{\circ}}}{C_{16}^{0^{\circ}}} \right]$   $[C_{16}^{0^{\circ}}]$  or  $\left[ \frac{Cp_1^{0^{\circ}}}{C_{16}^{0^{\circ}}} \right]$  - 3.42 [mm];

Kevlar hinged connection:  $\left[ \frac{C_1^{0^{\circ}}}{K_2^{0^{\circ}}} \right]$  or  $\left[ \frac{Cp_1^{0^{\circ}}}{K_2^{0^{\circ}}} \right]$  - 0.64 [mm] and  $\left[ \frac{C_1^{0^{\circ}}}{K_1^{0^{\circ}}} \right]$  or  $\left[ \frac{Cp_1^{0^{\circ}}}{K_1^{0^{\circ}}} \right]$  - 3.64 [mm];

All other skin areas:  $\left[ \frac{C_1^{0^{\circ}}}{A_1} \right]$  or  $\left[ \frac{Cp_1^{0^{\circ}}}{A_1} \right]$  - 3.38 [mm].

#### 1<sup>st</sup> Spar:

Caps:  $[C_{27}^{0^{\circ}}]$  - 5.13 [mm]; Webs:  $[C_8^{0^{\circ}}]$  - 1.52 [mm].

#### 2<sup>nd</sup> Spar:

Caps:  $[C_8^{0^{\circ}}]$  - 1.52 [mm]; Webs:  $[C_7^{0^{\circ}}]$  - 1.33 [mm].

#### Ribs:

$[C_8^{0^{\circ}}]$  - 1.52 [mm].

For all components, except the Ribs and the Kevlar hinges, the  $0^{\circ}$  orientation of the material's fibers is coincident with the direction of the 1<sup>st</sup> Spar axis ( $\neq z \neq z$ ). For the Ribs, the  $0^{\circ}$  orientation is coincident with the x axis. For the Kevlar hinge, the  $0^{\circ}$  orientation is coincident with the direction perpendicular to the 2<sup>nd</sup> Spar axis.

The curing process needed to ensure the mechanical characteristics of the structure was the following: vacuum bag at -0.5 [bar] during 24H, at a room temperature of 20°C, with the air-condition system set to dry heat (low humidity environment).

### 2.5.3. 3D Solid Designs and Detailed Mapping of Materials

In order to better visualize the final design of the wing and to better understand how and where each material should be applied, the wing was modeled as a 3D solid, see Figure 15.

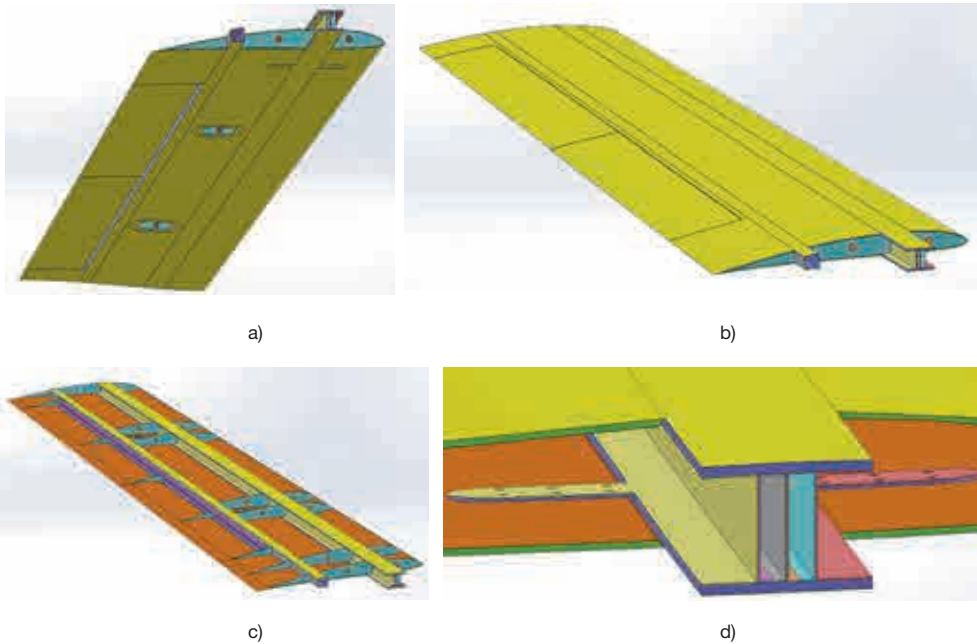


Figure 15 – a) and b) Complete Wing Geometry; a) Bottom view; b) Top view; c) Bottom Skin of the main structure + 1<sup>st</sup> Spar + 2<sup>nd</sup> Spar + Flap Spar + Aileron Spar + all Ribs; d) Detail: 1<sup>st</sup> Spar root.

The 3D solid model was designed in a dimensionally accurate manner so that it could be used as a guide for manufacturing purposes and / or as the basis for future detailed designs.

## 3. CONCLUSIONS

The design and optimization of the wing structure was a challenging project which required a proactive and iterative approach to the design by balancing three fundamental criteria:

- Design;
- Materials selection;
- Manufacturing processes.
- It involved:
  - Determining the loads on the structure;
  - Planning the general shape and layout;
  - Choosing materials;
  - Shaping, sizing and optimizing its many components.
- With the objectives of:
  - Fulfilling structural, operational and certification requirements;
  - Minimizing manufacturing costs;

The resulting wing structure, which included flaps and ailerons, complied with all requirements and was estimated to have a manufacturing cost, in terms of materials, close to 3000 €

## REFERENCES

- [1] “Portuguese Airspace Under Portugal Responsibility,” [Online]. Available: <https://www.nav.pt/en/nav/air-navigation-services-1/airspace>. [Accessed 2016].
- [2] “SRR (Search and Rescue Region),” Esquadra 751, 2016. [Online]. Available: <http://www.emfa.pt/www/po/esquadra/link-751-013.006.001-descricao>.
- [3] “A Marinha ao Serviço de Portugal,” Marinha Portuguesa, 2016. [Online]. Available: [http://www.marinhasplp.org/PT/asmarinhas/doutrinas/Documents/A%20Marinha%20ao%20Servi%C3%A7o%20de%20Portugal\\_23MAR.pdf](http://www.marinhasplp.org/PT/asmarinhas/doutrinas/Documents/A%20Marinha%20ao%20Servi%C3%A7o%20de%20Portugal_23MAR.pdf).
- [4] “A Vigilância Marítima na Força Aérea,” Força Aérea Portuguesa, 2016. [Online]. Available: <http://www.emfa.pt/www/noticia-480-a-vigilancia-maritima-na-forca-aerea>.
- [4] “Busca e Salvamento Marítimo,” Marinha Portuguesa, 2016. [Online]. Available: <http://www.marinha.pt/pt-pt/marinha/busca-e-salvamento/Paginas/default.aspx>.
- [5] “Portugal, uma nação marítima,” Marinha Portuguesa, 2016. [Online]. Available: [http://www.marinhasplp.org/PT/asmarinhas/doutrinas/Documents/Portugal\\_uma\\_nacao\\_maritima.pdf](http://www.marinhasplp.org/PT/asmarinhas/doutrinas/Documents/Portugal_uma_nacao_maritima.pdf).
- [6] G. Oduntan, “Sovereignty and Jurisdiction in Airspace and Outer Space: Legal Criteria for Spatial Delimitation,” 2011. [Online]. Available: [http://landingbook.co/sovereignty\\_and\\_jurisdiction\\_in\\_airspace\\_and\\_outer\\_space\\_legal\\_criteria\\_for\\_spatial\\_delimitation\\_routledge\\_research.pdf](http://landingbook.co/sovereignty_and_jurisdiction_in_airspace_and_outer_space_legal_criteria_for_spatial_delimitation_routledge_research.pdf).
- [7] “SAR,” Esquadra 502, 2016. [Online]. Available: <http://www.emfa.pt/www/po/esquadra/link-502-005.002.003.003-sar>.
- [8] UAVision, *MALE Prototype, Preliminary Specs*, UAVision.
- [9] “Airfoil S4110,” Airfoil Tools, 2016. [Online]. Available: <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=s4110-il>.
- [10] S. A. Brandt, R. J. Stiles, J. J. Bertin and R. Withford, “Introduction to Aeronautics: A Design Perspective,” Second Edition ed., AIAA Educational Series, 2004, pp. 74-75; 85; 90; 145; 225; 228; 230; 302; 315; 319-320; 323; 325-326; 329-332; 335; 340.
- [11] P. F. F. d. Albuquerque, *Structural Loads Handbook, Dissertação de Mestrado em Engenharia Aeroespacial*, Instituto Superior Técnico, 2011, pp. 3-8.
- [12] *Certification Specification for Large Aeroplanes (CS-25) - Subpart C - Structure*, European Aviation Safety Agency, 2010.
- [13] NATO, *Light Unmanned Aircraft Systems Airworthiness Requirements, NATO STANDARD AEP-83*, NATO Standardization Agency (NSA) NATO/OTAN, 2014.
- [14] *Mechanical Properties of Carbon Fibre Composite Materials, Fibre / Epoxy resin (120°C)*, Performance Composites Ltd, 28/03/2017.
- [15] D. Gay, S. V. Hoa and S. W. Tsai, *Composite materials design and applications*, London, New York, Washington: Boca Raton, 2003.
- [16] AIREX and BALTEK, *Airex C70, Universal Structural Foam, DATA SHEET, 07.2011*, 3A Composites.
- [17] S. R. Heller, “Stress Concentration Factors for a Rectangular Opening with Rounded Corners in a Biaxially Loaded Plate,” *Journal of Ship Research*, September 1969.

# O uso de simuladores organizacionais na caracterização do “BEHAVING” e na análise da relação entre planos organizacionais



**Autor:** Bruno Dias, Aspirante Aluno do Mestrado Integrado em Aeronáutica Militar na especialidade de Piloto Aviador  
Academia da Força Aérea, Sintra

**Orientador:** Carlos Páscoa, Coronel Navegador  
Doutor em Engenharia Informática e de Computadores  
Aeródromo de Manobra Nº 1, Maceda – Ovar

**Coorientador:** José Gorgulho, Tenente-Coronel Engenheiro Informático  
Direção-Geral de Recursos da Defesa Nacional, Belém – Lisboa

**Resumo:** O contexto organizacional atual tornou-se bastante instável e difícil para as organizações. Instalou-se uma incerteza económica global que tem vindo a forçar as organizações a implementar fortes contenções orçamentais e a repensar a forma como gerem e empregam os seus recursos pelas diferentes atividades. Assim, a gestão estratégica das organizações é de extrema importância para que as mesmas consigam prosperar no contexto comercial atual.

Assim, à semelhança de uma aeronave, uma organização possui um “plano de voo”, representativo da sua estratégia, onde se encontra definido o ponto de partida da mesma, a rota a seguir, os recursos de que necessita, o seu destino, etc. Por outras palavras, possui uma estratégia bem definida, caracterizada pelas suas metas, pelos seus objetivos e pelos seus recursos. Por existir uma necessidade de controlo, nomeadamente sobre a execução da estratégia, as organizações possuem várias ferramentas para o efeito e que, tal como numa aeronave, vertem o desempenho da organização num *dashboard* ou *cockpit*. Deste modo, os atores organizacionais são capazes de controlar a execução da estratégia o que permite melhorar o desempenho da organização e atingir as metas de um modo mais eficiente.

No entanto, existe ainda uma necessidade de segurança, não só relativa ao desempenho da aeronave durante o voo mas também relativa à tomada de decisão durante o mesmo. As organizações encontram-se então confrontadas com a necessidade de desenvolver uma ferramenta que sirva de apoio ao processo de tomada de decisão e que lhes permita realizar a ação mais adequada e eficiente. Assim, do mesmo modo que no mundo aeronáutico existe a necessidade de possuir simuladores que permitam testar vários cenários e várias respostas da aeronave, também num ambiente organizacional se verifica a mesma necessidade. É então necessária a construção de um simulador organizacional que venha dotar a organização com uma maior segurança no processo de tomada de decisão.

Incorporando os princípios de Engenharia Organizacional e demais conceitos teóricos e práticos alicerçados às necessidades de simulação, a presente investigação visa a construção de um simulador organizacional, a implementar na Força Aérea, que complemente o processo de tomada de decisão e que confira uma capacidade de análise da concretização da estratégia da organização.

Uma vez que uma organização necessita de recursos para realizar os seus processos de negócio e, consequentemente, a sua estratégia, pretende-se dotar o simulador organizacional com uma componente de recursos que permita testar a distribuição dos mesmos pelos diversos planos organizacionais e assim analisar se a organização possui recursos suficientes para executar a sua estratégia.

Assim, alia-se o conceito de *cockpit* organizacional com a componente de recursos de modo a desenvolver uma ferramenta intuitiva e eficiente que apoie o processo de decisão nos diversos planos organizacionais da Força Aérea.

**Palavras-chave:** Engenharia Organizacional, Simuladores, *Cockpit* Organizacional, Recursos, Estratégia, Processo de Decisão.

## 1. INTRODUÇÃO

O contexto organizacional que se tem vindo a verificar nos recentes anos, não apenas a nível nacional como internacional, tem-se revelado bastante exigente a nível financeiro, impondo às organizações alterações inesperadas ao modo como gerem e empregam os seus recursos. A Força Aérea (FA), apesar de não ser uma empresa privada, não se encontra imune às consequências resultantes deste novo contexto, experienciando em primeira mão as exigências impostas. “Confrontados com um ambiente alargado



de incerteza económica global e de enorme exigência de gestão, caracterizado por uma forte contenção orçamental e conseqüente limitação de recursos, assume especial relevância garantir um planeamento criterioso de todas as atividades a desenvolver pela FA e uma rigorosa adequação dos recursos aos fins pretendidos, de forma a atingir elevados níveis de eficiência na obtenção do produto operacional e nas envolventes do seu emprego" (Força Aérea Portuguesa, 2015).

Como referido no parágrafo anterior, a gestão da estratégia da organização e dos seus recursos torna-se cada vez mais fulcral, representando a sua capacidade de alcançar os seus objetivos e de criar valor. No contexto vivido, as organizações vêem-se forçadas a melhorar significativamente as suas capacidades de gestão de modo a que consigam prosperar e atingir os seus fins. Em cada ano que passa, o orçamento disponível é mais reduzido o que significa que as organizações têm que ser capazes de realizar a sua estratégia e os objetivos que definiram com cada vez menos recursos financeiros e, conseqüentemente, humanos. Com as crescentes limitações, o planeamento das atividades a realizar e da alocação dos recursos pelas mesmas tem que ser mais preciso e eficiente de modo a garantir que todas são realizadas e concluídas.

Confrontada com as tais exigências, a FA necessita de uma ferramenta que permita suportar o processo de decisão dos gestores organizacionais, nomeadamente em relação à definição das atividades e da alocação de recursos, e conduzir a organização em direção ao estado-futuro pretendido, do modo mais adequado e eficiente.

Com a presente questão em mente assume uma acrescida relevância o desenvolvimento de um simulador organizacional que permita não só uma análise holística da organização, como uma análise e previsão realista do seu comportamento quando confrontada com diferentes cenários. O mesmo deve permitir testar diversas configurações para a organização, diferentes contextos e decisões e retornar o impacto dessas decisões nos vários níveis de gestão da estrutura da organização, designadamente da FA.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo será apresentada a investigação efetuada e considerada relevante para a elaboração do presente artigo. Engloba uma contextualização do tema assim como uma clarificação dos conceitos necessários para a compreensão do mesmo.

### 2.1 Engenharia Organizacional

A constante oscilação dos mercados e do contexto económico, assim como o grande *boom* tecnológico sentidos na segunda metade do século XX, vêm trazer aos atores organizacionais novos desafios e entraves na gestão eficiente das organizações. O desenvolvimento de novas tecnologias de informação e a crescente competitividade dos mercados confrontam os atores com a necessidade de criar metodologias de análise e diagnóstico que lhes permitam dar respostas expeditas e eficientes ao novo contexto organizacional.

Para solucionar este problema utilizaram-se métodos de análise, princípios e ferramentas de engenharia para definir e melhorar todos os elementos referentes à organização, visando alcançar o mais eficientemente possível as suas metas e objetivos (LILES et al, 2005).

Emergiu então na década de 90 a disciplina de Engenharia Organizacional, definida como o corpo do conhecimento, princípios e práticas no âmbito da análise, desenho, implementação e operação de uma organização (LILES et al, 2005).

“Trata-se portanto de uma questão pragmática, esta de querermos lidar com as nossas organizações de forma que as mesmas cumpram os objetivos para que foram criadas da forma mais adequada à nossa sobrevivência individual e coletiva.” (MAGALHÃES; TRIBOLET, 2005).

## **2.2 Organizational Self-Awareness**

Para melhor se entender o conceito de organizational self-awareness (OSA) considera-se importante explicitar o conceito de “aware”, por outras palavras o conceito de “consciência”. Este é facilmente entendido como sendo a percepção, interior a cada ser humano, da sua própria existência. Uma vez que uma organização é constituída por servidores de carbono e servidores de silício, é normal que a organização adquira determinadas características dos seus servidores de carbono. Assim, a noção de consciência, inata aos humanos, vai ser construída e aplicada à organização de maneira a que também esta possa ser self-aware.

Está já estabelecido que a OSA se encontra definida em duas dimensões: individual e organizacional. Considerando a dimensão individual, a mesma remete para a capacidade de cada ator organizacional responder a um conjunto específico de perguntas. Estas perguntas interrogam, individualmente, cada ator sobre o que representam na organização, de que maneira executa as atividades na organização e o que está, de modo geral, a organização a realizar no presente momento. Por outro lado, a dimensão organizacional conjuga os servidores de silício com os servidores de carbono, assim como os respetivos recursos e procedimentos presentes na organização, de maneira a dotar a mesma com a capacidade de dar resposta ao seu próprio conjunto de perguntas. Essas perguntas pretendem consciencializar a organização de quais são os seus membros, de que maneira os seus processos de negócio estão a ser realizados e ainda o que, a cada momento, a própria está a realizar (TRIBOLET et. al, 2009).

## **2.3 Planos Organizacionais**

Um plano organizacional é “um conceito universal que possibilita a manutenção de uma linha estratégica comum em toda a empresa e estabelece relações com os planos imediatamente superiores e inferiores. É caracterizado por um conjunto de atributos que o identificam inequivocamente” (LAMPREIA, 2016).

É composto pelos seguintes atributos: (1) designação, que o distingue inequivocamente dos demais planos; (2) nível de gestão; (3) entidades organizacionais, que representam as unidades; (4) posições organizacionais, correspondentes a cada um dos indivíduos da organização; (5) dependência hierárquica, que visa garantir o alinhamento vertical entre planos; (6) Fins, que representam o que o plano pretende alcançar; (7) Missão, confere um propósito ao plano e serve de guia para o trabalho a realizar; (8) estrutura, que visa garantir um alinhamento horizontal; (9) semântica, para assegurar que todos os indivíduos do plano, e da organização, comunicam na mesma linguagem de modo a que as tarefas decorram com a maior eficiência possível.

## **2.4 Mapa de Configuração Organizacional**

Com as frequentes e rápidas alterações dos mercados num contexto organizacional cada vez mais instável, as organizações são confrontadas com a necessidade de possuir uma capacidade de adaptação eficiente e de conseguir responder prontamente a essas mesmas alterações. Como constatado por Páscoa (2012), as capacidades referidas podem ser observadas no mundo da aviação onde “a capacidade de reação em *near real time* representa a diferença entre sobreviver ou perecer”. Assim, na execução de cada missão, as aeronaves voam utilizando uma determinada configuração que abranja todos os fatores que influenciam, ou podem vir a influenciar, o voo, incluindo a determinação prévia de configurações a utilizar caso o mesmo não corra conforme planeado, nomeadamente o caso de entrada em emergência.

Tendo em consideração a metáfora “Voar a Organização” desenvolvida por Páscoa e Tribolet (2010), as características observadas em contexto aeronáutico podem ser adaptadas à gestão de uma organização sem que sejam necessárias grandes alterações. Deste modo, com o intuito de criar, em semelhança a uma aeronave, configurações para as organizações foi desenvolvido o conceito de mapa de configuração organizacional.

Com este conceito, a organização é dotada com a capacidade de responder prontamente a diferentes cenários mantendo sempre a eficiência desejada. Como referido por Páscoa (2012), uma das razões pelas quais uma aeronave falha constantemente deve-se ao facto de a mesma não se encontrar a utilizar a configuração mais adequada para a situação em que se encontra. Dando como exemplo, se uma aeronave pretender maximizar o seu alcance e se encontrar a utilizar uma configuração que preveja a maximização da autonomia, em princípio, não será eficiente. A solução, neste caso, será alterar a configuração para uma que corresponda ao desejado. A capacidade de adaptação referida é uma com a qual se pretende dotar a organização com a criação do mapa de configuração organizacional.

Assim, Páscoa (2012) define o conceito de configuração organizacional como “o conjunto de artefactos organizacionais que impulsionam os meios, de modo otimizado e organizado, visando alcançar os seus fins”.

Tendo por base a General Systems Theory, Páscoa (2012) considerou que a organização podia ser vista como um sistema. Dentro de cada sistema podem ser observados outros sistemas devido ao facto de os mesmos serem abertos, significando trocas incessantes com o ambiente, e estruturados, implicando que a função de cada sistema depende da sua estrutura. Assim, a organização pode ser considerada como sendo (BEING) um sistema que tem metas (BECOMING) e métodos de controlo e feedback (BEHAVING). Os conceitos BEING, BECOMING e BEHAVING foram então conceptualizados como sendo sistemas constituintes da organização (PÁSCOA, 2012).

## 2.5 BEING

Segundo Páscoa (2012), o *BEING* pode ser definido como “um conjunto de elementos de um sistema que caracterizam a sua singularidade (ADN, estrutura, organização e recursos) no universo de sistemas”.

O BEING é constituído por outro conjunto de elementos: Modelo de Negócio, Estrutura, *Governance* e Recursos. São estes quatro elementos que, segundo Páscoa (2012), irão conferir a singularidade à organização no meio de todo o universo de sistemas. Tendo em consideração a presente pesquisa de mestrado, apenas se considera relevante a explicitação da componente de recursos da organização.

## 2.6 BECOMING

O BECOMING de uma organização incorpora os vários conceitos que definem o estado futuro que a organização pretende alcançar. Aliado a esses conceitos, o BECOMING contempla ainda a objetivação daquilo que a organização pretende atingir, como pretende atingir e os riscos inerentes que poderá encontrar enquanto o tenta fazer. Fundamentalmente, define a maneira como a organização pretende passar do “*As is*” (BEING) para aquilo que pretende ser no futuro (BECOMING) (PÁSCOA, 2012).

## 2.7 BEHAVING

O BEHAVING de uma organização é responsável por analisar de que modo é que a mesma está, ou não, a alcançar os seus fins. O BEHAVING incorpora três ferramentas vitais na gestão das organizações : (1) Simulador organizacional, responsável pela análise dos diversos contextos e cenários organizacionais; (2) *Dashboard*, responsável pela disponibilização dos indicadores de *performance* da organização; (3)

Mecanismos de ajuste, responsáveis pela execução de ações de correção aos desvios do curso pretendido pela organização.

“O BEHAVING corresponde aos artefactos que demonstram como o voo irá decorrer (em termos de simulação), o registo de voo, os indicadores do *cockpit* (*dashboard*), e os mecanismos para corrigirem a situação (manche e potência)” (PÁSCOA, 2012).

## 2.8 *Balanced Scorecard*

Durante o decorrer da era industrial, o método de avaliação de *performance* utilizado pelas organizações baseava-se em indicadores de *performance* financeiros, como “lucros, *cash flow*, rentabilidades, retorno de investimento” (GUEDES, 2013), entre outros. Até então, estes indicadores eram considerados como os únicos de relevo para uma correta e precisa avaliação do desempenho de uma organização. O problema deste método de gestão é que é “baseado única e exclusivamente em indicadores financeiros”, promovendo “uma gestão concentrada no curto prazo e virada para o interior da empresa” (Centro Tecnológico do Calçado de Portugal) .

Alguns autores sugeriram que deviam ser utilizados indicadores de *performance* operacionais, outros afirmavam que se deviam otimizar os indicadores de *performance* financeiros e, por fim, alguns afirmavam que se devia ter em consideração ambos os indicadores. Segundo Kaplan & Norton (1992), as organizações devem encontrar um equilíbrio entre estes dois tipos de indicadores para que se consiga uma medição mais precisa do desempenho da organização. Foi então desenvolvido o *Balanced Scorecard* (BsC).

O BsC pode ser considerado como sendo uma ferramenta desenvolvida com o intuito de facilitar aos gestores de topo uma maneira expedita e clara de visualizarem o desempenho da organização, assim como facilitar, de modo claro, a implementação da visão e estratégia da mesma. É, segundo Kaplan & Norton (1992), composto por medições financeiras que traduzem o trabalho concretizado e o progresso já efetuado, integrando as mesmas com medições operacionais, tais como a satisfação dos clientes, processos internos, atividades de inovação e melhoramento organizacional.

Tal como Páscoa (2012) também Kaplan & Norton (1992) compararam uma organização a uma aeronave. Tal como uma aeronave necessita de poder visualizar diversos indicadores de *performance* do seu voo no *cockpit*, como o velocímetro, o taquímetro, o altímetro, indicadores de pressão e temperatura, também uma organização, devido à sua complexidade, necessita de poder fornecer aos seus gestores uma “plataforma” que permita a análise simultânea dos diversos aspetos do desempenho da organização nas diferentes áreas.

O BsC vem permitir analisar diversos indicadores numa só plataforma o que permite à organização tornar-se mais “orientada para os clientes, diminuir o tempo de reação, melhorar a qualidade, realçar o trabalho em equipa, reduzir o tempo de lançamento dos produtos e a gestão a longo prazo” (KAPLAN; NORTON, 1992).

## 2.9 *Flight Plan Organizacional*

O *Flight Plan* (FPlan) é um modelo preenchido pela tripulação de uma aeronave que lhes permite, através de todo o planeamento da missão associado, aumentar o *situational-awareness* e a sua segurança. Quando é realizado o planeamento da missão é definido não só o destino que se pretende alcançar mas também o modo como o mesmo será alcançado (rota). Como presente no mapa de configuração organizacional, quando se executa o planeamento da missão a realizar é feita uma previsão dos potenciais contratempos e obstáculos à mesma, definindo configurações alternativas para um conjunto de situações. Do mesmo modo, devem ser incluídos no FPlan destinos alternantes, caso o inicialmente previsto não possa ser alcançado, e de emergência, caso seja necessário alterar a direção do voo o mais prontamente possível.

Ambas as situações descritas retratam ajustes em tempo real ao curso do voo, permitindo que a tripulação tome a decisão mais adequada face à situação com que se depara de modo a conseguirem garantir a sua segurança. Por fim, deve ser incluída a componente temporal, calculando tempos de rota e entre pontos, para que a tripulação tenha conhecimento se se encontra dentro dos intervalos de tempo previamente estabelecidos. A componente temporal vai permitir à tripulação a realização de ajustes em tempo real no caso de se encontrarem a desviar do planeamento definido.

Recorrendo à metáfora “Voar a Organização” (Páscoa & Tribolet, 2010) todos os conceitos incluídos no *Flight Plan* podem ser adaptados a uma organização. “O planeamento de uma missão também se aplica ao planeamento organizacional e deve incluir uma seleção cuidada do destino, rota e mapeamento (garantindo que a organização tem destinos alternantes e de emergência, dependendo das configurações organizacionais) incorporada no *Flight Plan*” (Páscoa, 2012). Páscoa (2012) refere que o FPlan organizacional consiste num Plano de Atividades da organização onde se encontram vertidas todas as atividades incluídas em todos os processos de negócio que realiza. No Plano de Atividades encontram-se ainda detalhados o espaço de tempo que cada atividade ocupa, os recursos que consomem, a sua identificação, o elemento que é responsável pela execução de cada uma e a prioridade associada às mesmas. Uma vez que incorpora todos estes atributos, o *Flight Plan* vai permitir ligar a estratégia à execução, quantificar os recursos consumidos, incorporar a componente temporal no planeamento e fornecer os conceitos básicos que permitem controlar o BECOMING da organização (Páscoa, 2012). Relativamente à restante informação de que necessita, o mesmo retira a estratégia do Mapa de Estratégia da organização e os indicadores de *performance* e metas do BsC (Páscoa, 2012).

### 3. SIMULADOR ORGANIZACIONAL

No presente parágrafo será demonstrada a linha de investigação seguida no desenvolvimento dos atributos e componentes do simulador e dos mecanismos de ajuste despoletados pelo mesmo.

#### 3.1 Atributos do Simulador

Sendo a finalidade de uma organização gerar valor, criando um produto e prestando serviços, é necessário entender como é que a mesma o consegue. Para uma organização criar valor necessita de executar os seus processos de negócio. Resumidamente, os processos de negócios são compostos por *input*, ou matéria-prima, que irá ser sujeito a um conjunto de atividades de forma a ser transformado num *output*, que representa o valor que a organização pretende criar. Assim, todos os processos de negócio são executados com um objetivo, uma meta, que é criar valor. Mas, para tal, é necessário ter em consideração que para realizar as atividades necessárias a organização tem que utilizar os recursos que tem disponíveis. Assim, da análise dos processos de negócios são retirados dois componentes vitais: as metas e os recursos. Deste modo, para que o simulador seja capaz de analisar se a organização consegue, ou não, criar valor, considera-se relevante a utilização dos componentes retirados dos processos de negócios como atributos do simulador a desenvolver.

É então esperado que, para obter uma visão holística do desempenho e da eficiência de uma organização, o simulador permita a análise da concretização das metas aliada a uma componente de consumo de recursos.

### 3.2 Desenvolvimento do Simulador Organizacional

No processo de desenvolvimento do simulador organizacional procurou-se primeiro analisar se existiria alguma ferramenta na organização que, com algumas adaptações, pudesse ser utilizada como parte integrante do simulador. Para tal, analisou-se o Mapa de Configuração Organizacional de forma a analisar que ferramentas se encontram alinhadas com os atributos definidos para o simulador. Para concorrer com o atributo “metas”, analisou-se o BECOMING da organização pois o mesmo incorpora a informação necessária relativa aos objetivos e metas necessárias para o simulador. Como se pode visualizar na Figura 1, destacado com um círculo verde, os Objetivos e as Metas da organização, inseridas nos Resultados Desejados, estão diretamente ligadas ao Mapa de Estratégia e ao BsC. Deste modo, ao utilizar as referidas ferramentas, é possível ter acesso a todas as metas que a organização pretende alcançar. Assim, é tida em consideração a utilização das mesmas como parte integrante do simulador organizacional.

Uma vez encontrado um conjunto de ferramentas que poderá ser adaptado para funcionar como um simulador, é necessário analisar se as mesmas integram uma componente referente aos recursos da organização para que os dois atributos do simulador sejam satisfeitos. No caso do Mapa de Estratégia da organização, o mesmo incorpora os objetivos estratégicos e operacionais, as perspetivas presentes no *Balanced Scorecard*, a Visão, os Valores, a Missão e a Estratégia definidos. O Mapa de Estratégia, apesar da extensa quantidade de informação que engloba, não tem em consideração uma componente de recursos da organização. Por sua vez, o BsC, à semelhança do Mapa de Estratégia, engloba os objetivos estratégicos e operacionais e as perspetivas da organização. Engloba também todas as atividades e ações realizadas pela organização e os indicadores de performance que pretendem traduzir o progresso dos mesmos e da concretização da estratégia. É possível concluir que, o *Balanced Scorecard*, não tem também em consideração os recursos da organização. Deste modo é então necessário voltar a analisar o Mapa de Configuração Organizacional de modo a que se possa analisar que ferramentas se encontram alinhadas com o atributo “recursos”.

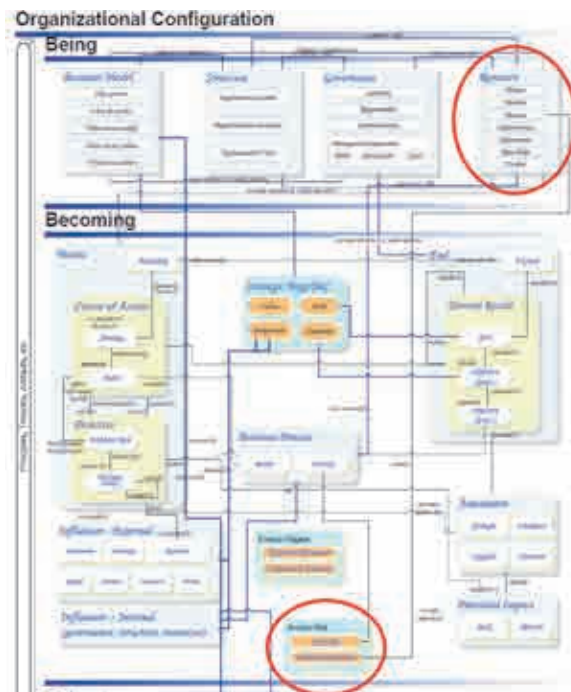


Figura 1 Mapa de Configuração Organizacional (PÁSCOA, 2012)

Na Figura 1, ao analisar o BEING da organização, é possível constatar que os recursos se encontram diretamente interligados com o Plano de Atividades da organização. Derivado também do Plano de Atividades, a organização utiliza o FPlan que, como referido, constitui um plano de atividades. Apesar do *Flight Plan* incluir as atividades e as ações da organização, o mesmo não permite analisar os seus objetivos e metas. Uma vez que nenhuma das ferramentas analisadas satisfaz ambos os atributos do simulador, é necessário estudar a possibilidade da integração das diversas ferramentas de modo a que isso seja possível.

### 3.3 Integração da componente de recursos

Neste parágrafo será demonstrada a integração das ferramentas analisadas com uma componente de recursos. O Mapa de Estratégia da organização foi retirado do conjunto de ferramentas a adaptar por não possuir indicadores de *performance* capazes de traduzir a concretização dos objetivos, pelo que não serve o propósito de simulação necessário.

#### 3.3.1 *Balanced Scorecard*

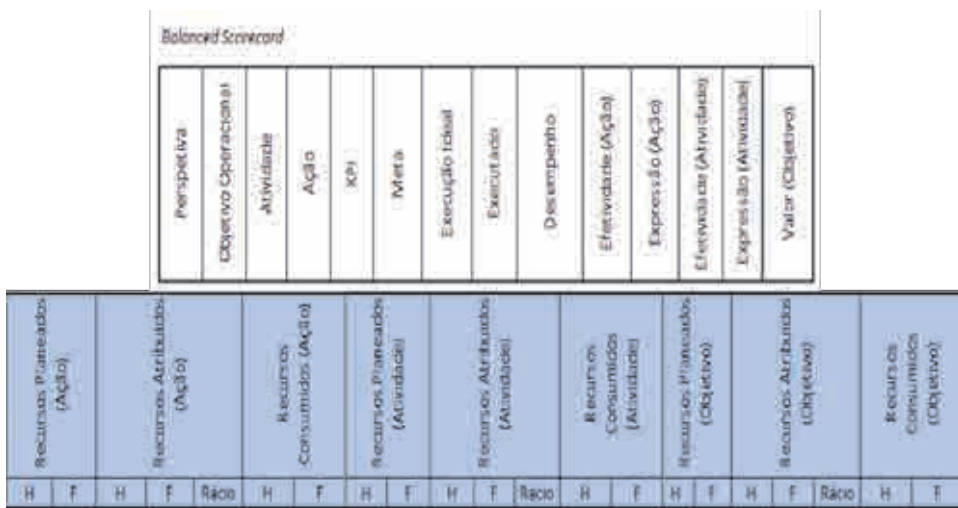


Figura - 2 BsC integrado com uma componente de recursos (Fonte: autor)

Consultando a Figura 2 pode observar-se que foram, ao todo, acrescentados nove separadores novos, realçados com cor azul, ao Balanced Scorecard. Os primeiros três separadores, “Recursos Planeados (Ação)”, “Recursos Atribuídos (Ação)” e “Recursos Consumidos (Ação)”, representam, respetivamente, os recursos previstos no plano de atividades para cada uma das ações, os recursos previstos e posteriormente alocados pelo Figura 2 BsC integrado com uma componente de recursos (Fonte: autor)

Orçamento Anual da organização e os recursos consumidos até à data da última atualização do sistema. No caso de ser efetuada alguma alteração ao planeamento que preveja uma necessidade superior, ou inferior, de recursos para uma determinada ação, a ferramenta pode ser diretamente atualizada.

Os três separadores seguintes, “Recursos Planeados (Atividade)”, “Recursos Atribuídos (Atividade)” e “Recursos Consumidos (Atividade)”, são semelhantes aos referidos no primeiro parágrafo para as ações mas destinados às atividades. Os últimos três são relativos aos objetivos.

A partir da integração dos recursos com o BsC, o utilizador conseguirá facilmente perceber se existe um problema com os recursos disponíveis para a concretização de uma das atividades e respetivos objetivos. Deste modo, caso se depare com uma insuficiência de recursos para realizar uma determinada atividade ou objetivo, deverá tomar uma ação de correção para a resolução do problema como será explicado mais à frente.

De notar também que, através da integração referida dos recursos com o BsC, o utilizador é dotado com a capacidade de aferir se os recursos que tem são suficientes para cumprir todas as suas metas e, no caso de não possuir, de que modo a organização é afetada. É então possível analisar a organização de maneira holística, percebendo que metas não são cumpridas desde o plano tático (ações e elementos de ação) até ao plano estratégico (objetivos estratégicos), garantindo assim um alinhamento vertical e horizontal.

### 3.3.2 Flight Plan

Flight Plan																			
Ação		Descrição		Data de Início		Data de Término		Execução Real		Meta		Descrição		EPR					
Recursos Planeados (Ação)		Recursos Atribuídos (Ação)		Recursos Consumidos Ideais (Ação)		Recursos Consumidos (Ação)		Consumo de Recursos (Ação)		Recursos Fim Expect (Atividade)		Recursos Attribuídos (Atividade)		Recursos Consumidos Ideais (Atividade)		Consumo Recursos (Atividade)		Consumo de Recursos (Atividade)	
H	M	H	M	RATIO	H	M	H	M	H	M	H	M	RATIO	H	M	H	M	H	M

Figura - 3 FPlan integrado com uma componente de recursos (Fonte: autor)

Ao consultar a Figura 3, é possível notar que, no total, foram acrescentados dez separadores à ferramenta já existente e estão realçados de cor azul. Os cinco primeiros separadores, “Recursos Planeados (Ação)”, “Recursos Atribuídos (Ação)”, “Recursos Consumidos Ideais (Ação)”, “Recursos Consumidos (Ação)” e “Consumo de Recursos (Ação)”, são referentes às ações e representam, respetivamente, os recursos previstos que a ação consuma, os recursos alocados pela organização para a realização dessa ação, os recursos espectáveis que a ação tenha consumido até ao momento da data de consulta, os recursos que a ação efetivamente consumiu até à data de consulta e a percentagem, face ao espectável, de recursos consumidos. Do mesmo modo que o FPlan, tendo em conta a data de início e de término de cada atividade, é capaz de efetuar a estimativa de progresso de cada atividade será também capaz de efetuar uma estimativa do consumo de recursos para uma determinada data de consulta, permitindo um controlo mais eficiente dos recursos organizacionais e do seu consumo. Os restantes cinco separadores são relativos às atividades e seguem a mesma linha de pensamento que os separadores referentes às ações. À semelhança do BsC, ao executar modificações ao nível das ações a versão modificada do *Flight Plan* permite analisar as repercussões que essas modificações irão acarretar para os demais planos organizacionais garantindo um correto alinhamento dos mesmos.



### 3.4 Mecanismos de Ajuste

Se o simulador demonstrar um cenário em que a organização não possui recursos suficientes para realizar os objetivos, cabe ao utilizador corrigir a situação através do emprego de mecanismos de ajuste. Assim, devem ser seguidas as seguintes etapas: (1) Procurar obter um reforço de recursos em falta através de, por exemplo, apoio externo ou da implementação de medidas que visem aumentar a receita; (2) Analisar o *Level of Ambition* (LOA) que a organização definiu. O LOA define o mínimo estritamente necessário que a organização tem que executar de cada ação para que a sua estratégia não seja comprometida. Assim, analisando o LOA definido pela organização, o utilizador poderá analisar o quanto poderá reduzir a meta pretendida para as ações em causa, visto que ao reduzir as metas pretendidas os recursos necessários são também reduzidos; (3) Proceder à redução das metas pretendidas para as demais atividades para o LOA de modo a que se consiga realocar recursos entre as atividades; (4) Analisar a possibilidade de alterar os parâmetros definidos para a atividade, aferindo se é estritamente necessário a realização da meta definida ou se a mesma poderá ser reduzida para além do LOA estabelecido; (5) Fazendo recursos ao Plano Anual de Atividades, verificar a ação de menor prioridade e realocar os recursos dessa mesma ação para a que se encontra com déficit de recursos. Nesta situação a organização ver-se-á forçada a aceitar o impacto que a não realização dessa mesma atividade irá ter na concretização da estratégia.

## 4. CONCLUSÃO

Pode-se afirmar que a Força Aérea Portuguesa não possui uma ferramenta que permita aos gestores organizacionais prever o desempenho da organização quando confrontada com certos contextos em que se possa eventualmente inserir. Não existe uma forma expedita e precisa de testar diversas configurações organizacionais face a um conjunto de cenários o que, por sua vez, representa a ausência de uma ferramenta que possa servir de apoio aos gestores organizacionais aquando do seu processo de decisão.

Esta pesquisa vem deste modo demonstrar a importância e as vantagens de um simulador na gestão das organizações. Ao prever a *performance* da organização na concretização da sua estratégia em função dos recursos que possui, o simulador organizacional permite que os gestores organizacionais possam realizar não só um planeamento de atividades mais eficiente assim como prontamente simular diversos cenários de emprego dos seus recursos face às dificuldades dos mercados atuais.

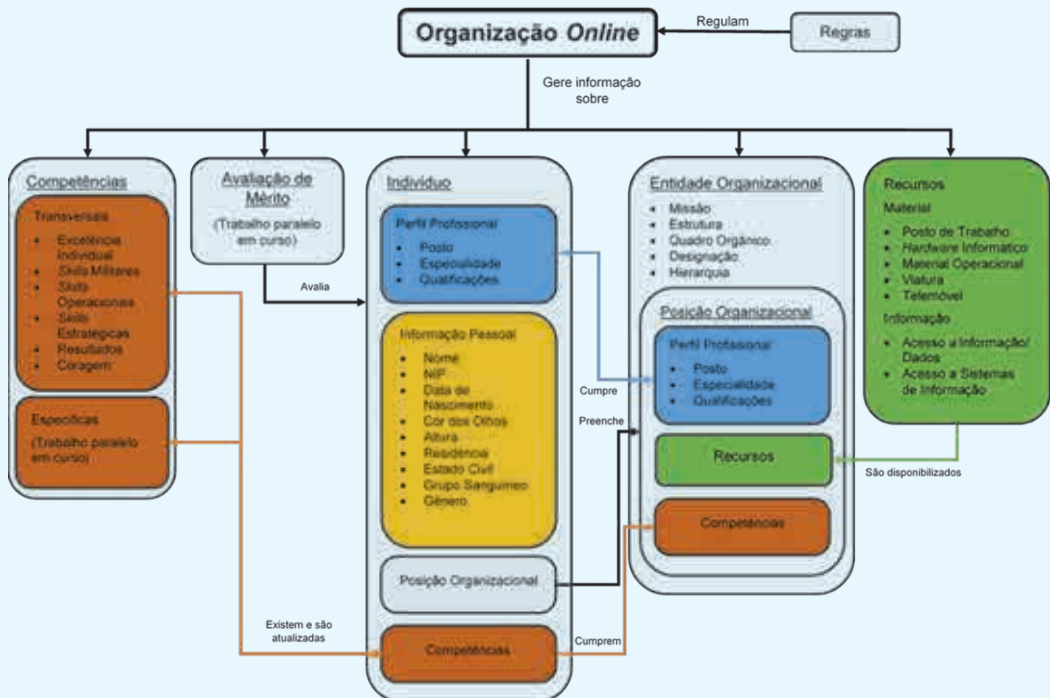
**É importante realçar que o simulador permite uma análise holística da organização, contribuindo deste modo para o aumento do *organizational self-awareness*, uma vez que permite prever as repercussões ao longo dos diversos planos organizacionais.**

Por fim, com o desenvolvimento de um simulador organizacional a componente do BEHAVING da FA fica complementada na sua vertente de simulação e remete para o desenvolvimento de novos mecanismos de ajuste que permitam ajustar o percurso percorrido por uma organização para o seu estado futuro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Força Aérea Portuguesa - **Plano Anual de Atividades de 2015**; 2015.
- [2] Liles, Donald [et al] **The Enterprise Engineering Discipline**. Forth Worth, 1995.
- [3] Magalhães, R; Tribolet, J. - **Engenharia Organizacional: das partes ao todo e do todo às partes na dialética entre pessoas e sistemas**; novembro 2005.
- [4] Tribolet, José [et al] **Enhancing organizational self-awareness with enterprise**, 2009.
- [5] Lampreia, V - **A Segurança Computacional como fator de alinhamento entre Planos Organizacionais**. Sintra: Academia da Força Aérea, 2016. Dissertação de Mestrado.
- [6] Páscoa, Carlos - **Organizational and Design Engineering of the Operational and Support Dimensions of an Organization: The Portuguese Air Force Case Study**; 2012.
- [7] Guedes, Pedro - **Construção de um Cockpit Organizacional para a Força Aérea**. Sintra: Academia da Força Aérea, 2013. Dissertação de Mestrado.
- [8] Centro Tecnológico do Calçado de Portugal. (s.d.). **Guia do Empresário - Balanced Scorecard**.
- [9] Kaplan, R; Norton, D - **The Balanced Scorecard - Measures that Drive Performance**. Harvard Business Review, 1992.
- [10] Páscoa, Carlos; Tribolet, José - **Organizational and Design Engineering of the Operational and Support Components of an Organization: the Portuguese Air Force Case Study**, 2010..

# A Organização Online



**Autor:** Tiago Santos, Aspirante Aluno do Mestrado Integrado em Aeronáutica Militar na especialidade de Piloto Aviador  
Academia da Força Aérea, Sintra

**Orientador:** Carlos Páscoa, Coronel Navegador  
Doutor em Engenharia Informática e de Computadores  
Aeródromo de Manobra Nº 1, Maceda – Ovar

**Coorientador:** Ana Telha, Tenente-Coronel Engenheira Informática  
Divisão de Comunicações e Sistemas de Informação do Estado-Maior da Força Aérea, Alfragide

**Resumo:** Na atualidade, a competitividade entre as organizações forçou as mesmas a fazer melhorias na gestão de recursos, adaptando-se às tecnologias emergentes e preenchendo Posições Organizacionais com os indivíduos mais capazes. Apesar da necessidade de evoluir e superar dificuldades na gestão de recursos, a Força Aérea não melhorou o seu método, centrado na estrutura hierárquica e no progresso na carreira, comprometendo a eficácia e a competitividade para com as outras organizações. Uma questão central é que as competências dentro dos postos de trabalho ainda não estão tipificadas, o que significa que o indivíduo que ocupa uma determinada posição de trabalho pode não ser o mais adequado para essa posição. Para resolver este problema, esta investigação descreve um modelo de Arquitetura Informacional para a Força Aérea, que representa os conceitos de Entidades Organizacionais, Posições Organizacionais, Gestão de Recursos e Gestão de Recursos Humanos através da Gestão de Competências. O modelo descreve cada conceito individualmente e as relações existentes com outros conceitos. Quando implementado, o modelo permitirá uma melhoria na eficácia da gestão de recursos humanos e eficiência na alocação de recursos para Posições Organizacionais.

**Palavras-chave:** Organizações, Gestão de Recursos, Gestão de Recursos Humanos, Competência, Gestão de Competências, Arquitetura Informacional, Entidades Organizacionais, Posições Organizacionais.

## 1. INTRODUÇÃO

Tribolet e Magalhães (2007) afirmam que os desafios com que uma organização se depara em cada momento da história determinam a sobrevivência da mesma organização, conforme a sua capacidade de resposta, adaptação e mudança perante os mesmos.

No contexto organizacional atual, as mudanças tecnológicas, políticas, económicas, sociais e culturais são uma realidade incontornável (CEITIL, 2016). Da mesma forma, o aumento da competitividade entre as organizações contribui para a necessidade de mudança organizacional, garantindo a sobrevivência da organização neste contexto.

A competitividade de uma organização é influenciada por diversos fatores, sendo que o principal são os recursos humanos (Gontiuk, 2013). Seguindo a mesma linha de pensamento, a gestão de recursos humanos é uma das atividades mais importantes para o sucesso de uma organização (Slavic; Berber; Lekovic, 2014).

Segundo Telha et al (2016), “Competência transversal consiste num comportamento observável associado a todo e qualquer indivíduo pertencente à Organização, intrínseco ou desenvolvido nos diversos contextos organizacionais e com utilidade para a Força Aérea.” Tais competências assumem um papel de importância extrema para a rotação de pessoal entre posições organizacionais, permitindo à organização empenhar o indivíduo mais capaz para desempenhar determinada Posição Organizacional (PO) (Telha et al., 2016).

Torna-se crucial uma gestão eficaz das pessoas na organização, de acordo com as suas competências, para que a Força Aérea possa continuar a melhorar continuamente o seu desempenho como uma organização atual, incansável e em constante adaptação.

Tendo em consideração os factos acima expostos, identificou-se o seguinte problema, que serve de motivação para a presente investigação: Não existe um sistema desmaterializado que represente os indivíduos e as suas competências, as Posições Organizacionais e os recursos necessários para o desempenho de funções, e que permita a gestão da organização de uma forma unificadora, automática e eficiente.

O problema encontrado é caracterizado através dos seguintes tópicos:

- Não se encontra definida uma metodologia para definição dos atributos dos militares;
- Não está tipificado um Perfil para as Posições Organizacionais, definindo os requisitos de acordo com as Competências dos Indivíduos;

Associada ao problema encontrado, desenvolveu-se a seguinte questão:

- Qual a necessidade da criação de um modelo desmaterializado para a gestão dos recursos humanos na FA?

A criação de um modelo desmaterializado para a gestão de recursos humanos traduz-se numa organização online. Este conceito permite uma integração completa das posições organizacionais com os respetivos atributos e funções, ao mesmo tempo que atua como base de dados para os perfis organizacionais das pessoas da organização, guardando informação relativa às mesmas. Desta forma, o modelo permite efetuar a alocação Online de um indivíduo a uma Posição Organizacional. Permite também uma instanciação dos instrumentos de trabalho individuais no posto de trabalho, ao efetuar o acesso ao mesmo. A organização online viabiliza uma forma de otimização de recursos humanos e tempo despendido na gestão dos mesmos.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

Neste parágrafo, inclui-se a literatura relevante utilizada para o desenvolvimento do modelo. Os conceitos expostos são uma contextualização do tema da investigação, abordando conceitos importantes para melhor compreender o modelo proposto.

### **2.1 Engenharia Organizacional**

A Engenharia Organizacional é um conceito que remonta à década de 90, e que se define como um conjunto de conhecimento, princípios e práticas, que regem a implementação, desenho e operação de uma organização (Liles; Presley, 1996).

Este conceito surge com a necessidade de aumentar o desempenho das organizações devido à crescente competitividade das mesmas, em que o sucesso dificilmente será alcançado a não ser que a organização reaja à mudança do meio (ERIKSSON; PENKER, 2000).

Esta necessidade é apoiada pelo facto de apesar de as organizações serem sistemas organizados, estes são bastante complexos, em que existem diversas interações entre partes do sistema, tornando a abordagem aos problemas uma tarefa difícil (Dietz; Hoogervorst., 2013).

A EO estabelece então a utilização de métodos para aumentar a eficácia, comunicação e coordenação dos mais diversos tipos de organizações e seus subníveis. Ao focar-se na forma como se estrutura a informação, permite melhorar os resultados da organização, sem alterar nenhum indivíduo em particular (OEI, 2016). Desta forma, o engenheiro organizacional deve perguntar-se de que forma pode desenhar e melhorar a organização como um todo, e para isso, fazer uso dos métodos compreendidos pela Engenharia Organizacional (Liles; Presley, 1996).

### **2.2 Arquitetura de Informação**

A Arquitetura da Informação (AI) é um dos níveis da Arquitetura Empresarial. Para compreender o conceito de AI, é necessário definir primeiro o conceito de informação. Este conceito é de forma banal comparado

ao conceito de dados. No entanto, ambos os conceitos diferem relativamente ao valor que apresentam para a organização. Dados, podem ser definidos como factos no seu estado bruto, inalterado, desorganizado, apenas representativos de eventos ocorridos na organização (LAUDON; LAUDON, 2016). Pois estes dados, não comportam valor para a organização se não forem processados, moldados e organizados. Assim, aos dados que já foram submetidos a este processamento, por forma a trazer valor e significado aos mesmos e que de alguma forma são úteis para a organização, denomina-se informação (LAUDON; LAUDON, 2016).

O conceito de Arquitetura de Informação é definido de diferentes formas por variados autores. Hoogervorst define a AI como um conjunto consistente e coerente de princípios e padrões que guiam a forma como a informação é utilizada e manuseada (HOOGERVORST, 2009). Rosenfeld et al (2015), apresentam a AI em 4 premissas que a definem como:

1. O desenho estrutural dos ambientes de informação partilhados;
2. Uma síntese de organização, gravação, procura e sistemas de navegação dentro dos sistemas digitais, físicos e *cross-channel*;
3. A arte e ciência de moldar informação para suportar o seu uso, facilidade de acesso e compreensão;
4. Um campo emergente e uma comunidade focada em transpor os princípios do desenho e arquitetura para o ambiente digital.

Existem diversas abordagens à Arquitetura de Informação. Esta pode ser instanciada como uma forma de compreender a informação, através do desenho de modelos de informação, tornando-a mais simples e mais compreensível (RESMINI; ROSATI, 2011).

Uma outra aproximação à AI é a visão desta arquitetura como método de gestão de informação sob a forma de sistemas de informação. Segundo Carter (1999) citado por Resmini e Rosati (2011), a AI surge como uma forma de planeamento que vai de encontro às necessidades informacionais da organização e evita a duplicação, dispersão e assiste na consolidação da informação. Carter afirma ainda que a AI descreve os componentes da estrutura de informação, e permite a criação de sistemas de informação que suportam e apresentam esses componentes.

## 2.3 Competências

Boyatzis (1982), citado por Quintas (2016), considera que competências são características de fundo de um indivíduo. Estas características estão diretamente relacionadas com o desempenho efetivo do indivíduo no posto que exerce e com o aumento do desempenho. Camara, Guerra e Rodrigues (2010), sugerem uma outra definição para competência. Segundo os autores, competência define-se como “o conjunto de qualidades e comportamentos profissionais que mobilizam os conhecimentos técnicos e permitem agir na solução de problemas, estimulando desempenhos profissionais superiores, alinhados com a orientação estratégica da Empresa”. Ainda sobre o conceito de Competência, aplicado agora à FA, Telha et al (2015) propôs uma definição resultante da sua investigação afirmando que “*Competência consiste em capacidades, valores, comportamentos, habilidades e qualificações de um indivíduo, inerentes ao próprio ou obtidos através de formação, por experiência pessoal ou por experiência profissional, e que tenha utilidade para a organização.*”

É de salientar a necessidade de definir as competências associadas a uma determinada posição organizacional, elaborando um perfil de competências. Este perfil de competências é constituído pelas competências genéricas, ou transversais, e pelas competências específicas (CAMARA; GUERRA; RODRIGUES, 2010).

Foi também desenvolvido trabalho no âmbito da Força Aérea respetivo a estes tipos mais singulares de competências. Telha et al (2016) propõem que competência transversal “*consiste num comportamento*

*observável associado a todo e qualquer indivíduo pertencente à Organização, intrínseco ou desenvolvido nos diversos contextos organizacionais e com utilidade para a Força Aérea.” (Telha et al, 2016)*

Bonifácio (2017), definiu o conceito competências específicas para a FA. Este autor retrata a competência específica como *“uma característica observável, detida por um indivíduo da organização, que é essencial para o cumprimento da função técnica que lhe é atribuída, e que pode ser desenvolvida pela experiência ou pela formação profissional.” (BONIFÁCIO, 2017)*

## **2.4 Gestão de Competências**

A gestão baseada em competências provou ser uma ferramenta de valor no aumento de produtividade e performance de uma organização. Draganidis, Chamopoulou e Mentzas (2006) apresentam que as principais vantagens que levam uma organização a adotar um sistema de gestão baseado em competências como sendo as seguintes:

- Identificação das capacidades, conhecimento, comportamentos e aptidões necessárias para ir ao encontro dos requisitos de seleção de pessoal, de acordo com as estratégias e prioridades da organização;
- Capacidade de focar os planos de desenvolvimento individual e coletivo, eliminando a distância entre as competências necessárias ao desempenho de uma função ou posição na organização, e aquelas que realmente existem nos indivíduos disponíveis.

Outros autores, como a organização SINFIC (2007), apresentam diferentes benefícios para a utilização de um sistema de gestão de competências. Destacam-se os seguintes:

- *“Suavização das transições de elementos em fase de reforma para os seus substitutos, pela preparação antecipada da sucessão, com base nos requisitos de competências necessários para cada posição.*
- *Motivação e compensação dos colaboradores, dando-lhes as ferramentas para modelarem os seus objetivos de carreira e alinhá-los com as necessidades das organizações.*
- *Ir de encontro aos objetivos de desempenho e apoiar os objetivos de carreira através do fornecimento de oportunidades de aprendizagem e desenvolvimento que estejam diretamente ligados às necessidades de melhoria de competências.*
- *Capitalização do talento já existente na organização, antes da partida para o recrutamento, utilizando perfis de competências atualizados dos colaboradores existentes.*
- *Melhoria geral da estabilidade da empresa, através do prolongamento do período de contratação dos colaboradores.” (SINFIC, 2007)*

## **2.5 Entidade Organizacional e Posição Organizacional**

Numa organização, os conceitos de Entidade Organizacional e Posição Organizacional devem estar bem definidos. Ambos os conceitos têm um papel preponderante na organização e a gestão dos recursos humanos deve ser efetuada por forma a melhor se adaptar às necessidades da organização.

Uma Entidade Organizacional consiste em órgãos de alto nível que compõem a organização, e que são preenchidas por indivíduos na organização (Páscoa; Pinto; Tribolet, 2011). Uma Entidade Organizacional possui determinados atributos que a caracterizam:

- Designação: Nome da Entidade Organizacional;
- Estrutura;
- Missão: Missão a executar pela Entidade Organizacional;
- Competências: Conjunto de competências da Entidade Organizacional dentro da organização;

- Quadro Orgânico: Totalização do pessoal que pertence à Entidade Organizacional;
- Dependência: Identificação da dependência hierárquica;
- Posição Organizacional.

Como é possível verificar, a Posição Organizacional é um dos atributos da Entidade Organizacional, significando que uma Posição Organizacional é parte integrante da Entidade Organizacional. Pode definir-se Posição Organizacional como um determinado cargo ou função dentro da organização, desempenhado por pessoas (Páscoa; Pinto; Tribolet, 2011). Também a Posição Organizacional comporta atributos, definidos pelos autores como os seguintes:

- Designação: Descrição da Posição Organizacional;
- Funções: Conjunto de responsabilidades e atividades que são atribuídas à Posição Organizacional, com a expectativa de que sejam cumpridas;
- Qualificações: São divididas em Línguas, referindo as línguas às quais é requerida a proficiência do indivíduo num determinado grau; Qualificações Essenciais, aquelas que são imprescindíveis para a execução da Posição Organizacional; e as Qualificações Desejáveis, que são as qualificações que é desejável que um indivíduo possua para cumprir com a Posição Organizacional.

Telha et al (2015), desenvolveram uma representação dos atributos de uma Posição Organizacional para a FA, e considera que é possível caracterizar dois tipos de atributos, os essenciais e os secundários. Do primeiro grupo fazem parte:

- Subunidade: Entidade Organizacional em que se insere a Posição Organizacional;
- Cargo: Descrição da Posição Organizacional;
- Posto;
- Especialidade;
- Qualificações: requisitos que o indivíduo deve possuir para desempenhar a Posição Organizacional;
- Funções: responsabilidades atribuídas à Posição Organizacional.

Os atributos secundários são:

- Número/ Código do Cargo
- Observações: informações úteis para a escolha do indivíduo a ocupar a Posição Organizacional.

### 3. DESENVOLVIMENTO DO MODELO

#### 3.1 Modelo de Organização Online

O modelo de Organização Online para a FA consiste num modelo de gestão de recursos, automático e unificador, pois pretende a gestão das pessoas e Posições Organizacionais da FA de forma eficaz e por competências. Este é composto por diversos componentes e por regras.

Cada componente do modelo tem atributos, que o descrevem e as relações com os restantes componentes. Os componentes são o Indivíduo, as Competências, a Avaliação de Mérito, os Recursos e as Entidades Organizacionais, das quais fazem parte as Posições Organizacionais. As regras são o que regula e gere o modelo, determinando quais as relações existentes e de que forma estas podem alterar e influenciar o modelo e os seus componentes.



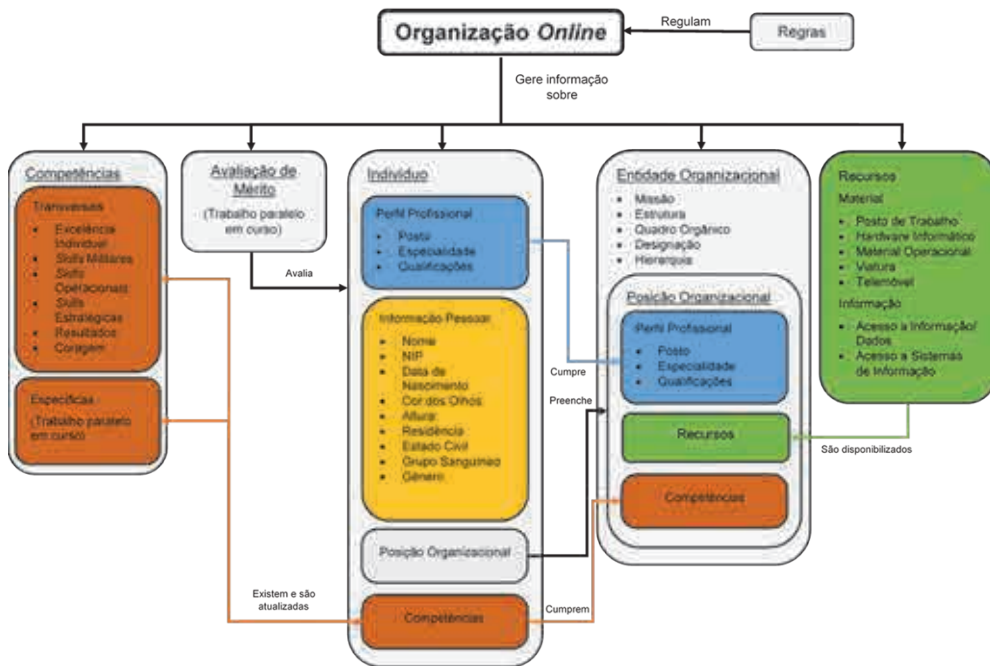


Figura 1 – Modelo de Organização Online para a FA (SANTOS, 2017)

O modelo de Organização Online é composto por componentes e regras. Cada componente do Modelo de Organização Online possui atributos próprios, que descrevem o componente e as relações existentes com outros componentes. Estes são os seguintes: Competências, Avaliação de Mérito, o Indivíduo, Recursos, Entidades Organizacionais e Posições Organizacionais. As regras gerem o modelo, regulam quais as relações existentes, e como elas podem influenciar e alterar a Organização Online.

Um dos componentes principais é o indivíduo. A maior parte do modelo gira em torno dos seus atributos. Os atributos do indivíduo podem ser divididos em 4 áreas: Perfil Profissional, Informação Pessoal, Posição Organizacional e Competências. Posição Organizacional é o atributo que descreve a posição atual do indivíduo na organização. O Perfil Profissional inclui atributos característicos de uma organização militar como a FA, tais como Posto e Especialidade, mas também as Qualificações do Indivíduo. A Informação Pessoal é composta por informação que é importante sobre o indivíduo, mas não é profissionalmente relevante. As Competências também são um atributo.

O componente mais amplo é a Entidade Organizacional. Este componente tem atributos próprios, sendo um deles a Posição Organizacional. As Posições Organizacionais são compostas por 3 atributos, o Perfil Profissional, Recursos e Competências.

O Componente Recursos está dividido em 2 grupos, Material e Informação. Recursos materiais são os recursos físicos que os indivíduos precisam para desempenhar as suas funções. Os recursos de informação podem ser definidos pelo acesso à informação e ao acesso aos sistemas de informação como uma ferramenta de trabalho.

O componente Competência é dividido em Competências Transversais e Competências Específicas.

Avaliação de mérito é um componente que funciona como uma ferramenta de avaliação, combinando

os parâmetros de avaliação de mérito definidos na legislação recente e um sistema de informação *online* para classificar os indivíduos em termos de mérito.

### 3.2 Regras da Organização Online

As relações entre os componentes do modelo, e a forma como um evento específico influencia a organização e o modelo de Organização Online são de extrema importância. Por essa razão o modelo segue um conjunto de regras que serão descritas neste parágrafo.

Para desempenhar uma determinada Posição Organizacional, um indivíduo deve cumprir vários requisitos em termos de perfil profissional, tais como Posto, Especialidade e Qualificações, e em termos de competências. Tanto o perfil profissional como as competências são também um atributo do indivíduo, e somente se os requisitos forem cumpridos pode ocupar a Posição Organizacional. Esta relação entre Posições Organizacionais e Indivíduos assegura que as posições são ocupadas pelos indivíduos mais competentes em cada caso. Para máxima eficácia e eficiência, não basta que a função seja desempenhada pela pessoa mais competente. Devem ser disponibilizados ao indivíduo todos os recursos necessários para o desempenho de funções. Desta forma, o Componente Recursos relaciona-se com o Componente Posição Organizacional, disponibilizando ao indivíduo todas as ferramentas para suas funções.

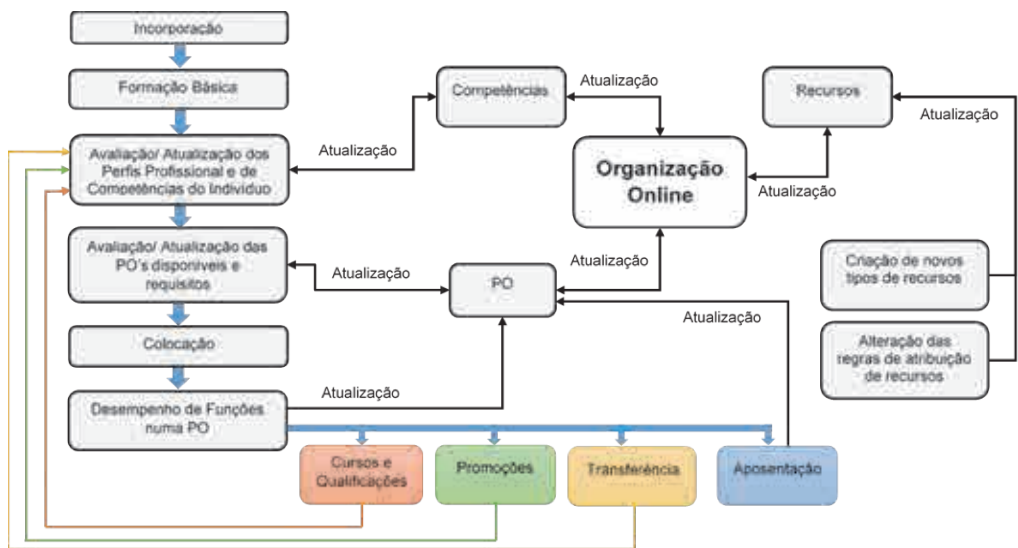


Figura 2 - Carreira Individual e eventos com impacto no Modelo de Organização Online (SANTOS, 2017)

A Figura 2 mostra que, desde a incorporação na organização, ao desempenho de funções numa Posição Organizacional, o indivíduo passa pela Formação Básica, Avaliação do Perfil de Competências e Perfil Profissional, Avaliação das Posições Organizacionais disponíveis e requisitos das mesmas, e finalmente, Colocação e Desempenho de funções. Todos estes passos influenciam a organização de uma forma diferente, mas mesmo após a colocação, o indivíduo continua a ter influência no modelo de Organização *Online*, através de vários eventos como novos cursos e qualificações, promoções, transferências e aposentação. Os três primeiros eventos implicam que uma nova avaliação dos Perfis Profissionais e de Competências deve ser executada. Em seguida, o indivíduo segue a cadeia de eventos normal até à colocação em nova

Posição Organizacional. O último evento, aposentação, implica que a Posição Organizacional anterior do indivíduo está agora desocupada. Para garantir a máxima eficiência, os componentes Competência e Posição do trabalho do modelo Organização *Online* devem ser atualizados. Em relação aos recursos, estes podem ser alterados ao longo do tempo na organização. Uma alteração nas regras de alocação de recursos ou a criação de novos recursos para Posições Organizacionais têm impacto no modelo, levando a atualizações e mudanças necessárias.

### **3.3 Validação**

A validação do modelo passou pela aplicação do mesmo a uma Posição Organizacional e ao Indivíduo que a ocupa, utilizando os Perfis de Competências previamente estabelecidos em investigações prévias por Quintas (2016) e Rodrigues (2016), e estabelecendo de raiz tanto o Perfil de Competências Específicas como o Perfil Profissional, de acordo com os manuais da organização. Também foram definidos quais os recursos necessários para a PO em questão.

Após definição dos perfis, foram comparados os atributos do Indivíduo e da Posição Organizacional, por forma a verificar se é possível correlacionar os atributos de ambos os componentes e garantir que os atributos do Indivíduo correspondem aos atributos mínimos para ocupar a PO e desempenhar as funções características da mesma.

## **4. CONCLUSÃO**

A introdução do modelo de Organização *Online* na FA implica uma mudança no método atual de gestão de recursos, quer humanos quer materiais, na Organização, em que as pessoas são geridas com base na progressão na carreira e numa estrutura hierarquizada de acordo com o cariz militar da Força Aérea.

O uso do modelo de Organização *Online*, que efetua a gestão de pessoas por competências, permite um aumento de eficiência na gestão de recursos humanos. Através da avaliação automática dos Perfis Profissionais e de Competências, cada PO irá experienciar uma maior efetividade no desempenho de funções por parte dos indivíduos, tendo em conta que foram selecionados como os mais capazes para ocupar a Posição Organizacional. Este aumento de efetividade é potenciado pelo facto de o modelo permitir também uma atribuição de recursos facilitada, em que se garante os recursos necessários a cada PO, de acordo com a instanciação efetuada dos recursos disponíveis na organização.

O impacto nos indivíduos e na forma como desempenham as suas funções também é notório. Tendo em conta que os recursos são atribuídos à PO e não ao Indivíduo, o modelo garante que todos os recursos necessários estão disponíveis, e o Indivíduo tem acesso aos mesmos de forma automática aquando do acesso ao computador que serve a sua PO.

É fundamental que a longo prazo seja adotado pela FA um sistema de gestão de recursos integrado e unificador, pelo que o modelo de Organização *Online* permite a gestão das pessoas e recursos na FA de forma facilitada e automática.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Telha, A., Andrade, N., Páscoa, C., Tribolet, J. (2015): Representation of the Attributes of an Organizational Position in Business Processes, *Procedia Computer Science* Volume 64, 2015, Pages 570–577. Conference on ENTERprise Information Systems, CENTERIS/ProjMAN / HCist 2015 October 7-9, 2015, doi:10.1016/j.procs.2015.08.567.
- [2] CAMARA, Pedro; GUERRA, Paulo; RODRIGUES, Joaquim. – **Novo Humanator**. 4ª ed. Alfragide: Publicações Dom Quixote, 2010. ISBN 972-20-2023-4.
- [3] CEITIL, Mário – **Gestão e Desenvolvimento de Competências**. 1ª ed. Lisboa: Edições Sílabo, 2010. ISBN 978-972-618-409-6.
- [4] DRAGANIDIS, Fotis; CHAMOPOULOU, Paraskevi; MENTZAS, Gregoris - **An Ontology Based Tool for Competency Management and Learning Paths**. [Em linha]. 2006. [Consult. 8 out 2015]. Disponível em WWW: <URL:http://imu.ntua.gr/sites/default/files/biblio/Papers/an-ontology-based-tool-for-competency-management-and-learning-paths.pdf>.
- [5] ERIKSSON, Hans-Erik; PENKER, Magnus – **Business Modeling with UML: Business Patterns at Work**. 1ª ed. Wiley, 2000. ISBN 047-129-551-5.
- [6] Telha, A., Ribeiro, N., Páscoa, C., Tribolet, J. (2015): Representing of the “Qualification” concept in Business Processes, *Procedia Computer Science* Volume 64, 2015, Pages 180–187. Conference on ENTERprise Information Systems, CENTERIS/ProjMAN / HCist 2015 October 7-9, 2015, doi:10.1016/j.procs.2015.08.568.
- [7] Páscoa, C.; Pinto, S.; Tribolet, J. (2011): Ontology construction: Portuguese Air Force Headquarters Domain, *Springer Lecture Notes in Business Information Processing (LNPIB) Series* Volume 89, 2011, pp 83-109, *Practice-driven Research on Enterprise Transformation (PRET) Third Working Conference*.
- [8] LILES; Donald; PRESLEY, Adrien - Enterprise Modeling within an Enterprise Engineering Framework. **Winter Simulation Conference**. Washington. ISSN 02750708. dezembro 1996.
- [9] DIETZ, Jan; HOOGERVORST, Jan - The discipline of enterprise engineering. **Int. J. Organisational Design and Engineering**. 3:1 (2013) 86–114.
- [10] GONTIUK, Viktoriia - The Conceptual Aspects of Human Resource Evaluation. **Management Theory and Studies for Rural Business and Infrastructure Development**. ISSN 18226760. 35:4 (2013) 522–528.
- [11] HOOGERVORST, Jan A P. - **Enterprise Governance and Enterprise Engineering**. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2009. ISBN 978-3-540-92670-2.
- [12] LAUDON, Kenneth C.; LAUDON, Jane P. - **Essentials of Management Information Systems**. 12ª ed. [S.l.] : Pearson Education, Inc., 2016. ISBN 978-0-13-423824-1.
- [13] Organisational Engineering Institute (OEI) - **Organisational Engineering** [Em linha], atual. 2016. [Consult. 25 out. 2016]. Disponível em WWW:<URL:http://www.oeinstitute.org>.
- [14] Telha, A.; Quintas, M.; Páscoa, C.; Tribolet, J. (2016): Transversal Competency Concept as a Structuring Element of the Organization, *Procedia Computer Science*, Volume 100, 2016, Pages 658–664, International Conference on ENTERprise Information Systems/International Conference on Project MANagement/International Conference on Health and Social Care Information Systems and Technologies, CENTERIS/ProjMAN / HCist 2016, <http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2016.09.208>.
- [15] RESMINI, Andrea; ROSATI, Luca - **Pervasive Information Architecture - Designing Cross-Channel User Experiences**. Burlington : Elsevier, Inc, 2011. ISBN 9780123820945.
- [16] ROSENFELD, Louis; MORVILLE, Peter; ARANGO, Jorge - **Information Architecture for the**

**World Wide Web.** 4ª ed. Sebastopol : O'Reilly Media, Inc, 2015. ISBN 9781491911686.

- [17] SANTOS, Tiago - **A Organização Online.** Sintra: Academia da Força Aérea, forthcoming in 2017. Dissertação de Mestrado.
- [18] SINFIC - **Gestão de Competências: o Fundamento Para a Gestão de Talentos** [Em linha], atual. 2007. [Consult. 2 jan. 2017]. Disponível em WWW:<URL:http://www.sinfic.pt/SinficWeb/displayconteudo.do?numero=24891>.
- [19] SLAVIC, Agnes; BERBER, Nemanja; LEKOVIC, Bojan - Performance management in international human resource management: Evidence from the CEE region. **Serbian Journal of Management.** ISSN 1452-4864. 9:1 (2014) 45–58.
- [20] TRIBOLET, José; MAGALHÃES, Rodrigo - Engenharia Organizacional: das partes ao todo e do todo às partes na dialéctica entre pessoas e sistemas. **Ventos de Mudança.** (2007) 1–15.
- [21] BONIFÁCIO, João – **Identificação de Competências Específicas.** Sintra: Academia da Força Aérea, forthcoming in 2017. Dissertação de Mestrado.

# A eficácia do *Crew Resource Management* nas tripulações da Força Aérea



*André Garcia*

**Autor:** Euríalo Miguel Vieira Lopes de Sousa Viana Aspirante,  
Aluno no Mestrado Integrado em Aeronáutica Militar na especialidade de Piloto Aviador  
Academia da Força Aérea, Sintra

**Orientador:** Professor Doutor Luís Miguel Pereira Lopes  
Instituto Superior de Ciências Sociais e Políticas, Universidade de Lisboa

**Coorientadora:** Ana Patrícia Gomes Farinha, Capitão Psicóloga  
Academia da Força Aérea, Sintra

**Resumo:** Esta investigação tem como objetivo avaliar a eficácia atual do modelo de CRM existente na Força Aérea, através da análise das atitudes dos tripulantes, avaliadas por um instrumento de medida adaptado ao contexto aeronáutico militar.

A amostra deste estudo consiste em 107 tripulantes de voo, desde pilotos e restantes tripulantes, alunos tirocinantes e operadores de UAVs, que correspondem a 22% da população-alvo (N=483). Foi utilizada uma metodologia quantitativa de recolha e análise de dados, através da aplicação de um inquérito por questionário. O instrumento de medida utilizado tem como base o *Army Aviation Crewmember Questionnaire* (AACQ), desenvolvido por Simon e Grubb (1995), posteriormente adaptado para o contexto da Força Aérea. O *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) foi o programa estatístico utilizado para o tratamento e análise dos dados recolhidos.

Concluiu-se que o estágio de CRM não só é adequado à realidade da Força Aérea, como apresenta uma influência positiva nas atitudes dos tripulantes, reforçando assim a sua importância para a segurança de voo. Deste modo, a Força Aérea deve unir esforços para que todos os seus tripulantes frequentem este estágio e, de igual modo, proporcionar um refrescamento num determinado intervalo de tempo a definir.

Concluiu-se também a inexistência de diferenças significativas entre as tripulações de voo dos diferentes tipos de aeronave, indo de encontro à crescente sensibilização e consciencialização do mundo aeronáutico para estas temáticas.

Verificou-se ainda que os pilotos mais velhos encorajam a existência de um clima de *cockpit* mais aberto e dão mais importância à comunicação do seu estado psicológico e físico que os pilotos mais novos.

Por último, aferiu-se que os Oficiais têm um maior reconhecimento das suas limitações humanas comparativamente aos Sargentos, na medida em que têm uma maior consciência dos fatores que podem afetar a sua *performance*.

A principal contribuição desta dissertação foi a adaptação/criação de um questionário de atitudes para a sua possível inclusão nos estágios de CRM na Força Aérea.

**Palavras-chave:** *Crew Resource Management*, *Cockpit Resource Management*, Força Aérea Portuguesa, Avaliação da Eficácia do Treino, Tripulações de Voo.

## 1. INTRODUÇÃO

Na década de 70, centenas de passageiros de linha aérea perderam as suas vidas devido a erros básicos de três tripulações que dispunham de milhares de horas de voo e que falharam na verificação dos níveis de combustível, na monitorização da altitude e numa má interpretação do controlo de tráfego aéreo. Para além disso pertenciam a países, onde os padrões de treino e certificação não eram questionados (Salas, *et al.*, 1999).

Após este marco histórico chegou-se à conclusão, através de estudos como os de Cooper, White, e Lauber (1980) e Murphy (1980, cit. por Cooper, White, & Lauber, 1980), que o erro do piloto estava mais relacionado com as falhas na comunicação e coordenação da equipa ao invés das suas capacidades técnicas. Na verdade, Helmreich e Foushee (2010) relataram que as causas em mais de 70% dos acidentes fatais na aviação comercial, de 1959 até 1989, foram causadas por fatores humanos.

Reconhecendo o papel fundamental dos fatores humanos na eficácia das tripulações, em situações comuns ou inesperadas como emergências, a comunidade aeronáutica abraçou o conceito de *Crew*

*Resource Management* (CRM). O *Cockpit Resource Management*, como ficou inicialmente conhecido, nasce em 1978, após o acidente aéreo do voo 173 da *United Airlines* (Salas, Wilson, Burke, Wightman, & Howse, 2006).

A Força Aérea (FA) sob a tutela da Inspeção-Geral da Força Aérea (IGFA), com o apoio do Centro de Psicologia da Força Aérea (CPISFA) e do Centro de Medicina Aeronáutica (CMA), ministra um estágio de CRM desde 1997, a todos os tripulantes e não tripulantes relacionados com operação de voo (Fonseca, 2004). O curso de CRM consiste num estágio de 26 horas ao longo de quatro dias e meio, onde são desenvolvidas temáticas base como trabalho em equipa, liderança, *situational awareness*, tomada de decisão, comunicação e ciclos circadianos.

As aeronaves militares, para além de executarem diferentes tipos de missões, são na sua génese muito diferentes no tipo de voo, número de tripulantes e missão que desempenham. A este facto, acrescem as variáveis específicas de cada tripulante, desde a sua idade, função a bordo e o tipo de aeronave que voa. O objetivo do presente estudo é, assim, avaliar a eficácia do modelo de CRM existente na FA, ao nível das atitudes, ministrado de forma universal para todos os tripulantes.

Consequentemente, esta investigação pretende estudar a influência do estágio de CRM nas tripulações da FA, comparando as atitudes entre os tripulantes que frequentaram e os que não frequentaram o curso, tendo em conta os diversos tipos de aeronave (caças, helicópteros, aviões *multicrew* e UAVs), a missão realizada e as demais características demográficas dos tripulantes. O outro propósito deste estudo é verificar se o treino ministrado é adequado à realidade da organização, averiguando a possível necessidade de diferenciação do treino consoante a aeronave/missão, algo nunca antes realizado na FA. Outra inovação é a inserção dos operadores de UAVs, um sistema em amplo desenvolvimento, não só na FA, como também no mundo da aviação.

Desta forma torna-se relevante responder à seguinte pergunta de partida: “Qual é o impacto do CRM nas atitudes dos tripulantes?”

De forma a responder à pergunta de partida, pretende-se que seja alcançado o seguinte objetivo geral: Analisar em que medida a formação de CRM tem impacto nas atitudes dos tripulantes.

Integrando o objetivo geral acima indicado, emergem os seguintes objetivos específicos:

1. Avaliar se o modelo de CRM é adequado à realidade da FA;
2. Avaliar se um modelo adaptado a cada esquadra/tripulante/aeronave seria mais adequado;
3. Verificar se existem diferenças ao nível das atitudes entre quem frequentou e quem não frequentou o estágio de CRM;
4. Avaliar se existem diferenças entre tipos de aeronave ao nível das atitudes;
5. Avaliar se existem diferenças nas atitudes entre tripulantes com função/posto/idade diferentes.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Originalmente apelidado de *Cockpit Resource Management*, o treino de CRM surge devido ao reconhecimento, por parte da comunidade aeronáutica, de que as capacidades técnicas não seriam suficientes para uma operação segura (CAA, 2016), dado o aumento do número de acidentes relacionados com as competências não-técnicas (Jimenez, Kasper, Rivera, Talone, & Jentsch, 2015).

Era inequívoco que os pilotos necessitavam de evoluir na forma como geriam todos os recursos disponíveis no *cockpit*, incluindo procedimentos, interface com a máquina, tripulação e limitações pessoais.



Esta gestão de recursos foi a essência original do treino de CRM, daí a sua designação. É resultado de uma junção de vários domínios científicos como é o caso da comunicação, teorias da personalidade, erro e liderança. Em contrapartida, outros conceitos foram herdados da prática comum aeronáutica, tais como *airmanship* e *captaincy* (CAA, 2016).

A constatação de que os princípios aplicados no *Cockpit Resource Management* não eram só necessários dentro do *cockpit* fez com que a sua nomenclatura acompanhasse a evolução do treino, tendo sido mais tarde apelidada de *Crew Resource Management*, de forma a englobar recursos mais amplos da tripulação (Jimenez, Kasper, Rivera, Talone, & Jentsch, 2015). Atualmente, o CRM é considerado parte fundamental do treino para a maioria dos profissionais da aviação que atuam a nível operacional, destacando-se não só os tripulantes de voo, como também os controladores aéreos e engenheiros (CAA, 2016).

Salas e colegas (1999, p. 163) definem CRM como o conjunto de estratégias formativas que procuram melhorar o trabalho em equipa, através da aplicação de ferramentas de treino bem testadas (ex. simuladores, palestras, vídeos) direcionadas para um conteúdo específico (ou seja, conhecimentos de trabalho em equipa, *skills* e atitudes).

Atualmente, o treino de CRM foca-se em ampliar a influência dos membros da tripulação de uma forma positiva. A relação do comandante com os restantes tripulantes deve ser amigável, recetiva e compreensiva, sendo o primeiro, indubitavelmente, o decisor dos destinos da aeronave. Em sùmula, o *cockpit* deverá ter uma forte sinergia e um ambiente permissivo e permeável à comunicação entre subordinados e superiores (Helmreich & Merritt, 1996).

Para tal, a aviação exige um conjunto de *skills* para além do treino técnico tradicional (Jones, 2009). Através dos programas de treino de CRM, ministrados em cinco diferentes instituições, foram identificadas e definidas um conjunto de *non-technical skills* fundamentais para o CRM, que todos partilham, dos quais se destacam: Comunicação, Liderança, *Situational Awareness* e Tomada de Decisão.

O conceito de CRM foi formalmente criado num *workshop* organizado pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), em 1980, denominado de *Resource Management on the Flight Deck* (Cooper, White, & Lauber, 1980). Esta conferência foi o resultado de mais de 60 investigações a acidentes de transporte aéreo internacional realizadas pela NASA, entre 1968 e 1976 (Cooper, White, & Lauber, 1980). A conclusão das investigações determinaram que os problemas de *resource management* apresentaram um papel preponderante nos acidentes, consequência de falhas no domínio da comunicação interpessoal, tomada de decisão e liderança (Helmreich, Merritt, & Wilhelm, 1999).

Neste encontro a designação *Cockpit Resource Management*, é definida como o processo de treino de tripulações com o objetivo de melhorar a gestão de recursos humanos dentro do *flight deck*, de modo a reduzir o erro do piloto. A crescente consciencialização das companhias aéreas levou ao desenvolvimento de programas de treino, por forma a melhorar os aspetos interpessoais das operações de voo, enfatizando assim a vertente social para além da técnica (Helmreich, Merritt, & Wilhelm, 1999).

A primeira geração de cursos focava em grande parte a dimensão psicológica e os comportamentos interpessoais gerais, no entanto não dava ênfase aos comportamentos de equipa críticos no *cockpit* (Wilson, Guthrie, Salas, & Howse, 2010).

A segunda geração de CRM trouxe consigo a alteração da designação de *Cockpit Resource Management* para *Crew Resource Management*. Esta mudança veio acompanhada de um novo foco de treino, a tripulação. O piloto deixava de ser treinado como um indivíduo e passava a ser treinado como um elemento de uma equipa, onde os comportamentos era verificados e desenvolvidos (Helmreich, Merritt, & Wilhelm, 1999).

A incorporação do *glass cockpit* levou ao surgimento da 3ª geração de treino de CRM (Maurino & Murray, 2010). Neste período, o treino foi expandido para além do *cockpit*, sendo ministrado aos aviadores, aos instrutores responsáveis pelo treino e pela avaliação de erros técnicos e humanos, e às tripulações de cabine (Wilson, Guthrie, Salas, & Howse, 2010).

A introdução do *Advanced Qualification Program* (AQP) por parte da *Federal Aviation Administration* (FAA) marca o início da 4ª geração.

A inevitabilidade do erro humano é a ideia de destaque da 5ª geração de CRM, tendo o foco do treino sido redirecionado para a gestão do erro. Nesta geração dá-se extrema importância ao *feedback* e são reforçados os conceitos CRM através do LOFT e das LOEs (Wilson, Guthrie, Salas, & Howse, 2010).

Embora haja uma grande influência por parte das gerações anteriores, é a 6ª geração que atualmente se encontra em vigor na indústria aeronáutica. Esta geração é conhecida como *Threat and Error Management* (TEM).

Não tendo sido bem aceite pelos aviadores militares, o treino de CRM foi introduzido pela primeira vez nas forças armadas americanas no final dos anos 80 (Alkov, 1989, cit. por Salas, Wilson, Burke, Wightman, & Howse, 2006), tornando-se obrigatório no meio militar no início dos anos 90 (Salas & Burke, 2006). Apesar das notáveis semelhanças existentes entre os *cockpits* de aeronaves civis e militares, no que diz respeito a atitudes e comportamentos, existiam por outro lado diferenças significativas que necessitavam, compreensivelmente, de avaliação no que se refere ao chamado “CRM genérico” (Cavanagh & Williams, 1987).

O piloto militar diferencia-se por si só na missão que tem sob a sua responsabilidade e na ínfima margem de erro de que dispõe comparativamente aos seus homónimos civis (McGreevy & Otten, 2007). Voar uma aeronave com níveis de *performance* elevados, operando ainda todos os seus sistemas, armamento e sensores, torna a operação aérea militar extremamente complexa. Por consequência, a existência de fatores como o ambiente operacional, as restrições de tempo, a coordenação da missão e a carga de trabalho, podem ainda tornar o reconhecimento e atenuação dos erros mais difícil para os pilotos militares (O'Connor, Hahn, & Nullmeyer, 2010).

Inicialmente dirigido exclusivamente a tripulantes de aeronaves plurimotores, o programa de CRM da FA passou, desde 2003, não só a integrar pilotos de caça como também técnicos e operadores de controlo de tráfego aéreo (Fonseca, 2004).

O curso está dividido em sessões teóricas e sessões práticas, ministradas por pilotos, psicólogos, médicos e convidados civis (Anexo A). As sessões teóricas socorrem-se sobretudo do conhecimento declarativo, com objetivo de desenvolver, nas sessões práticas, o conhecimento procedimental, através da visualização de filmes e exercícios práticos. O objetivo final é, assim, transformar a aprendizagem em comportamentos (Fonseca, 2004).

Do *syllabus* do curso de CRM da FA fazem parte: a liderança, os ciclos circadianos, a comunicação, o stress, o trabalho em equipa, a perceção de risco, o *situational awareness* e o processamento de informação /tomada de decisão (Anexo A). Neste estudo serão referenciadas cinco tipos de aeronaves<sup>(1)</sup>: os caças, os *trainers*, os aviões *multicrew*, os helicópteros, e os UAVs.

(1) **Caça**: Lockheed Martin F-16 *MLU Fighting Falcon* (Esquadra 201 Falcões e 301 Jaguares). **Trainer**: De Havilland Canada Chipmunk MK20 (Esquadra 802 Águias); Aerospaciale Epsilon TB-30 (Esquadra 101 Roncos). **Aviões Multicrew**: Lockheed C-130H/H-30 *Hercules* (Esquadra 501 Bisontes); EADS C-295M *Persuader* (Esquadra 502 Elefantes); Lockheed P-3C Cup+Orion (Esquadra 601 Lobos); Marcel-Dassault Falcon 50 (Esquadra 504 Linces). **Helicópteros**: AgustaWestland EH-101 *Merlin* (Esquadra 751 Pumas); Sudaviation SE-3160 *Allouette III* (Esquadra 552 Zangões). **UAVs (CIDIFA)**: Antex-X02 Alfa; Antex-02 Alfa Extended; Antex-X03.

No meio aeronáutico persiste a crença, sobretudo entre os que envergam uma asa ao peito, de que o piloto nunca está ansioso nem demasiado sobrecarregado nas suas tarefas. Enquanto os pilotos mantiverem esta imagem de invulnerabilidade, o erro irá indubitavelmente ocorrer, porque estes continuarão a ignorar os sinais de alerta sobre o seu desempenho e continuarão a levar a máquina humana para além dos seus limites (Helmreich, Merritt, & Sherman, 1996).

Para combater esta convicção é fundamental não só ministrar o treino como também avaliar a sua eficácia, através da recolha, análise e interpretação dos resultados, por forma a desenvolver e melhorar os programas de CRM (Ford, Henderson, & O'Hare, 2014). Na avaliação do treino é necessário assegurar o efeito positivo na *performance* das tripulações, independentemente do tipo de aeronave, condições operacionais, riscos emergentes e características demográficas dos aviadores (O'Connor, *et al.*, 2008).

A avaliação do treino foi definida por Goldstein (1993, p. 138, cit. por Goldstein & Ford, 1993) como a recolha sistemática de informações descritivas e de julgamento necessárias para tomar decisões de treino eficazes relacionadas com a seleção, adopção e modificação das várias atividades de instrução.

Embora seja reconhecido que a avaliação sistemática é uma tarefa árdua, esta é a única forma de assegurar que treino está a provocar o efeito desejado e é um investimento sustentável para a organização (Salas, Burke, Bowers, & Wilson, 2001).

A tipologia de Kirkpatrick (1976) emerge, naturalmente, como a estrutura mais popular para desenvolver avaliações de treino. Kirkpatrick defendeu uma abordagem multinível para a avaliação do treino, resumindo-se a quatro níveis de avaliação: (1) reação, (2) aprendizagem, (3) comportamento e (4) impacto organizacional (Salas, Burke, Bowers, & Wilson, 2001) providenciando, deste modo, um quadro útil para avaliar os seus efeitos (O'Connor, *et al.*, 2008).

Nível 1: Reação. Foca a forma como os participantes reagem ao treino. Questiona se os participantes gostaram do treino e se acharam que valeu a pena (O'Connor, *et al.*, 2008).

Nível 2: Aprendizagem. A avaliação no nível da aprendizagem fornece dados sobre a extensão da mudança de conhecimento, *skills* ou atitudes decorrentes de um programa de treino (Tamkin, Yarnall, & Kerrin, 2002)

Nível 3: Comportamento. O terceiro nível mede se a aprendizagem foi assimilada e transferida para os comportamentos, quer seja em ambiente real ou simulado.

Nível 4: Impacto Organizacional. É o último nível da hierarquia e também universalmente reconhecido como o mais difícil de ser atingido, devido ao facto do treino não ser o único fator causal relevante (Tamkin, Yarnall, & Kerrin, 2002). Tem como objetivo averiguar se o programa de treino produziu a nível organizacional efeitos na segurança e na produtividade (O'Connor, *et al.*, 2008).

Os mais de cem anos de aviação permitiram, não só uma evolução tecnológica das aeronaves, como também das capacidades técnicas e não-técnicas dos aviadores. A introdução do CRM no mundo aeronáutico alertou os tripulantes para a importância dos conceitos abordados nestes cursos. Apesar de voarem aeronaves diferentes, os tripulantes da FA estão sujeitos a uma doutrina muito semelhante no que diz respeito ao voo, sendo, deste modo, expectante uma semelhança nas atitudes entre as tripulações.

No âmbito do CRM, foi realizado um estudo por Jones (2009), que tinha como objetivo estudar a eficácia do programa de treino de CRM na aviação naval americana, USN e USMC, através das diferentes aeronaves e diferentes tipos de aviadores. No que se refere às diferenças nas atitudes dos pilotos, os resultados mostraram a inexistência de discrepâncias significativas. Não obstante, foi possível constatar que os pilotos de Helicópteros eram mais sensíveis ao stress de outros elementos da equipa do que os pilotos de Caça.

Outra conclusão feita por Jones (2009) foi que os pilotos mais velhos encorajavam a existência de um

clima de *cockpit* mais aberto do que os aviadores mais novos, explanado pelos resultados nos fatores “*Command Responsibility*” e “*Communication*”.

No estudo desenvolvido por Stewart (2014), onde foram estudadas as diferenças de Atitudes de CRM, agora relativamente aos tripulantes da *United States Coast Guard* (USCG), ficou concluído a inexistência de diferenças significativas entre tripulações de aeronaves *Multicrew* e Helicópteros, excepto no fator “*Recognition of Stressor Effects*”, tal como no estudo anteriormente referenciado. No que toca às diferenças entre pilotos e restantes tripulantes não foram constatadas diferenças significativas.

Deste modo, com base nas investigações anteriores, é possível formular as seguintes hipóteses:

**Hipótese 1:** Não existem diferenças significativas nas Atitudes de CRM entre as diversas tripulações da FA.

**Hipótese 2:** A idade tem um efeito positivo nas Atitudes de CRM demonstradas pelos pilotos.

**Hipótese 3:** Não existem diferenças significativas nas Atitudes de CRM entre os pilotos e restantes tripulantes.

O'Connor e colegas (2010) analisaram 27 estudos que examinaram, especificamente, a eficácia do CRM ao nível militar. Estes estudos usaram a tipologia de Kirkpatrick (1976) nos quatro diferentes níveis de avaliação. Foi concluído que o treino de CRM teve um impacto positivo nas tripulações, não só na reação positiva que existiu, como no efeito positivo ao nível das atitudes, conhecimentos e comportamentos dos participantes.

Tendo em conta o anteriormente descrito podemos elaborar a seguinte hipótese:

**Hipótese 4:** O estágio de CRM na FA tem um efeito positivo nas atitudes dos tripulantes.

### 3. METODOLOGIA

O presente trabalho tem como finalidade a avaliação das atitudes dos tripulantes na FA. Deste modo, para alcançar as metas propostas, optou-se pela metodologia quantitativa de recolha e análise dos dados. Dada a impossibilidade de se estudar longitudinalmente a amostra, existiu apenas um momento de recolha de dados.

O método de investigação quantitativa torna-se oportuno quando a recolha quantificada de opiniões da amostra e a sua análise e qualificação é possível (Sousa & Baptista, 2011).

O modelo quantitativo utilizado notabiliza-se pela formulação de hipóteses *à priori* e de estratégias de modo a comprovar determinado acontecimento. Através da exploração e domínio das variáveis, valorizando a eficácia e credibilidade, tem como objetivo revelar dados, parâmetros e propensões observáveis (Deslandes & Assis, 2002, cit. por Vilelas, 2009). O instrumento de medida mais comum para a colheita de dados é o questionário. Esta técnica garante não só a recolha e processamento dos dados simplificada e rápida, como a confidencialidade dos intervenientes (Victoria, 2000, cit. por Vilelas, 2009).

#### 3.1 Amostra

Neste estudo, a população-alvo foram todos os tripulantes de voo, colocados ou adidos na esquadra de voo da FA (N=483). Os alunos tirocinantes, os operadores de UAVs e os pilotos recém-formados foram também integrados no estudo para fornecer uma perspetiva diferente e inovadora naquilo que se refere às Atitudes de CRM. Os primeiros, pelo facto de não serem ainda brevetados, os segundos, pelo tipo de voo

diferenciado relativamente aos restantes e, por último, os pilotos em qualificação, pela baixa experiência de voo. Os tripulantes que já não exercem funções de voo foram excluídos do estudo, uma vez que já não têm influência nas tripulações da FA.

Os questionários foram enviados para os Comandantes de Unidade, Comandantes do Grupo Operacional e Comandantes de Esquadra das respetivas Unidades-Base, tendo sido difundidos para os tripulantes de voo. O envio para toda a população-alvo gerou uma amostra de 107 elementos. A média de idades foi de 33 anos, com um máximo e mínimo de 23 e 53 anos respetivamente. A média de horas de voo foi 1186,66, com um mínimo de 30 horas e um máximo de 5000 horas. Relativamente à realização do estágio de CRM, cerca de 50% dos inquiridos realizaram o curso, tendo a sua maioria concluído há mais de 2 anos e menos 7 anos (31,7%).

A tabela seguinte (Tabela 1) apresentam uma descrição das características da amostra obtida.

Tabela 1: Caraterização comparativa da amostra e população em estudo

	População	Amostra
PilAv	193	62
Não PilAv	269	28
Aluno	12	9
Operador de UAVs	9	8
Total	483	107
<b>Percentagem</b>	100	22

A Tabela 1 compara a amostra obtida com a população. Como pode ser observado, foi obtida uma taxa de resposta de 22%.

Tabela 2. Postos dos indivíduos da amostra

Posto	Frequência	Percentagem
Oficial Superior	11	10,3
Capitão	37	34,6
Oficial Subalterno	36	33,6
Sargento-Ajudante/Sargento-Chefe/Sargento-Mor	8	7,5
2º Sargento/1º Sargento	15	14
<b>Total</b>	107	100

A Tabela 2 revela a frequência de respostas por posto, tendo os Capitães obtido o maior número de respostas (34,6%) e os Sargento-Ajudante, Sargento-Chefe e Sargento-Mor o menor número (7,5%).

Tabela 3. Tipo de aeronave dos indivíduos da amostra

Tipo de Aeronave	Frequência	Percentagem
<i>Trainer</i>	23	21,5
Caça	5	4,7
Aviões <i>Multicrew</i>	54	50,5
Helicópteros	17	15,9
<i>Unmanned Aerial Vehicle (UAV)</i>	8	7,5
<b>Total</b>	107	100

A Tabela 3 mostra o tipo de aeronave que os indivíduos da amostra voam. Os Aviões *Multicrew* foram aqueles que obtiveram o maior número de respostas (54), e as aeronaves de Caça, o menor número (5).

### 3.2 Instrumento

O método mais popular para a avaliação das atitudes dos pilotos, relativamente aos conceitos abordados no treino de CRM, é através do uso de questionários (Jones, 2009). Segundo O'Connor (2011), as ferramentas mais utilizadas são o CMAQ (Helmreich, 1984) e o *Flight Management Attitude Questionnaire* (FMAQ; Helmreich, Merritt, Sherman, Gregorich, & Wiener, 1993).

Nesta investigação, o instrumento utilizado consistiu num inquérito por questionário baseado no CMAQ, denominado de *Army Aviation Crewmember Questionnaire* (AACQ) (Simon, Risser, & Pawlik, 1992).

O AACQ foi desenvolvido pela *Dynamics Research Corporation* (DRC), em 1992, para o uso em ambiente militar, mais concretamente no *United States Army* (USA).

Dos 25 itens, originários do CMAQ, cinco foram eliminados, 14 foram revistos e 18 foram adicionados, resultantes do projeto "*Development of Measures of Crew Coordination*" juntamente com a experiência e conhecimento de cada aviador (Simon, Risser, & Pawlik, 1992). Em 1995, foi feita a validação deste questionário pela mesma instituição, originando uma versão mais atualizada do mesmo. O novo questionário é ligeiramente diferente daquele que Simon e colegas idealizaram, em 1992. Várias questões foram revistas, algumas retiradas e outras adicionadas com base nas *lessons learned* de recolhas de dados anteriores. Atualmente, é constituído por 46 itens numa escala de Likert de sete pontos, juntamente com uma secção usada para recolha de dados pessoais (Simon & Grubb, 1995).

Neste estudo foi feita uma adaptação da segunda versão deste questionário, de modo a adequar-se à realidade da FA. Foram retirados alguns itens, devido a razões linguísticas e de interpretação, para melhor compreensão dos tripulantes.

### 3.3 Procedimento

Previamente à aplicação e execução do questionário, foi realizado um requerimento a Sua Excelência o Chefe de Estado Maior da FA para autorização do mesmo.

Para identificar os indivíduos que integram a população foi usado o Sistema Integrado de Apoio à Gestão na Força Aérea (SIAGFA). Este programa contém informações relativas às pessoas que fazem parte das esquadras de voo, bem como funções a bordo, horas de voo e posto. Entre 19 de Fevereiro e 12 de Março decorreu a aplicação dos questionários através do *Google Forms*.

Nesta dissertação foram utilizados um conjunto variado de sistemas informáticos para a sua elaboração entre os quais, o *Microsoft Office Word 2013* para a parte escrita incluindo tabelas, o *Groupwise*<sup>(2)</sup> para a difusão dos questionários pelas esquadras de voo e o *SPSS* versão 22.0 para a análise de dados.

## 4. RESULTADOS

Procedeu-se à apresentação da estatística descritiva, da análise de correlações de Pearson e dos testes de diferenças de médias realizados através de teste *t-Student* para amostras independentes, das Anova e da Manova.

(2) O *Groupwise* é uma plataforma de correio interno existente na FAP.

## 4.1 Análise Descritiva

Neste subcapítulo encontra-se a estatística descritiva relativamente aos fatores e ao valor global “Atitudes de CRM”. Os valores encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4. Estatística descritiva dos fatores

	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
<b>Atitudes de CRM</b>	107	3,75	6,94	5,97	,69
<b>Liderança</b>	107	2,20	7,00	6,11	1,00
<b>Comunicação e Coordenação</b>	107	3,25	7,00	6,16	,78
<b>Reconhecimento dos Efeitos de Stress e Fadiga</b>	107	2,50	7,00	6,57	,78
<b>Reconhecimento das Limitações Humanas</b>	107	1,33	7,00	4,65	1,37

O fator que apresentou uma média mais elevada foi o fator “Reconhecimento dos Efeitos de Stress e Fadiga” ( $M=6,57$ ), enquanto que o fator “Reconhecimento das Limitações Humanas” obteve a média mais baixa ( $M=4,65$ ). As “Atitudes de CRM” alcançaram a média de 5,97.

### 3.2 Testes de Diferenças de Médias

Para os testes de diferenças de médias foram utilizadas análises *t-Student* e análise ANOVA com teste *post-hoc* HSD de Tukey para comparação múltipla de médias, considerando-se significativas diferenças entre grupos com um  $p\text{-value}\leq 0,5$  (Marôco, 2014).

#### 4.2.1 Realização do Estágio de CRM

O primeiro teste realizado foi para medir possíveis diferenças de médias, tendo em conta a realização ou não do estágio de CRM.

Análise *t-Student*. Apesar de não se terem verificado diferenças significativas, os elementos que realizaram o estágio de CRM apresentaram médias superiores relativamente aos que não realizaram.

ANOVA. Não se registaram diferenças significativas referentes ao tempo decorrente da realização do estágio de CRM, no entanto verifica-se uma tendência de diminuição da média das “Atitudes de CRM”, ao longo do tempo.

#### 4.2.2 Função a Bordo

O segundo teste teve como objetivo verificar a existência de diferenças significativas entre as diferentes funções a bordo.

Análise *t-Student*. A amostra foi dividida em Pilotos-Aviadores e os restantes tripulantes, contudo não se verificou a existência de diferenças significativas.

Foi observado uma média superior nas “Atitudes de CRM” ( $M=6,00$ ), no fator “Reconhecimento dos Efeitos de Stress e Fadiga” ( $M=6,64$ ) e no fator “Reconhecimento das Limitações Humanas” ( $M=4,74$ ), por parte dos PilAvs, enquanto que os Não PilAv tiveram uma média superior nos fatores “Liderança” ( $M=6,20$ ) e “Comunicação e Coordenação” ( $M=6,32$ ).

ANOVA. Neste teste concluiu-se a inexistência de diferenças significativas, no que se refere à função a bordo dos tripulantes de voo.

Em relação às diferenças de médias, apesar de não serem significativas, como foi acima mencionado, os Operadores de UAVs foram aqueles que apresentaram médias superiores nas “Atitudes de CRM” ( $M=6,11$ ),

“Liderança” (M=6,38) e “Reconhecimento das Limitações Humanas” (M=5,17), conquanto é de referir a dimensão reduzida deste grupo.

Os Alunos foram aqueles que contaram com a média mais alta (M=6,78) no fator “Reconhecimento dos Efeitos de Stress e Fadiga” e a pior média nas Atitudes de CRM (M=5,77) e nos fatores “Liderança” (M=5,49) e “Comunicação e Coordenação”, este último a par dos Operadores de UAVs (M=6,06).

Os Não PilAv apresentaram média superior no fator “Comunicação e Coordenação” (M=6,32) e pior média nos fatores “Reconhecimento dos Efeitos de Stress e Fadiga” (M=6,34) e “Reconhecimento das Limitações Humanas” (M=4,25).

### 4.2.3 Idade

O terceiro teste teve como objetivo averiguar a existência de diferenças significativas entre PilAvs com idades abaixo e acima dos 30 anos.

*Análise t-Student.* Da análise da Tabela 5, verificou-se a existência de diferenças significativas nos fatores “Comunicação e Coordenação” e “Reconhecimento dos Efeitos de Stress e Fadiga” destes dois grupos. Podemos ainda verificar, apesar de não significativa, uma média superior das Atitudes de CRM para os PilAv acima dos 31 anos.

Tabela 5. t-Student para idades abaixo e acima dos 30 anos

		N	Média	Desvio Padrão	Sig. (2 extremidades)
<b>Comunicação e Coordenação</b>	23 - 30	31	5,92	,86	<b>0,033</b>
	>31	31	6,32	,56	
<b>Reconhecimento dos Efeitos de Stress e Fadiga</b>	23 - 30	31	6,45	,91	<b>0,045</b>
	>31	31	6,82	,42	
	>31	31	4,67	1,44	

Os tripulantes com mais de 31 anos apresentaram médias superiores em todos os fatores exceto no fator “Reconhecimento das Limitações Humanas” (M=4,67). Nos fatores “Comunicação e Coordenação” (M=6,32) e “Reconhecimento dos Efeitos de Stress e Fadiga” (M=6,82), os tripulantes mais velhos apresentaram médias superiores significativas.

### 4.2.4 Posto

Este teste teve como objetivo verificar a existência de diferenças significativas entre Postos.

*Análise t-Student.* Através da Tabela 6, verificou-se a existência de diferenças significativas no fator “Reconhecimento das Limitações Humanas” destes dois grupos.

Tabela 6. t-Student para a Oficial e Sargento

		N	Média	Desvio Padrão	Sig. (2 extremidades)
<b>Reconhecimento das Limitações Humanas</b>	Oficial	84	4,80	1,31	<b>0,033</b>
	Sargento	23	4,12	1,48	

No que toca às diferenças de médias, os Oficiais apresentaram médias superiores em todos os fatores, excepto no fator “Comunicação e Coordenação” (M=6,15). No fator “Reconhecimento das Limitações Humanas”, estas diferenças foram significativas (M=4,80). É possível também visualizar diferenças entre os Oficiais e Sargentos no que toca ao fator “Reconhecimento dos Efeitos de Stress e Fadiga”.



ANOVA. Não foram registadas diferenças significativas entre os diferentes postos (Oficial Superior e Capitão, Oficial Subalterno e Sargento).

#### 4.2.5 Tipo de Aeronave

O quinto teste teve como objetivo verificar a existência de diferenças significativas relativamente aos diferentes tipos de aeronave na FA, sem a introdução dos alunos tirocinantes.

ANOVA. Neste ensaio conclui-se a inexistência de diferenças significativas entre os tipos de aeronave.

Todavia, apesar de não serem significativas e tendo em conta a reduzida amostra, as aeronaves Caça obtiveram a média mais alta ( $M=6,13$ ) e os Aviões *Multicrew* a média mais baixa ( $M=5,96$ ) nas “Atitudes de CRM”.

#### 4.2.6 Operador de UAVs vs Não Operador de UAVs

O sexto teste pretendeu avaliar a existência de diferenças significativas entre Operadores de UAVs e Não Operadores de UAVs, no entanto não se verificaram diferenças significativas.

Considerando a desproporcionalidade da amostra, os Operadores de UAVs, obtiveram médias superiores nas “Atitudes de CRM” ( $M=6,11$ ) e nos fatores “Reconhecimento das Limitações Humanas” ( $M=5,17$ ) e “Liderança” ( $M=6,38$ ).

#### 4.2.7 Interação entre a Realização do Estágio de CRM e o Posto

O último teste pretendeu verificar se o Posto afeta significativamente as médias de quem realizou ou não o estágio de CRM.

MANOVA. Através da Tabela 7, verificou-se a influência significativa da covariável Posto na média obtida no fator “Reconhecimento das Limitações Humanas”.

Tabela 7. Efeito do Posto relativamente à realização do Estágio de CRM

		Média	Sig.
Reconhecimento das Limitações Humanas	Oficial	Realizei	4,775
		Não Realizei	4,829
	Sargento	Realizei	4,727
		Não Realizei	3,556
			<b>0,031</b>

Os Sargentos foram os que apresentaram uma discrepância maior no que toca à realização ou não do estágio de CRM (no fator “Reconhecimento das Limitações Humanas”).

#### 3.3 Análise de Correlações

Da análise da correlação de Pearson entre Atitudes de CRM e fatores, Idade e Horas de Voo verifica-se a existência de apenas uma correlação significativa entre o fator “Comunicação e Coordenação” e Horas de Voo ( $r_{\text{ComunicaçãoeCoordenação}} = 0,196, p \leq 0,05$ ).

## 5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Neste capítulo serão confirmadas ou refutadas as hipóteses inicialmente propostas com base nos resultados obtidos.

Estudo da H1: Não existem diferenças significativas nas Atitudes de CRM entre as diversas tripulações da FA.

Tendo em conta os resultados obtidos, a hipótese H1 foi confirmada e era de esperar esta conclusão, ainda que extremamente influenciada pela reduzida amostra deste estudo. Como anteriormente referido, a consciencialização das tripulações para os conceitos abordados nos programas de treino de CRM atualmente na aviação, associado ao facto dos tripulantes de voo na FA estarem sujeitos a uma doutrina semelhante, leva a uma uniformização dos conhecimentos e, neste caso, das Atitudes de CRM. Tendo em conta a reduzida amostra deste estudo, podemos afirmar que não existem diferenças significativas entre as tripulações dos diferentes tipos de aeronave.

As atitudes dos tripulantes exibidas nos cinco fatores foram bastante favoráveis em relação aos conceitos de CRM, contudo o fator “Reconhecimento das Limitações Humanas” apresentou uma média substancialmente inferior às restantes ( $M=4,63$ ). Este fator mede o reconhecimento, por parte dos tripulantes, da influência de fatores externos na *performance* de voo. Este resultado pode ser explicado à luz da existência de uma forte crença (nos pilotos e neste caso, também verificado nos tripulantes) que a *performance* em voo e a tomada de decisão não é afetada por fatores externos, algo que é contradito por Campbell e Bagshaw (2002). Um dado interessante é a média superior dos Operadores de UAVs relativamente aos restantes, no que se refere a este fator ( $M=5,17$ ). Este resultado, ainda que insignificante, dada a grande diferença entre participantes destes dois grupos, pode ser fundamentada pela diferente formação destes Operadores, já que cinco dos oito participantes deste grupo são engenheiros sem experiência de voo anterior.

Não obstante, podemos afirmar que na sua generalidade, os tripulantes apresentaram atitudes positivas de CRM.

Os pilotos de Caça foram aqueles que tendencialmente obtiveram melhores médias, no entanto a reduzida amostra ( $N=5$ ) e o facto de quatro dos cinco participantes deste tipo de aeronave terem um posto acima de Capitão podem explicar este resultado.

Apesar de não existirem diferenças no que toca ao reconhecimento dos efeitos de stress, este resultado vai ao encontro da literatura no que toca à inexistência de diferenças nas Atitudes de CRM entre tripulações (Jones, 2009; Stewart, 2014).

Estudo da H2: A idade tem um efeito positivo nas Atitudes de CRM demonstradas pelos pilotos.

Através da análise das diferenças de médias, concluiu-se a existência de diferenças significativas nos fatores “Comunicação e Coordenação” e “Reconhecimento dos Efeitos de Stress e Fadiga”, confirmando esta hipótese. Os pilotos mais velhos encorajam a existência de um clima de *cockpit* mais aberto do que os pilotos mais novos, confirmado pelo fator “Comunicação e Coordenação”.

Estudos mostram que equipas com elevada *performance* apresentam um clima de abertura e confiança na relação líder/membro da equipa. Os líderes são receptivos a visões alternativas e os membros da equipa não têm medo de expressar os seus pensamentos (Flin, 1996).

No que toca ao fator “Liderança”, considerado pelo estudo de Jones (2009), como “*Command Responsibility*”, não se verificaram diferenças significativas como foi provado anteriormente. No entanto, observou-se uma tendência superior para os tripulantes com mais de 31 anos, o que corrobora esta hipótese.

O fator “Reconhecimento dos Efeitos de Stress e Fadiga”, por outro lado, mostrou diferenças significativas. Os tripulantes mais novos apresentaram médias significativamente inferiores aos demais. Este fator mede o nível de importância que os tripulantes dão à comunicação e monitorização do estado psicológico e físico do próprio e dos restantes tripulantes, respetivamente. A capacidade de reconhecer e gerir o stress ou fadiga em nós próprios ou nos outros é uma importante *non-technical skill* e, muitas vezes,

associada a acidentes (Flin, O'Connor, & Crichton, 2008). A comunicação e partilha do estado psicológico e físico aos demais tripulantes é, frequentemente, vista como uma fraqueza e um entrave à sua correção, podendo, desta forma, ser uma explicação deste resultado (Helmreich, Merritt, & Sherman, 1996).

Os tripulantes com mais de 31 anos foram aqueles que tendencialmente apresentaram médias superiores na generalidade dos fatores e “Atitudes de CRM”.

Estes resultados vão ao encontro da literatura (Jones, 2009), quando afirmam que a idade tem uma influência positiva nas Atitudes de CRM, embora neste estudo tal não se tenha verificado em todos os fatores.

*Estudo da H3: Não existem diferenças significativas nas Atitudes de CRM entre os pilotos e restantes tripulantes.*

Da análise das diferenças de médias, não se verificaram diferenças significativas entre pilotos e os restantes tripulantes, confirmando esta hipótese. Como anteriormente referenciado, a crescente consciencialização para este tipo de temáticas aliado ao facto de todos os tripulantes estarem sob um tipo de treino semelhante, quer técnico, quer não-técnico, faz com que estes resultados fossem previsíveis.

Uma observação interessante constatou-se no fator “Reconhecimento dos Efeitos de Stress e Fadiga”, onde Alunos alcançaram a média mais alta. Ainda que a amostra seja baixa, existe uma tendência para que os mesmos achem importante a comunicação do seu estado psicológico e físico, justificado pelo constante stress que este grupo está sujeito e que de certo modo afeta a sua *performance*.

Estes resultados estão de acordo com a literatura, quando Stewart (2014) concluiu que os tripulantes das aeronaves HC-130 e H-60 na USCG, não apresentavam diferenças significativas ao nível das atitudes.

*Estudo da H4: O estágio de CRM na FA tem um efeito positivo nas atitudes dos tripulantes.*

Da análise das médias, verificou-se que o estágio de CRM na FA influencia positivamente as atitudes dos tripulantes. Contudo estas médias não são significativamente superiores, permitindo confirmar esta hipótese apenas de forma parcial. Em todos os fatores, os tripulantes que participaram no estágio obtiveram uma média superior aos restantes. A importância de um programa de treino reflete-se nestes resultados e o valor do mesmo nas tripulações de voo, mesmo que não seja fácil provar o seu impacto real na diminuição dos incidentes e acidentes aéreos.

Foi também observado uma tendência para a diminuição das médias em todos os fatores e “Atitudes de CRM” ao longo do tempo, que pode ser justificado pela inexistência de um refrescamento deste estágio.

Este resultado vai de encontro aos vinte e sete estudos analisados por O'Connor e colegas (2010), nos quais afirmavam que o treino de CRM tinha um efeito positivo nas atitudes. No entanto, deve-se realçar que a impossibilidade de avaliar as atitudes, antes e depois do estágio de CRM, aliada à inexistência de diferenças significativas, faz com que esta hipótese seja parcialmente confirmada.

## 6. CONCLUSÕES

Neste capítulo serão apresentadas as conclusões deste estudo, tendo em conta os objetivos previamente apresentados, as suas limitações e contribuições e algumas propostas futuras para a melhoria e expansão deste tema.

## 6.1 Principais Conclusões

Analisando os objetivos gerais e específicos propostos neste estudo, chega o momento de verificar se estes foram ou não correspondidos.

Relativamente à pergunta de partida, *Qual é o impacto do CRM nas atitudes dos tripulantes?*, verificou-se que embora não significativa, existe uma tendência positiva nas médias dos tripulantes que realizaram o estágio de CRM comparativamente aos restantes, reforçando assim a importância desta temática para a segurança de voo das tripulações. Ainda que não seja fácil quantificar na realidade o retorno que o treino de CRM oferece, a FA deve manter a vontade de formar e certificar os tripulantes, de modo a reduzir os incidentes e acidentes associado aos fatores humanos. Neil Armstrong (2005, p. 205, cit. por Barbree, 2014) afirmou que temos sempre que esperar que as coisas vão dar errado e esperar o inesperado. Deste modo, não devem ser poupados esforços no que toca à segurança de voo, uma vez que, em caso de acidente, a perda humana e material será sempre muito superior ao investimento dedicado à formação.

Na resposta à pergunta de partida, foi assim atingido o objetivo geral, *Analisar em que medida a formação de CRM tem impacto nas atitudes dos tripulantes.*

No que respeita ao primeiro objetivo, *Avaliar se o modelo de CRM é adequado à realidade da FA*, podemos afirmar, embora através de uma amostra reduzida, que os tripulantes obtiveram resultados bastante positivos relativamente às atitudes. Quanto aos fatores medidos pelo questionário, o único que deve ser focado e trabalhado é o “Reconhecimento das Limitações Humanas”, dado que apresentou médias mais baixas que os restantes fatores e uma divisão de opiniões. O sentimento de confiança e invulnerabilidade, normalmente demonstrado pelos pilotos e, neste caso, também visualizado nos restantes tripulantes pode ser uma razão para esta conclusão.

O conteúdo do curso tem sido ministrado de forma assertiva como demonstram os resultados. No entanto, deve haver uma preocupação dos decisores para a participação de toda a população no estágio, algo que não tem sido cumprido, como podemos verificar pelas respostas ao questionário.

A existência de um refrescamento do estágio merece uma especial atenção por parte da organização, visto que se verificou, apesar de não significativa, a diminuição de médias das Atitudes de CRM ao longo de tempo.

No que se refere ao segundo objetivo, *Avaliar se um modelo adaptado a cada esquadra/tripulante/aeronave seria mais adequado*, podemos concluir que a criação de um modelo adaptado especificamente a cada esquadra, não seria uma mais valia para a FA, tendo em conta as respostas dadas pelos participantes neste estudo. Desta forma, o projeto inicial apresentado, em 1997, não se torna viável dada a exigência acrescida que traria para a organização ao nível dos recursos, tanto monetários, como humanos.

No que ao terceiro objetivo diz respeito, *Verificar se existem diferenças ao nível das atitudes entre quem frequentou e quem não frequentou o estágio de CRM*, como anteriormente mencionado, não se verificaram diferenças significativas, todavia constatou-se uma média superior no grupo que realizou o estágio. Estes resultados provam parcialmente que o estágio de CRM provoca um efeito positivo nas atitudes dos tripulantes e é essencial na formação ao nível das *non-technical skills*. A crescente consciencialização deste conceito no mundo aeronáutico pode explicar a proximidade de médias destes grupos.

No caso do quarto objetivo, *Avaliar se existem diferenças entre tipos de aeronave ao nível das atitudes*, não se verificaram quaisquer diferenças entre os diferentes tipos de aeronave. Esta conclusão reforça o bom trabalho que a FA tem feito nas tripulações de voo ao nível da formação.

Relativamente ao quinto, e último objetivo, *Avaliar se existem diferenças nas atitudes entre tripulantes com função/posto/idade diferentes*, foram concluídas diferenças significativas ao nível do posto e idade. No que se refere às funções, não foram verificadas quaisquer diferenças significativas, podendo ser justificado

pelas razões acima apresentadas. Em relação à idade, verificou-se que os tripulantes acima dos 31 anos assumem um posição favorável no que toca à comunicação e coordenação em voo com outros tripulantes. Os resultados sugerem que os pilotos mais velhos são mais recetivos a visões alternativas. A capacidade de ouvir, discutir e aceitar a opinião dos outros, bem como a adaptação à personalidade e maneira de ser daqueles com quem se partilha uma aeronave ou até mesmo uma missão, é um dos pontos fundamentais do treino de CRM e um dos motivos da sua criação. Este facto é curioso, uma vez que estudos realizados sobre comunicação destacaram a necessidade de um comportamento assertivo dos tripulantes mais novos (Jentsch & Smith-Jentsch, 2001). A atitude referente a este fator deverá ser um tópico aprofundado nos estágios de CRM da FA, principalmente entre os mais novos.

Os fatores “Reconhecimento das Limitações Humanas” e “Reconhecimento dos Efeitos de Stress e Fadiga” mostraram-se diferenciadores no que toca ao posto e idade, respetivamente. Foi concluído que os Oficiais tem maior perceção da importância das limitações humanas como agente causador da diminuição da *performance* humana e conseqüentemente da segurança de voo. Verificaram-se ainda, neste fator, diferenças significativas entre os Sargentos que realizaram e não realizaram o estágio, salientando a necessidade imediata de formação desta classe hierárquica. Quanto à idade, foi concluído que os tripulantes mais velhos consideram importante a monitorização e comunicação destes fatores entre a tripulação.

## 6.2 Contribuições do Estudo

A grande contribuição deste estudo foi, sem dúvida, a criação/adaptação de um questionário de Atitudes de CRM para a possível introdução nos estágios realizados no futuro pela FA. A sua utilização será uma mais valia para a organização, na medida em que permitirá, de acordo com o segundo nível da hierarquia de Kirkpatrick (1976), a avaliação da aprendizagem dos tripulantes que estiveram expostos ao programa de treino.

A segunda grande contribuição deste estudo foi reforçar a influência positiva de um programa de treino de CRM nas atitudes dos tripulantes, anteriormente provada noutros estudos.

A terceira contribuição, apesar de algo irrelevante, dado o desenvolvimento embrionário na FA e a amostra diminuta, foi a introdução dos Operadores de UAVs neste estudo.

A quarta, e última contribuição, foi a valorização da instrução da FA, no âmbito do CRM, alertando, ainda assim, para a importância acrescida deste estágio ser garantido e ministrado a todos os tripulantes de voo. De igual modo, os mesmos deverão ser sujeitos a um resfrescamento (à semelhança do curso ICCS, sobrevivência na água e fisiologia de voo) entre um período a ser determinado pelos responsáveis do estágio.

## 6.3 Limitações do Estudo

A baixa adesão ao questionário foi a grande limitação deste estudo. Conseqüentemente, dificultou a possibilidade de estudar possíveis diferenças nas Atitudes de CRM entre sub-grupos. O baixo número de participantes em alguns tipos de aeronaves e funções a bordo impediu e limitou a análise de potenciais diferenças e conclusões acerca das tripulações de voo que operam na FA.

Outra limitação foi a avaliação do programa de treino apenas no segundo nível (aprendizagem) de acordo com Kirkpatrick (1976). Este problema deveu-se ao limite temporal para a realização deste trabalho (nível 1: Reação; nível 4: Impacto Organizacional), à inexistência por parte da FA de um sistema de avaliação de comportamentos (nível 3: Comportamento) e à limitação de dados para o estudo do impacto do CRM ao nível organizacional (nível 4).

A inexistência de estudos anteriores foi também uma limitação, visto que não faculta informações acerca da evolução do CRM na FA e do seu impacto ao nível organizacional.

#### 6.4 Propostas Futuras

Como possível estudo futuro, o investigador propõe a avaliação da aprendizagem dos tripulantes em dois momentos distintos. O questionário deve ser aplicado *à priori* e *à posteriori* do estágio, de modo a obter uma *feedback* dos tripulantes relativamente às Atitudes de CRM e se existiu uma evolução de um momento para o outro. O tratamento dos dados poderá ser efetuado através da plataforma utilizada na realização desta dissertação, o SPSS, facilitando a interpretação dos dados pelos responsáveis. De salientar que este questionário não mede todos os conceitos abordados no estágio de CRM, pelo que se sugere também o alargamento do instrumento de medida, tendo em vista a abordagem/avaliação de todos os fatores ministrados.

Propõe-se ainda a criação de um método de avaliação de comportamentos, de modo a perceber se as atitudes recolhidas pelo questionário são refletidas dentro das aeronaves. A introdução dos três primeiros níveis, segundo Kirkpatrick (1976), permitirá, desta forma, no futuro, uma avaliação do treino de CRM mais fiável e alargada.

A última proposta é a introdução do questionário desenvolvido nesta dissertação, adaptado ou melhorado nos estágios de CRM, para a obtenção de um constante *feedback* das tripulações no que se refere às Atitudes de CRM.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BARBREE, Jay (2014). **Neil Armstrong: A Life of Flight**. New York, NY: St. Martin's Press.
- [2] CAA. (2016). **CAP 737: Flight-Crew Human Factors Handbook**. London, UK: Civil Aviation Authority.
- [3] CAMPBELL, Ronald, & BAGSHAW, Michael (2002). **Human Performance and Limitations in Aviation**. 3th ed. Oxford: Blackwell Science.
- [4] CAVANAGH, Dale E., & WILLIAMS, Kenneth R. (1987). The Application of CRM to Military Operations. **NASA Conference Publication 2455** (pp. 135-144). San Francisco, CA: National Aeronautics and Space Administration.
- [5] COOPER, George. E., WHITE, Maurice D., & LAUBER, John K. (1980). Resource Management on the Flight Deck. **NASA Conference Publication 2120**. Moffett Field, CA: National Aeronautics and Space Administration .
- [6] FLIN, Rhona (1996). **Sitting in the hot seat: Leaders and Teams for Critical Incident Management**. Chichester, UK: Wiley.
- [7] FLIN, Rhona, O'CONNOR, Paul, & CRICHTON, Margaret (2008). **Safety at the Sharp End: A Guide to Non-Technical Skills**. Burlington, VT: Ashgate.
- [8] FONSECA, Maria José (2004). **Formação em Crew Resource Management: Efeitos nas Atitudes de Tripulantes**. Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa.
- [9] FORD, Jane, HENDERSON, Robert, & O'HARE, David (2014). The Effects of Crew Resource Management (CRM) Training on Flight Attendants' Safety Attitudes. **Journal of Safety Research**, 48, 49-56.
- [10] GOLDSTEIN, Irwin, & FORD, Kevin (1993). **Training in Organizations: Needs Assessment, Development, and Evaluation**. 4th ed. Belmont, CA: Wadsworth.
- [11] HELMREICH, Robert L. (1984). Cockpit Management Attitudes. **Human Factors**, 26, 583-589.
- [12] HELMREICH, Robert L., & FOUSHEE, H. Clayton (2010). Crew Resource Management. Em B. G. Kanki, R. L. Helmreich, & J. M. Anca, **Crew Resource Management**. 2nd ed. (pp. 3-57). San Diego, CA: Academic Press.
- [13] HELMREICH, Robert L., & MERRITT, Ashleigh C. (1996). Cultural Issues in Crew Resource Management Training. **ICAO Global Flight Safety and Human Factors Symposium, 3rd, Human Factors Digest**, (pp. 141-148). Auckland, NZ.

- [14] HELMREICH, Robert L., MERRITT, Ashleigh C., & SHERMAN, Paul J. (1996). Human Factors and National Culture. **ICAO Journal**, 51:8, 14-16.
- [15] HELMREICH, Robert L., MERRITT, Ashleigh C., & WILHELM, John A. (1999). The Evolution of Crew Resource Management Training in Commercial Aviation. **International Journal of Aviation Psychology**, 9:1, 19-32.
- [16] HELMREICH, Robert L., MERRITT, Ashleigh C., SHERMAN, Paul J., GREGORICH, Steven E., & WIENER, Earl L. (1993). **The Flight Management Attitudes Questionnaire (FMAQ)**. NASA/UT/FAA Technical Report 93-4. Austin, TX: The University of Texas.
- [17] JENTSCH, Florian, & SMITH-JENTSCH, Kimberly A. (2001). Assertiveness and Team Performance: More Than “Just Say No”. Em E. Salas, C. A. Bowers, & E. Edens, **Improving Teamwork in Organizations: Applications of Resource Management Training** (pp. 73-94). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- [18] JIMENEZ, Camilo, KASPER, Karissa, RIVERA, Javier, TALONE, Andrew B., & JENTSCH, Florian (2015). Crew Resource Management (CRM): What Aviation Can Learn From the Application of CRM in Other Domains. **Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 59th Annual Meeting**, 59, pp. 946-950.
- [19] JONES, Douglas W. (2009). **An Evaluation of The Effectiveness of U.S. Training Programs a Reassessment For The Twenty-First Century Operating Environment**. Monterey, CA: Naval Postgraduate School.
- [20] KIRKPATRICK, Donald L. (1976). Evaluation of Training. Em R. L. Craig, & L. R. Bittel, **Training and development handbook** (pp. 18.1-18.27). New York, NY: McGraw-Hill.
- [21] O’CONNOR, Paul (2011). Assessing The Effectiveness of Bridge Resource Management Training. **International Journal of Aviation Psychology**, 21:4, 357-374.
- [22] O’CONNOR, Paul, Campbell, J., Newon, J., Melton, J., Salas, E., & Wilson, K. A. (2008). Crew Resource Management Training Effectiveness: A Meta-Analysis and Some Critical Needs. **The International Journal of Aviation Psychology**, 18:4, 353-368.
- [23] O’CONNOR, Paul, HAHN, Robert G., & NULLMEYER, Robert (2010). The Military Perspective. Em B. G. Kanki, R. L. Helmreich, & J. M. Anca, **Crew Resource Management**. 2nd ed. (pp. 445-466). San Diego, CA.
- [24] SALAS, Eduardo, & Burke, C. Shawn (2006). Does Crew Resource Management Training Work ? An Update, an Extension, and Some Critical Needs. **Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society**, 48:2, 392-412.
- [25] SALAS, Eduardo, BURKE, C. Shawn, BOWERS, Clint A., & WILSON, Katherine A. (2001). Team Training in the Skies: Does Crew Resource Management (CRM) Training Work? **Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society**, 43:4, 641-674.
- [26] SALAS, Eduardo, PRINCE, Carolyn, BOWERS, Clint A., STOUT, Renée J., OSER, Randall L., & CANNON-BOWERS, Janis A. (1999). A Methodology for Enhancing Crew Resource Management Training. **Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society**, 41:1, 161 - 172.
- [27] SALAS, Eduardo, WILSON, Katherine A., BURKE, C. Shawn, WIGHTMAN, Dennis C., & HOWSE, William R. (2006). Crew Resource Management Training Research, Practice, and Lessons Learned. **Reviews of Human Factors and Ergonomics**, 2:1, 35-73.
- [28] SIMON, Robert A., & GRUBB, Gary N. (1995). **Validation of Crew Coordination Training and Evaluation Methods for Army Aviation**. Wilmington, MA: United States Army: Research Institute for the Behavioral and Social Sciences.
- [29] SIMON, Robert A., RISSER, Daniel T., & PAWLIK, Eugene A. (1992). **Development of Measures of Crew Coordination**. Wilmington, MA: Dynamics Research Corporation (DRC).
- [30] SOUSA, Maria J., & BAPTISTA, Cristina S. (2011). **Como Fazer Investigação, Dissertações, Teses e Relatórios**. 4ª ed. Lisboa: Factor.
- [31] STEWART, Greg (2014). **Crew Resource Management Training Attitudes of United States Coast Guard Aviators**. Old Dominion University.
- [32] TAMKIN, Penny, YARNALL, Jane, & KERRIN, Maire (2002). **Kirkpatrick and Beyond: A Review of Models of Training Evaluation**. The Institute for Employment Studies. Brighton, UK: IES Research Networks.
- [33] VILELAS, José (2009). **Investigação: O Processo de Construção do Conhecimento**. (M. Robalo, Ed.) Lisboa: Edições Sílabo, Lda.
- [34] WILSON, Katherine A., GUTHRIE, Joseph W., SALAS, Eduardo, & HOWSE, William R. (2010). Team Process. Em J. A. Wise, V. D. Hopkin, & D. J. Garland, **Handbook of Aviation Human Factors**. 2nd ed. (pp. 1-22). Boca Raton, FL: CRC Press.

# **A Procura de Candidatos: O Impacto das Ações de Divulgação na Intenção de Candidatura à Academia da Força Aérea**



**Autor:** Bernardo Francisco Veríssimo Martins Ferreira, Aspirante Aluno  
no Mestrado Integrado em Aeronáutica Militar na especialidade de Piloto Aviador  
Academia da Força Aérea, Sintra

**Orientadora:** Professor Doutor Luís Miguel Pereira Lopes  
Instituto Superior de Ciências Sociais e Políticas, Universidade de Lisboa

**Coorientadora:** Ana Patrícia Gomes Farinha, Capitão Psicóloga  
Academia da Força Aérea, Sintra



**Resumo:** A Academia da Força Aérea é uma organização e como tal, o seu sucesso depende dos recursos humanos. Nos últimos anos, o número de candidatos tem vindo a diminuir significativamente, pelo que é importante encontrar formas de aumentar esse número, para que exista uma maior amostra a ser submetida a rigorosas provas de seleção, de forma a garantir a qualidade dos recursos humanos. Assim, esta investigação procurou estudar o impacto das ações de divulgação na Intenção de Candidatura à Academia da Força Aérea. Este estudo, quase-experimental, utilizou como amostra os alunos de oito turmas do 12º ano de uma escola secundária (n=198) e seguiu uma metodologia quantitativa, onde os dados foram obtidos com recurso à aplicação de um questionário. A amostra foi composta por dois grupos, um experimental, onde foi aplicada a ação de divulgação entre um pré-teste e um pós-teste para testar o impacto da mesma, e um grupo de controlo para comparar os resultados anteriores com os obtidos na ausência da ação de divulgação. Os resultados obtidos permitiram concluir que a Intenção de Candidatura aumentou após a ação de divulgação e, com recurso à elaboração de um modelo explicativo para o momento anterior e para o momento posterior à ação de divulgação, foi também possível concluir que as variáveis que, nos dois momentos, melhor explicam a Intenção de Candidatura são o Controlo Comportamental Percebido relativamente às Provas de Seleção e a Norma Subjetiva relacionada com os Pais. Esta investigação revelou-se um contributo, não só para reforçar as teorias da literatura relacionadas com a intenção comportamental, como também para orientar a Força Aérea e o Centro de Recrutamento da Força Aérea no aumento do número de candidatos à Academia da Força Aérea.

**Palavras-chave:** Candidatos, Intenção de Candidatura, Ação de Divulgação, Academia da Força Aérea

## 1. INTRODUÇÃO

O sucesso das organizações depende dos seus recursos humanos, tornando-se imprescindível uma boa gestão dos mesmos, com vista a assegurar o bom funcionamento de toda a organização. O número de candidatos à Academia da Força Aérea (AFA) é fundamental no processo de seleção dos mesmos, na medida em que uma amostra de maiores dimensões permite à organização uma maior probabilidade dos candidatos ingressados serem aqueles que melhor preenchem os requisitos impostos. Os Anuários Estatísticos da Força (2009; 2010; 2011; 2012; 2013; 2014; 2015), bem como o Relatório dos Concursos de Admissão 2016 (Força Aérea, 2016) revelam que o número de candidatos ao Curso de Mestrado de Aeronáutica Militar (CMAM) tem diminuído nos últimos anos, sendo necessárias estratégias para que a organização amplie a amostra que permite a seleção dos candidatos mais aptos.

Uma das possíveis causas capazes de explicar a redução do número de candidatos é a falta de informação e desconhecimento dos potenciais candidatos relativamente à organização. Um indivíduo que não tenha conhecimento da existência de determinada organização não se candidata à mesma e, por esse motivo, é importante divulgar a informação sobre a existência e o modo de funcionamento da organização até aos possíveis candidatos.

As ações de divulgação são determinantes no processo de recrutamento visto que despertam interesses. Em analogia à teoria da aprendizagem social (Bandura, 1971), as pessoas têm a tendência de adotar comportamentos semelhantes àqueles que presenciam, principalmente comportamentos elogiados pelo grupo social em que se inserem. Esta teoria reforça que um dos aspetos mais importantes no processo de aprendizagem social é a observação de modelos de sucesso enaltecidos por outros indivíduos, alunos

que no passado terminaram o ensino secundário e que através de uma carreira na AFA ocupam hoje um lugar de prestígio junto da sociedade, dado o sucesso da sua carreira.

Esta investigação distingue-se dos demais estudos realizados relativamente à imagem da Força Aérea (FA), na medida em que procura responder à questão: “Será que as ações de divulgação aumentam a intenção de candidatura à Academia da Força Aérea?”. Desta forma, o objetivo desta investigação é testar se a realização destas ações de divulgação da AFA junto dos alunos do ensino secundário, mais especificamente dos alunos a frequentar o 12º ano de escolaridade, pode alterar o número de pessoas com a intenção de candidatar-se. Para isso, a investigação é apoiada essencialmente na Teoria da Ação Planeada (TAP) para explicar as diferenças na intenção comportamental, uma inovação na base dos estudos respeitantes à candidatura às Forças Armadas (FFAA).

Em primeiro lugar, na revisão de literatura, procura-se sintetizar as principais teorias associadas à intenção comportamental. Seguidamente, são formuladas as hipóteses, com base nas teorias anteriormente mencionadas. No capítulo da metodologia, é descrita a escolha metodológica, bem como a amostra selecionada e o instrumento utilizado. De seguida, são apresentados os resultados e no capítulo seguinte são discutidos os resultados obtidos na investigação, sendo estes confrontados com as hipóteses formuladas. Na conclusão, são referenciados os principais resultados, as contribuições deste estudo, as limitações, bem como sugestões para futuras campanhas de divulgação por parte do Centro de Recrutamento da Força Aérea (CRFA).

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

O recrutamento é um processo que se inicia com a decisão de ocupar um espaço na instituição e que termina com a decisão da mesma relativamente a quem tem o perfil para essa posição na instituição. É um processo complexo, que envolve vários estádios (Camara, Guerra, & Rodrigues, 2007), sendo que para ingressar na AFA, os candidatos, passam por provas de avaliação da condição física, provas de avaliação de conhecimentos na língua inglesa, provas de avaliação psicológica, inspeções médicas, Estágio de Seleção de Voo (para os candidatos à especialidade de Piloto-Aviador) e a Prova de Aptidão Militar.

O recrutamento tem como objetivo a atração de candidatos, divulgando informação e oferecendo oportunidades de trabalho ao *mercado de recursos humanos*, sendo que para se revelar eficaz deve atrair tantos quantos candidatos conseguir, para providenciar um número suficiente ao processo de seleção (Chiavenato, 1992).

Qualquer ramo das FFAA, à semelhança de qualquer organização, luta pelo sucesso dos seus objetivos, procurando os melhores resultados possíveis. Com o fim do serviço militar obrigatório, em 2004, as organizações militares, onde se inclui a AFA, começaram a olhar para o seu sucesso como dependente do seu êxito na corrida ao mercado pelos melhores recursos humanos. As ações de divulgação e a publicidade têm papéis preponderantes na mudança de mentalidades e no reforço de opiniões, pois quem desenvolve estas ações procura salientar os pontos mais favoráveis de forma a despertar interesse no público alvo, aumentando a procura de determinado bem ou serviço (Brida & Schubert, 2008). Em estudos realizados envolvendo ramos de FFAA de outros países (Dertouzos, Polich, Bamezai, & Chesnutt, 1989), é revelada a importância da propaganda ainda que com alguns custos associados. Estas ações são semelhantes às mesmas usadas no meio civil, onde existe um bem ou serviço que a organização quer vender e onde procura fazê-lo da melhor forma possível (Koenig & Robert, 1984).

Para aqueles que pretendem prosseguir com os seus estudos, a finalização do ensino secundário pode levar a duas opções, seja a de prosseguir os estudos num estabelecimento de ensino superior público ou privado, ou num estabelecimento de ensino superior militar. Transmitir uma imagem positiva da FA junto dos jovens é importante para que, após a conclusão do 12º ano de escolaridade, aquando do processo de escolha do estabelecimento de ensino superior, estes tenham no seu conjunto de possíveis hipóteses de escolha, a opção de candidatura à AFA. Como estes dois tipos de estabelecimentos de ensino superior competem pelo número de candidatos foram criados os centros de recrutamento com o objetivo de divulgar informação relativa aos cursos e concursos, não só na vertente de auxílio às candidaturas ao ensino superior militar, mas também para o seguimento de uma carreira militar após conclusão do ensino secundário.

Estas ações de divulgação não são de todo substituídas pela divulgação feita no Dia da Defesa Nacional ao papel da Força Aérea na conjuntura atual, visto que esta ocorre, em muitos casos, quando os alunos já estão inscritos em estabelecimentos de ensino superior e quando as candidaturas à AFA já se encontram encerradas para esse ano. Ainda que o Dia da Defesa Nacional procure despertar interesse para uma eventual candidatura no ano seguinte, poderá existir uma resistência à mudança (Coghlan, 1993).

No campo da psicologia social, a TAR, desenvolvida por Martin Fishbein e mais tarde aprofundada por outros autores, de onde se destaca Icek Ajzen, teve como objetivo relacionar a atitude e as normas subjetivas com o comportamento humano, num modelo usado em várias áreas, com o intuito de prever intenções e comportamentos (Ajzen & Fishbein, 1980).

Apesar do sucesso da TAR, chegou-se à conclusão de que o comportamento era influenciado por outros fatores. A TAP acrescentou à TAR o conceito de controlo comportamental percebido, isto é a capacidade das pessoas acreditarem que conseguem desempenhar um determinado comportamento que desejam (Belkhamza & Niasin, 2017). A concetualização deste conceito está fortemente associada ao estudo da autoeficácia desenvolvido por Albert Bandura (1977), onde as crenças dos indivíduos acerca da sua capacidade para controlar acontecimentos que afetam as suas vidas funcionam como determinantes próximos da motivação e da ação humana. Assim, a ação humana é guiada por três tipos de considerações: crenças de fácil acesso acerca das prováveis consequências do comportamento e da avaliação dessas mesmas consequências (atitudes), crenças de fácil acesso acerca das pessoas do meio social em que está inserido e a motivação para fazer o que essas pessoas acham que deve ser feito (normas subjetivas), e crenças de fácil acesso sobre a presença de fatores que possam facilitar ou impedir o comportamento e o poder percebido desses fatores (controlo comportamental percebido). Em conjugação, a atitude perante um comportamento, a norma subjetiva e a percepção do controlo comportamental levam à formação da intenção comportamental. Por norma, quanto mais favoráveis forem as atitudes e as normas subjetivas de um indivíduo e quanto maior for a crença de que consegue adotar esse comportamento, mais forte deve ser a intenção comportamental. Por outro lado, se alguém não acredita que é capaz de fazê-lo, provavelmente não desenvolverá a intenção de o fazer, mesmo que a atitude e as normas subjetivas sejam favoráveis a que isso aconteça. Assim, dado um grau de controlo suficiente sobre o comportamento, espera-se que o indivíduo execute as suas intenções quando a oportunidade surgir. A intenção é, por conseguinte, assumida como antecedente imediato do comportamento. Contudo, pelo facto de muitos comportamentos colocarem dificuldades na sua realização, é necessário considerar o controlo comportamental percebido em adição à intenção. Assim, em analogia à equação representativa da TAR (Ajzen, 2012), o comportamento pode ser definido como:

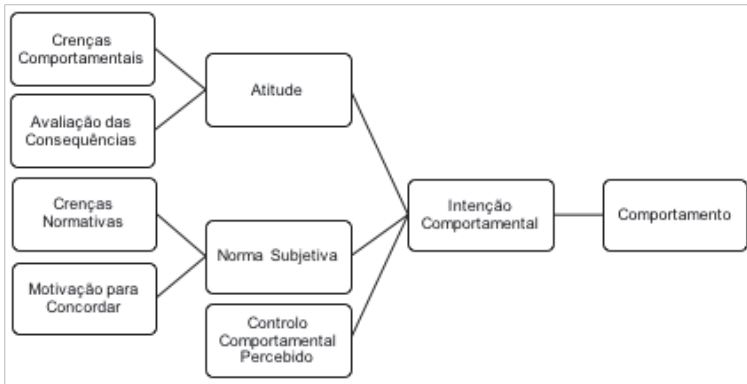


Figura 1. Teoria da Ação Planeada. Fonte: Adaptado de Ajzen & Fishbein (1980)

A importância desta teoria para o estudo decorrente é que uma ação de divulgação que apenas transmita informação sobre algo, será mal sucedida comparativamente a uma que procure exercer influência nas atitudes, normas subjetivas e, no caso específico da candidatura à AFA pelas provas de seleção que tem associadas, a percepção do controlo comportamental do público alvo, com vista a melhorar o número de possíveis candidatos.

Segundo a TAP, a primeira condicionante da intenção comportamental é a atitude, ou seja a intuição positiva ou negativa perante um determinado comportamento (Fishbein & Ajzen, 1975). Essa atitude desenvolvida relativamente a um comportamento, depende das crenças formuladas e da avaliação das consequências, ou seja, no que um indivíduo acredita que acontecerá como resultado do comportamento e na avaliação dessas consequências.

Um estudo envolvendo a utilização de protetores auditivos por parte de mineiros de carvão (Quick, *et al.*, 2008) que teve por base a TAP, propôs como primeira hipótese uma correlação positiva da atitude perante o uso de protetores auditivos e a intenção comportamental de o fazer, onde os resultados mostraram uma correlação positiva e significativa.

Com base na literatura e segundo a eq. (1), depreende-se que, nesta investigação, o conceito de atitude é utilizado para prever a intenção comportamental de concorrer à AFA. Com suporte nos resultados do estudo acima indicado é possível formular a seguinte hipótese:

**Hipótese 1** - *As atitudes de um aluno do 12º ano em relação a candidatar-se à Academia da Força Aérea estão positivamente associadas à intenção comportamental de candidatura à mesma.*

Com base no questionário construído, esta hipótese pode decompor-se em quatro outras hipóteses:

**Hipótese 1a** - *As atitudes associadas a uma carreira de sucesso de um aluno do 12º ano em relação à Academia da Força Aérea estão positivamente associadas à intenção comportamental de candidatura à mesma.*

**Hipótese 1b** - *As atitudes associadas a uma formação de excelência de um aluno do 12º ano em relação à Academia da Força Aérea estão positivamente associadas à intenção comportamental de candidatura à mesma.*

**Hipótese 1c** - *As atitudes associadas a uma boa estabilidade financeira de um aluno do 12º ano em relação à Academia da Força Aérea estão positivamente associadas à intenção comportamental de candidatura à mesma.*

**Hipótese 1d** - *As atitudes associadas a uma formação académica conjugada com uma componente física de um aluno do 12º ano em relação à Academia da Força Aérea estão positivamente associadas à intenção comportamental de candidatura à mesma.*

Na TAP, o segundo elemento envolvido na determinação da intenção comportamental é a norma subjetiva (Ajzen, 2012), que é determinada pelas crenças pessoais relativamente à forma como os indivíduos, que pertencem ao meio social que o envolve, encaram determinado comportamento e da importância dada pelo sujeito a essa favorabilidade (ou desfavorabilidade) dos que o rodeiam. Desta forma, quanto mais favorável for o ambiente envolvente do indivíduo quanto à adoção de determinado comportamento, maior será a probabilidade de o adotar.

Com base no acima descrito, a eq. (1), tal como na condicionante anterior leva à formulação da segunda hipótese, baseada na correlação positiva e significativa que o estudo dos mineiros de carvão (Quick, *et al.*, 2008) revelou relativamente à associação positiva entre as normas subjetivas da influência dos familiares, supervisores, entre outros, relativamente ao uso de protetores auditivos e a intenção comportamental do uso dos mesmos:

**Hipótese 2** - *As normas subjetivas de um aluno do 12º ano em relação a candidatar-se à Academia da Força Aérea estão positivamente associadas à intenção comportamental de candidatura à mesma.*

Analogamente à primeira hipótese, a segunda hipótese pode decompor-se em duas outras derivadas:

**Hipótese 2a** - *As normas subjetivas relacionadas com os amigos de um aluno do 12º ano em relação à Academia da Força Aérea estão positivamente associadas à intenção comportamental de candidatura à mesma.*

**Hipótese 2b** - *As normas subjetivas relacionadas com os pais de um aluno do 12º ano em relação à Academia da Força Aérea estão positivamente associadas à intenção comportamental de candidatura à mesma.*

A terceira condicionante da TAP é o controlo comportamental percebido, que procura demonstrar a perceção de um indivíduo relativamente à facilidade ou dificuldade em adotar determinado comportamento. Essa perceção pode facilitar ou complicar o processo de adoção do comportamento, estando sempre ligada a fatores como as capacidades do indivíduo, as oportunidades, etc. (Ajzen, 2012).

Em estudos que abordam os fatores cognitivos relacionados em estudantes universitários relativos ao consumo de tabaco (Jalilian, Joulaei, Mirzaei-Alavijeh, Samannezhad, & Berimvandi, 2016), em estudos que focam o consumo de bebidas alcoólicas e *fast food* (Ajzen & Sheikh, 2013), ou mesmo no estudo relacionado com o uso de protetores auditivos por parte dos mineiros de carvão (Quick, *et al.*, 2008), o controlo comportamental percebido evidenciou uma correlação positiva, ainda que não significativa, com a intenção comportamental.

Segundo um modelo de análise que pode ser representado como ilustrado na eq. (1) e suportado pelos estudos acima descritos, pode formular-se a seguinte hipótese:

**Hipótese 3** - *O controlo comportamental percebido de um aluno do 12º ano em relação a se candidatar à Academia da Força Aérea está positivamente associado à intenção comportamental de candidatura à mesma.*

Esta hipótese pode ser especificada, com base no questionário elaborado, em duas outras:

**Hipótese 3a** - *O controlo comportamental percebido associado às provas de seleção de um aluno do 12º ano em relação a se candidatar à Academia da Força Aérea está positivamente associado à intenção comportamental de candidatura à mesma.*

**Hipótese 3b** - *O controlo comportamental percebido associado ao ingresso nas vagas disponíveis de um aluno do 12º ano em relação a se candidatar à Academia da Força Aérea está positivamente associado à intenção comportamental de candidatura à mesma.*

Tendo por base os aspetos que, em estudo anteriores, mais se revelaram influenciadores nos jovens que concorrem à FA (Carvalho, 2010) e os aspetos que estes consideram mais importantes numa profissão futura (Vaz, 2009), as organizações e, posteriormente, as ações de divulgação orientam-se no sentido de, dentro das possibilidades, ir de encontro àquilo que os jovens procuram.

As ações de divulgação procuram não só a transmissão de informação, como também, no âmbito do recrutamento, enaltecer os aspetos mais positivos por forma a aumentar o número de candidatos. Assim, formula-se a hipótese:

**Hipótese 4** – *As ações de divulgação revelam um impacto positivo, em alunos do 12º ano, na Intenção de Candidatura à Academia da Força Aérea.*

Segundo o desenho de estudo idealizado podemos, de forma mais específica, derivar esta hipótese, em duas outras:

**Hipótese 4a** - *As ações de divulgação provocam diferenças positivas na Intenção de Candidatura à Academia da Força Aérea em alunos do 12º ano, entre o momento anterior e posterior a essa mesma divulgação.*

**Hipótese 4b** - *As ações de divulgação provocam diferenças positivas na Intenção de Candidatura à Academia da Força Aérea em alunos do 12º ano, submetidos a essa divulgação, comparativamente a alunos não submetidos à mesma.*

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Design

Com vista a obter os resultados mais fiáveis, para uma extrapolação dos resultados mais credível sobrepueram-se, nesta investigação quasi-experimental, dois *designs* de estudo diferentes. Sendo o principal objetivo deste estudo, testar se as ações de divulgação se revelam eficazes na Intenção de Candidatura à AFA, torna-se imperativa uma medida dessa intenção num momento anterior e num momento posterior à ação de divulgação, utilizando-se o *One Group Pretest Posttest Design*, impondo assim que este estudo seja longitudinal e, em adição a este, o *Static Group Comparison* de forma testar a influência da ação de divulgação, pela comparação dos resultados obtidos entre o grupo manipulado e o grupo não manipulado, procurando evidenciar que os resultados do primeiro *design*

foram consequência da ação de divulgação e não de outra possível explicação (Creswell, 2014).

### 3.2 Participantes

A população é a designação atribuída ao conjunto de casos, ou seja as pessoas singulares sobre o qual se procura determinar conclusões no estudo (Hill & Hill, 2005). Não sendo possível inquirir toda a população por motivos temporais de recolha de dados, neste caso todos os alunos do país a frequentar o 12º ano, é feita uma seleção dos participantes no estudo, a amostra. Esta amostra representativa será não probabilística, escolhida por conveniência, sendo composta por alunos do 12º ano de uma escola secundária de Sintra - Escola Secundária de Santa Maria - composta por seis turmas do curso de Ciências e Tecnologias (A,B,C,D,E,F) e duas de Ciências Socioeconómicas (G,I). Excluíram-se os alunos do Curso de Línguas e Humanidades e o Curso de Artes Visuais por não terem incluída a disciplina de Matemática A, cujo exame é requisito para a candidatura à AFA.

A média de idades da amostra é de 17,36 anos, com um mínimo e um máximo de idades de, respetivamente, 16 e 20, tendo havido a ausência de 1 resposta relativamente à idade. A amostra é constituída por oito turmas, com um total de 198 indivíduos, 106 do género masculino e 90 do género feminino, com a ausência de 2 respostas relativas ao género.

### 3.3 Caracterização do Instrumento

O questionário elaborado foi adaptado com base no *Theory of Planned Behaviour Questionnaire* (Ajzen, 2013), onde na primeira secção caracteriza o indivíduo, através de dados demográficos (código pessoal, curso, idade e género). O código pessoal corresponde aos quatro últimos algarismos do contacto telefónico dos inquiridos, que permitiu a correspondência entre a primeira e a segunda aplicação do questionário. Na segunda secção, é utilizada a escala bipolar de 7 valores para responder a itens relacionados com Crenças Comportamentais, Avaliação das Consequências, Crenças Normativas, Motivação para Concordar, Controlo Comportamental Percebido, Fatores Externos e Intenção Comportamental. Ainda nesta secção, existem 2 itens (7 e 8) que fazem também uma análise descritiva da amostra, mas relacionada com fatores externos que podem influenciar as variáveis dependentes em estudo.

Segundo a revisão de literatura, as crenças comportamentais seriam avaliadas por questionário numa escala tipo Likert, de 1 a 7, onde 1 representaria “Totalmente improvável” e 7 “Totalmente provável”. Contudo, por consequência do significado da tradução da teoria implícita para a língua portuguesa, optou-se por adotar uma escala do mesmo tipo, mas onde o 1 representa “Discordo totalmente” e 7 representa “Concordo totalmente” para melhor compreensão do inquirido, sem que para tal se altere o significado da variável em estudo.

### 3.4 Procedimento

O questionário aplicado na escola selecionada e a metodologia utilizada foram previamente autorizados pela Direção-Geral da Educação do Ministério da Educação e Ciência, com o número do inquérito 0629400001, para aplicação em meio escolar. Antes da aplicação do questionário, foi assinado um consentimento informado para a participação no estudo, pelos encarregados de educação ou pelos próprios alunos, quando maiores de idade. O questionário foi posteriormente aplicado nos dias 21 e 22 de março de 2018, às oito turmas representativas da amostra.

Para a componente escrita desta investigação foi utilizado o *software Microsoft Office Word 2007* e os dados obtidos por questionário foram analisados com recurso ao *software* de análise estatística *Statistical*

Package for the Social Sciences (SPSS), versão 22.

Inicialmente foi feita uma análise descritiva da amostra, para uma caracterização da mesma quanto à idade, ao género e à aplicação de tratamento. De seguida, procedeu-se à análise das qualidades psicométricas do instrumento e aos testes de hipóteses através dos testes *t-Student* para amostras emparelhadas, testes *t-Student* para amostras independentes, correlações de Pearson e regressões lineares múltiplas.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Teste de Diferenças de Médias

Nesta secção foram realizados testes de diferenças de médias com recurso a testes *t-Student* para amostras emparelhadas e independentes, sendo consideradas significativas as diferenças entre grupos onde  $p\text{-value} \leq 0,05$  (Marôco, 2014). Através do teste *t-Student* para amostras emparelhadas testou-se as variações dos fatores entre o pré-teste e o pós-teste.

Tabela 1. Teste de Diferença de Médias entre Pré-Teste e Pós-Teste

	N	Média	Desvio Padrão	Erro padrão da média	Sig. (2 extremidades)
Intenção de Candidatura (Pré-teste)	150	2,89	1,75	,14	,000
Intenção de Candidatura (Pós-teste)	150	3,33	1,82	,15	

A Tabela 1, revela um aumento significativo da Intenção de Candidatura ( $p\text{-value} \leq 0,05$ ).

Para avaliar as diferenças entre o grupo experimental e o grupo de controlo utilizou-se o teste *t-Student* para amostras independentes.

Tabela 2. Teste de Diferença de Médias entre Grupo Experimental e de Controlo

Tratamento	N	Média	Desvio Padrão	Erro padrão da média	Sig. (2 extremidades)
Intenção de Sim	150	3,33	1,82	,15	,000
Não	47	2,17	1,32	,19	
Candidatura					

A tabela anterior (Tabela 2), revela uma diferença de médias significativa entre a Intenção de Candidatura do grupo submetido à ação de divulgação face ao grupo de controlo ( $p\text{-value} \leq 0,05$ ).

Segundo o modelo da TAP (Ajzen, 2012), as médias de Intenção de Candidatura podem ser medidas através da eq. (1), para além da medição de forma direta (item 23 do questionário). Para o valor do cálculo da média da Intenção de Candidatura estar compreendido entre 1 e 7, não foi necessário recorrer à *standardização* das variáveis pois utilizou-se um outro método para colocar as variáveis na mesma ordem de grandeza. A Intenção de Candidatura foi considerada a média das Atitudes, Normas Subjetivas e Controlo Comportamental Percebido e para estas três variáveis estarem na mesma ordem de grandeza, o valor de cada Atitude é uma média entre a Crença Comportamental e a Avaliação das Consequências, e o valor de cada Norma Subjetiva é uma média entre a Crença Normativa e a respetiva Motivação para Concordar. Assim, temos que:



$$C \sim BI = \frac{A+SN+PBC}{3} = \frac{\sum \frac{b_i e_i}{2}}{i} + \frac{\sum \frac{n_i m_i}{2}}{i} + \frac{\sum p_i}{i} \quad (2)$$

Tabela 3. Estatísticas de Diferença de Médias entre Pré-teste e Pós-teste

	N	Média	Desvio Padrão	Erro padrão da média	Sig. (2 extremidades)
Intenção de Candidatura (Pré-teste)	151	4,78	,95	,08	,044
Intenção de Candidatura (Pós-teste)	151	4,85	,95	,08	

Segundo a tabela anterior (Tabela 3) houve um aumento no valor médio da Intenção de Candidatura, que se revelou significativo ( $p\text{-value} \leq 0,05$ ).

Posteriormente, e novamente seguindo o segundo método utilizado, elaborou-se a tabela representativa da Intenção de Candidatura numa escala de 1 a 7, que evidenciou um aumento significativo no valor médio da Intenção de Candidatura entre o grupo experimental e o grupo de controlo (Tabela 4):

Tabela 4. Estatísticas da Diferença de Médias entre o Grupo Experimental e o Grupo de Controlo

Tratamento		N	Média	Desvio Padrão	Erro padrão da média	Sig. (2 extremidades)
Intenção de Candidatura	Sim	151	4,85	,95	,08	,014
	Não	47	4,48	,84	,12	

## 4.2 Teste de Correlações

Nesta análise, procurou-se testar a correlação entre as Atitudes, Normas Subjetivas e Controlo Comportamental Percebido específicos, com a Intenção de Candidatura.

Tabela 5. Teste de Correlações de Atitudes, Normas Subjetivas e Controlo Comportamental Percebido com a Intenção de Candidatura

		Atitude associada a uma Carreira de Sucesso	Atitude associada a uma Formação de Excelência	Atitude associada a uma Estabilidade Financeira	Atitude associada a uma Formação conjugada com uma componente Física	Norma Subjetiva associada aos Amigos	Norma Subjetiva associada aos Pais	Controlo Comportamental Percebido relativo às Provas de Seleção	Controlo Comportamental Percebido relativo ao Ingresso
Intenção de Candidatura	Correlação de Pearson	,275**	,360**	,273**	,312**	,506**	,601**	,312**	,583**
	N	198	198	198	198	198	198	198	198

\*. A correlação é significativa no nível 0,05 (2 extremidades).

\*\*.. A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).

A Tabela 5 evidencia uma correlação significativa entre a Intenção de Candidatura e todas as restantes variáveis.

### 4.3 Modelos Explicativos da Intenção Comportamental

Tendo como ponto de partida a existência de correlações entre as variáveis foram elaborados modelos explicativos para a Intenção de Candidatura (Item 23). Os modelos explicativos foram obtidos através de regressões lineares com a seleção *stepwise*, para analisar a relação entre as variáveis independentes e a variável dependente Intenção de Candidatura (Marôco, 2014). Foi feita uma regressão para analisar as variáveis preditoras da variável dependente no momento anterior à ação de divulgação (pré-teste) e no momento posterior à ação de divulgação (pós-teste).

No momento anterior à ação de divulgação, obteve-se:

$$\widehat{BI} = -2,102 + 0,373 \times C1 + 0,445 \times N2 + 0,264 \times F4$$

Esta regressão linear indica que o modelo aumenta 0,373 por cada unidade de Controlo Comportamental Percebido relativamente às Provas de Seleção ( $p\text{-value} \leq 0,01$ ), aumenta 0,445 por cada unidade de Norma Subjetiva relacionada com os Pais (conjugação entre a Crença Normativa relacionada com os Pais e a Motivação para Concordar com os Pais) ( $p\text{-value} \leq 0,01$ ) e 0,264 por cada unidade do Fator Externo da Importância de seguir uma Vida Militar ( $p\text{-value} \leq 0,01$ ).

No momento posterior à ação de divulgação, obteve-se:

$$\widehat{BI} = -2,928 + 0,378 \times C2 + 0,295 \times N2 + 0,432 \times A1 + 0,184 \times C1$$

Esta regressão linear indica que o modelo aumenta 0,378 por cada unidade de Controlo Comportamental Percebido relativamente ao Ingresso ( $p\text{-value} \leq 0,01$ ), aumenta 0,295 por cada unidade de Norma Subjetiva relacionada com os Pais (conjugação entre a Crença Normativa relacionada com os Pais e a Motivação para Concordar com os Pais) ( $p\text{-value} \leq 0,01$ ), 0,432 por cada unidade da Atitude relacionada com uma Carreira de Sucesso (conjugação entre a Crença numa Carreira de Sucesso e a Importância dada a uma Carreira de Sucesso) ( $p\text{-value} \leq 0,05$ ) e 0,184 por cada unidade de Controlo Comportamental Percebido relativamente às Provas de Seleção ( $p\text{-value} \leq 0,05$ ).

## 5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Esta investigação teve como objetivo ir além da confirmação e do reforço das descobertas feitas no âmbito das teorias apresentadas na revisão de literatura. Procurou-se principalmente analisar a variação na Intenção de Candidatura antes e após a aplicação da ação de divulgação, através de uma medida direta e, adicionalmente, segundo a equação representativa da TAP (Ajzen, 2012), eq. (1). Além desta análise, procurou-se a comparação dos resultados com um grupo de controlo, para reforçar o valor das ações de divulgação. A título exploratório, revelou-se importante compreender também, nos resultados obtidos, a influência que o curso e o género poderiam ter na intenção de candidatura à AFA. A nível causal procurou-se compreender quais os fatores mais preponderantes na intenção de candidatura à AFA.

Tabela 6. Validação das Hipóteses

Hipótese 1	Hipótese 1a	Confirmada
	Hipótese 1b	Confirmada
	Hipótese 1c	Confirmada
	Hipótese 1d	Confirmada
Hipótese 2	Hipótese 2a	Confirmada
	Hipótese 2b	Confirmada
Hipótese 3	Hipótese 3a	Confirmada
	Hipótese 3b	Confirmada
Hipótese 4	Hipótese 4a	Confirmada
	Hipótese 4b	Confirmada

Hipótese 1 - *As atitudes de um aluno do 12º ano em relação a candidatar-se à Academia da Força Aérea estão positivamente associadas à intenção comportamental de candidatura à mesma.*

No que respeita às hipóteses 1a, 1b, 1c e 1d, seria esperado uma confirmação das mesmas, pois segundo a revisão de literatura, a equação associada à TAP (Ajzen, 2012) evidencia, em termos matemáticos, que um aumento de uma crença levaria a um aumento consequente da Intenção de Candidatura.

A hipótese 1a - *As atitudes associadas a uma carreira de sucesso de um aluno do 12º ano em relação à Academia da Força Aérea estão positivamente associadas à intenção comportamental de candidatura à mesma* foi confirmada nas correlações positivas e significativas evidenciadas entre as variáveis, dando suporte empírico à TAP (Ajzen, 2012).

É coerente a correlação positiva entre esta Atitude e a Intenção de Candidatura, na medida em que se os alunos acreditam que a AFA lhes pode dar uma carreira de sucesso e se dão importância a uma carreira desse tipo, então este é um fator contributivo para a sua Intenção de Candidatura.

A hipótese 1b - *As atitudes associadas a uma formação de excelência de um aluno do 12º ano em relação à Academia da Força Aérea estão positivamente associadas à intenção comportamental de candidatura à mesma* foi também confirmada pelas correlações positivas e significativas evidenciadas entre as variáveis, dando suporte empírico à TAP (Ajzen, 2012).

Novamente, é coerente o facto de que se os inquiridos possuem a crença de que a AFA lhes pode oferecer uma formação de excelência e se estes dão importância a esse tipo de formação, então este é outro fator contributivo para a sua Intenção de Candidatura.

A hipótese 1c - *As atitudes associadas a uma boa estabilidade financeira de um aluno do 12º ano em relação à Academia da Força Aérea estão positivamente associadas à intenção comportamental de candidatura à mesma* foi também confirmada pelas correlações positivas e significativas evidenciadas entre as variáveis, dando de igual modo suporte empírico à TAP (Ajzen, 2012). Se a crença de que a AFA pode oferecer uma boa estabilidade financeira é conjugada com a importância dada pelos alunos à mesma, então este é mais um fator contributivo para a sua intenção de candidatura.

A hipótese 1d - *As atitudes associadas a uma formação académica conjugada com uma componente física de um aluno do 12º ano em relação à Academia da Força Aérea estão positivamente associadas à intenção comportamental de candidatura à mesma* foi também confirmada pelas correlações positivas e significativas evidenciadas entre as variáveis, dando de igual modo suporte empírico à TAP (Ajzen, 2012).

Se existe uma crença de que a formação na AFA pode ser conjugada com uma componente física e se é dada importância ao facto de existir essa componente, então este fator revela-se também contributivo na intenção de candidatura.

*Hipótese 2 - As normas subjetivas de um aluno do 12º ano em relação a candidatar-se à Academia da Força Aérea estão positivamente associadas à intenção comportamental de candidatura à mesma.*

No que diz respeito à hipótese 2a - *As normas subjetivas relacionadas com os amigos de um aluno do 12º ano em relação à Academia da Força Aérea estão positivamente associadas à intenção comportamental de candidatura à mesma*, seria expectável uma correlação positiva e significativa com a Intenção Comportamental já que, segundo a eq. (1) (Ajzen, 2012), havendo uma opinião favorável dos amigos sobre a AFA e uma importância dada a essa opinião dos amigos, a Intenção Comportamental iria correlacionar-se com essa Atitude, o que se confirmou.

A hipótese 2b - *As normas subjetivas relacionadas com os pais de um aluno do 12º ano em relação à Academia da Força Aérea estão positivamente associadas à intenção comportamental de candidatura à mesma* seria expectável na medida em que quando a opinião dos pais é favorável em relação à AFA e os filhos dão importância à opinião dos pais, segundo a equação representativa da TAP (Ajzen, 2012), a Intenção Comportamental estaria correlacionada, o que se veio a confirmar nas correlações positivas e significativas evidenciadas entre as variáveis.

*Hipótese 3 - O controlo comportamental percebido de um aluno do 12º ano em relação a se candidatar à Academia da Força Aérea está positivamente associado à intenção comportamental de candidatura à mesma.*

A hipótese 3a - *O controlo comportamental percebido associado às provas de seleção de um aluno do 12º ano em relação a se candidatar à Academia da Força Aérea está positivamente associado à intenção comportamental de candidatura à mesma* confirmou-se pelas correlações positivas e significativas evidenciadas entre as variáveis, sendo já esperado pela equação representativa da TAP (Ajzen, 2012), pois segundo a literatura uma pessoa tem tanto mais intenção de adotar um comportamento quanto mais confiante se sentir ao fazê-lo.

A hipótese 3b - *O controlo comportamental percebido associado ao ingresso nas vagas disponíveis de um aluno do 12º ano em relação a se candidatar à Academia da Força Aérea está positivamente associado à intenção comportamental de candidatura à mesma* é semelhante à anterior mas um pouco mais específica na medida em que já afere a autoconfiança no que diz respeito a ingressar dentro das vagas disponíveis. A hipótese confirmou-se nas correlações positivas e significativas evidenciadas entre as variáveis, sendo já esperado pelo mesmo motivo da hipótese anterior.

*Hipótese 4 - As ações de divulgação revelam um impacto positivo, em alunos do 12º ano, na Intenção de Candidatura à Academia da Força Aérea.*

A hipótese 4a - *As ações de divulgação provocam diferenças positivas na Intenção de Candidatura à Academia da Força Aérea em alunos do 12º ano, entre o momento anterior e posterior a essa mesma divulgação* foi confirmada pelos resultados obtidos, que revelam um aumento significativo da Intenção de Candidatura após a ação de divulgação, comparativamente ao momento anterior à aplicação da mesma.

Na hipótese 4b - *As ações de divulgação provocam diferenças positivas na Intenção de Candidatura à Academia da Força Aérea em alunos do 12º ano, submetidos a essa divulgação, comparativamente a alunos não submetidos à mesma* obteve-se a confirmação pela diferença significativa entre a Intenção de Candidatura do grupo experimental e do grupo de controlo, onde se verificou uma média superior no grupo experimental.

Analisando a hipótese 4b repara-se que a Intenção de Candidatura antes de qualquer ação de divulgação era maior no grupo experimental do que no grupo de controlo. Daí a importância da parte exploratória do estudo que permitiu analisar que a Intenção de Candidatura de alunos do curso de Ciências e Tecnologias

é superior à Intenção de Candidatura de alunos do curso de Ciências Socioeconómicas. Então, fazendo uma análise ao grupo experimental, constituído por cinco turmas de Ciências e Tecnologias e uma turma de Ciências Socioeconómicas repara-se que a proporção não é a mesma do grupo de controlo, que é constituído por uma turma de cada curso. Esta percentagem do curso de Ciências Socioeconómicas no grupo de controlo leva a que a intenção global de candidatura do mesmo seja mais baixa que no grupo experimental, o que seria de esperar já que os alunos que optam pelo curso de Ciências Socioeconómicas, um curso mais específico, por norma já têm em vista um futuro na área desse mesmo curso.

Relativamente à parte causal do estudo, os resultados obtidos através dos modelos explicativos da Intenção Comportamental permitiram concluir que os fatores mais preditores da Intenção de Candidatura à AFA, antes da ação de divulgação, são o Controlo Comportamental Percebido relativamente às Provas de Seleção, a Norma Subjetiva relacionada com os Pais e o Fator Externo da Importância de seguir uma Vida Militar, este último associado a alguns dos fatores mais preponderantes de motivação referidos pelos jovens candidatos à FA num outro estudo referenciado na revisão de literatura (Vaz, 2009). Já após a ação de divulgação, os fatores mais preditores são o Controlo Comportamental Percebido relativamente ao Ingresso, a Norma Subjetiva relacionada com os Pais, a Atitude relacionada com uma Carreira de Sucesso e o Controlo Comportamental Percebido relativamente às Provas de Seleção.

O facto de antes e após a ação de divulgação, os fatores mais preditores que se mantêm sempre serem o Controlo Comportamental Percebido relativamente às Provas de Seleção e a Norma Subjetiva relacionada com os Pais, mostra a importância que os alunos do 12º ano têm em sentir-se capazes de ultrapassar as provas que a AFA tem para o ingresso e o apoio dado pelos pais para a sua candidatura.

Analisando a diferença da Intenção de Candidatura à AFA antes e depois da ação de divulgação de alguns inquiridos, podemos encontrar algumas explicações. Ainda que, como observado, o valor médio tenha aumentado significativamente, individualmente alguns alunos aumentaram a sua Intenção de Candidatura, revelando o impacto da ação de divulgação, mas outros diminuíram a sua intenção de candidatura o que pode também revelar-se importante no sentido em que seriam alunos que queriam concorrer à AFA pela idealização formada e pelo conhecimento que tinham sobre a mesma que não correspondia à realidade e que, após a ação de divulgação, os elucidou. Isto pode também revelar-se particularmente interessante para evitar que as expectativas de quem concorre não sejam defraudadas.

## 6. CONCLUSÕES

Para responder à pergunta de partida “Será que as ações de divulgação aumentam a intenção de candidatura à Academia da Força Aérea?” foi definido o objetivo de testar se a realização destas ações de divulgação da AFA junto dos alunos do ensino secundário, mais especificamente dos alunos a frequentar o 12º ano de escolaridade, pode alterar o número de pessoas com a intenção de candidatura à AFA. Esse objetivo foi testado e verificado por duas vias, reforçando assim a importância destas ações. Primeiro, através de uma medida direta da Intenção de Candidatura que revelou um aumento significativo da mesma e depois, através da equação representativa da TAP (Ajzen, 2012), sugerida pela literatura para medir a intenção através de outras variáveis, que igualmente revelou um aumento significativo da Intenção de Candidatura após a ação de divulgação.

O valor das médias de Intenção de Candidatura revelou um aumento do pré-teste para o pós-teste, evidenciando o impacto da ação de divulgação. Confirmou-se que este aumento foi devido à ação de

divulgação e não devido a outro motivo já que o período entre o pré-teste e o pós-teste foi curto, impedindo a influência de outros fatores, como sugere a literatura, e ainda comprovado pelo *Static Group Comparison* que permite afirmar que a intenção aumentou no grupo experimental com a ação de divulgação e que teve um valor mais elevado que o grupo de controlo que não sofreu qualquer tratamento.

Após se verificar o impacto da ação de divulgação junto desta amostra, procurou-se concluir quais as variáveis que mais impacto têm sobre a Intenção de Candidatura à AFA, de forma a poder prever possíveis candidatos através do grau de Intenção de Candidatura medido por essas variáveis. Assim, através dos modelos explicativos concluiu-se que antes da ação de divulgação a Intenção de Candidatura era explicada pelo Controlo Comportamental Percebido relativamente às Provas de Seleção, pela Norma Subjetiva relacionada com os Pais e pelo Fator Externo da Importância de seguir uma Vida Militar. Por outro lado, após a ação de divulgação a Intenção de Candidatura foi explicada pelo Controlo Comportamental Percebido relativamente ao Ingresso, pela Norma Subjetiva relacionada com os Pais, pela Atitude relacionada com uma Carreira de Sucesso e pelo Controlo Comportamental Percebido relativamente às Provas de Seleção.

O estudo permitiu ainda concluir que a Intenção de Candidatura à AFA é superior no género masculino comparativamente ao género feminino, o que seria de esperar, já que, por norma, a capacidade física dos homens é superior à capacidade física das mulheres, o que leva a um Controlo Comportamental Percebido superior no género masculino, deixando-os mais confortáveis no que diz respeito à sua opinião relativamente à capacidade de superar as provas que são impostas no meio militar, face ao género feminino. Também o valor médio da Intenção de Candidatura foi superior no Curso de Ciências e Tecnologias comparada com o Curso de Ciências Socioeconómicas, o que seria expectável visto, este último, ser um curso mais específico em termos de saídas futuras na continuação dos estudos, pelo que quem o escolhe já tem, à partida, uma vocação ou interesse por essa área, sendo normal um interesse menor numa candidatura à AFA.

Esta investigação aplicada, permitiu comprovar, a nível teórico, as correlações entre as variáveis que constituem a TAP (Ajzen, 2012), dando-lhe suporte empírico. No entanto, os valores da média de Intenção de Candidatura calculados a partir da eq. (1) são mais elevados quando comparados com a medição da intenção feita de forma direta, através do item 23 do questionário, o que leva a concluir que o “peso” de cada uma das variáveis na sua contribuição para a determinação da Intenção de Candidatura é diferente, levando à elaboração dos modelos explicativos, de forma a prever intenções comportamentais no âmbito da candidatura à AFA.

As conclusões deste estudo revelam a importância da aplicação destas ações de divulgação junto dos alunos do 12º ano das escolas secundárias, com um aumento significativo do número de alunos com intenção de candidatar-se à AFA. O CRFA aceita os convites propostos pelas escolas para os dias destinados à divulgação das diferentes saídas profissionais e académicas, conforme a sua disponibilidade. No entanto, tendo em conta o decréscimo no número de candidatos à AFA, a importância que têm os recursos humanos e os resultados desta investigação, o CRFA deve procurar que este tipo de ações sejam prioridade pela ação direta que provocam, devendo ser o CRFA a procurar endereçar o maior número de convites possíveis às escolas de forma a aumentar o número de candidatos às provas de admissão à AFA.

Ao longo da investigação impuseram-se algumas limitações, obrigando a encontrar soluções para minimizar os efeitos nas principais conclusões que se pretendia retirar.

A principal limitação deste estudo prendeu-se com a dificuldade de coordenação da aplicação do questionário, onde a escola revelou alguma dificuldade em encontrar tempos letivos para a aplicação do mesmo, atrasando o estudo e levando à decisão de que a única possibilidade de aplicação do questionário seria a aplicação deste a uma turma de cada vez, ao invés de se juntar toda a amostra num espaço onde

seria aplicado o questionário, a ação de divulgação e noutra dia o questionário novamente. Nesta situação ideal, todos os momentos temporais dos *designs* utilizados estariam alinhados, impedindo a possível contaminação de turmas que tiveram o tratamento e o questionário depois de outras. Pela mesma razão, e mais especificamente no caso do *design Static Group Comparison*, o pós-teste do grupo experimental estaria em perfeito alinhamento temporal com o pós-teste do grupo de controlo, se tivesse havido a possibilidade da aplicação do estudo como idealizado.

Outra limitação, relacionada com a anterior, foi o tempo disponível que não permitiu aumentar a dimensão da amostra que, ainda que não tenha sido insuficiente para os resultados, o facto de se poder aplicar o estudo em mais escolas poderia enriquecer os resultados e as conclusões obtidas.

Impôs-se ainda, a limitação do grupo de controlo ser, como referido na discussão dos resultados, constituído por uma turma de cada curso, enquanto que o grupo experimental tinha uma proporção diferente (cinco turmas de Ciências e Tecnologias e uma de Ciências Socioeconómicas). Esta limitação resultou do facto de existirem turmas com tempos letivos disponíveis para responder apenas ao questionário, enquanto que outras tinham disponibilidade para responder aos questionários e serem submetidas à ação de divulgação, obrigando a uma gestão das turmas que pertenciam a cada um dos grupos, que resultou nas proporções apresentadas.

Tendo em conta as limitações do estudo, sugere-se fazer o mesmo estudo em outras escolas, em diversas áreas geográficas do país, de forma a testar a possível influência da região ou da proximidade das escolas à AFA, procurando fazê-lo como inicialmente idealizado para esta investigação, ou seja, com todos os alunos num espaço, de forma a que os momentos temporais dos *designs* estejam perfeitamente alinhados.

Sugere-se também, a realização do estudo com a mesma proporção de turmas dos diferentes cursos, no grupo experimental e de controlo. Em adição, pode também incluir-se o Curso de Línguas e Humanidades e o Curso de Artes Visuais que não têm no seu programa o exame de matemática A, requisito para ingressar na AFA, mas que pode revelar diferenças de intenção com a ação de divulgação e despertar algum interesse para algum possível candidato que queira propor-se ao exame de Matemática A para poder concorrer.

Com base no facto de outros estudos que envolvem a TAP (Quick, *et al.*, 2008; Jalilian, Joulaei, Mirzaei-Alavijeh, Samannezhad, & Berimvandi, 2016) utilizarem a metodologia de análise do Modelo de Equações Estruturais, sugere-se uma investigação com esta metodologia para comparação dos resultados.

A literatura deste estudo remetia para a Intenção Comportamental como o antecedente imediato e mais próximo do comportamento. Concluído o estudo, e tendo em conta o aumento do número de alunos com intenção de candidatar-se, sugere-se uma análise do comportamento. Para essa análise, deve-se perguntar aos elementos do grupo experimental que revelaram ter uma intenção elevada de candidatura à AFA, se realmente avançaram com essa candidatura.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AJZEN, I. (2012). The Theory of Planned Behavior. In P. V. Lange, A. W. Kruglanski, & E. T. Higgins, **Handbook of Theories of Social Psychology** (pp. 438-459). Los Angeles: SAGE.
- [2] AJZEN, I. (2013). Theory of Planned Behaviour Questionnaire. Measurement Instrument Database for the Social Science. Retrieved from [www.midss.org](http://www.midss.org).
- [3] AJZEN, I., & FISHBEIN, M. (1980). **Understanding attitudes and predicting social behavior**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- [4] AJZEN, I., & SHEIKH, S. (2013). Action versus inaction: anticipated affect in the theory of planned behavior. **Journal of Applied Social Psychology**, 43(1), 155-162.
- [5] BANDURA, A. (1971). **Social Learning Theory**. New York City: General Learning Press.
- [6] BANDURA, A. (1977). Self-Efficacy: Toward a Unifying Theory of Behavioral Change. **Psychological Review**, 84(2), 191-215.
- [7] BELKHAMZA, Z., & NIASIN, M. (2017). The Effect of Privacy Concerns on Smartphone App Purchase in Malaysia: Extending the Theory of Planned Behavior. **International Journal Of Interactive Mobile Technologies**, 11(5), 178-194.
- [8] BRIDA, J. G., & SCHUBERT, S. F. (2008). The economic effects of advertising on tourism. **Economics Bulletin**, 6(45), 1-16.
- [9] CAMARA, P., GUERRA, P., & RODRIGUES, J. (2007). **Novo humanator: recursos humanos e sucesso empresarial**. Lisboa: Publicações Dom Quixote.
- [10] CARVALHO, S. (2010). A Crise Vocacional da Juventude Portuguesa Face à Carreira Militar e o seu Impacto na Estrutura das Forças Armadas. Lisboa: Instituto de Estudos Superiores Militares.
- [11] CHIAVENTAO, I. (1992). **Recursos Humanos**. São Paulo: Atlas.
- [12] COGHLAN, D. (1993). A Person-centred Approach to Dealing with Resistance to Change. **Leadership & Organization Development Journal**, 14(4), 10-14.
- [13] CRESWELL, J. (2014). **Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches** (4ª Edição ed.). Thousand Oaks, California: SAGE Publications.
- [14] DERTOUZOS, J., POLICH, J. M., BAMEZAI, A., & CHESNUTT, T. (1989). **The Effects of Military Advertising: Evidence from the Mix Advertising Test**. Santa Monica, CA: Defense Technical Information Center.
- [15] FISHBEIN, M., & AJZEN, I. (1975). **Belief, Attitude, Intention, and Behavior: An Introduction to Theory and Research**. Reading, Mass: Addison-Wesley.
- [16] FORÇA AÉREA. (2009). **Anuário Estatístico da Força Aérea**. Força Aérea.
- [17] FORÇA AÉREA. (2010). **Anuário Estatístico da Força Aérea**. Força Aérea.
- [18] FORÇA AÉREA. (2011). **Anuário Estatístico da Força Aérea**. Força Aérea.
- [19] FORÇA AÉREA. (2012). **Anuário Estatístico da Força Aérea**. Força Aérea.
- [20] FORÇA AÉREA. (2013). **Anuário Estatístico da Força Aérea**. Força Aérea.
- [21] FORÇA AÉREA. (2014). **Anuário Estatístico da Força Aérea**. Força Aérea.
- [22] FORÇA AÉREA. (2015). **Anuário Estatístico da Força Aérea**. Força Aérea.
- [23] FORÇA AÉREA. (2016). **Relatório dos Concursos de Admissão 2016**. Força Aérea.
- [24] HILL, M., & HILL, A. (2005). **Investigação por Questionário** (2ª ed.). Lisboa: Sílabo.
- [25] JALILIAN, F., JOULAEI, H., MIRZAEI-ALAVIJEH, M., SAMANNEZHAD, B., & BERIMVANDI, P. (2016). Cognitive Factors Related to Cigarettes Smoking among College Students: An Application of Theory of Planned Behavior. **The Social Sciences**, 11, 1189-1193.
- [26] KOENIG, J., & ROBERT, F. (1984). **Advertising Strategies: Corporate and Product-Specific**. Maxwell AFB: Defense Technical Information Center.
- [27] MARÔCO, J. (2014). **Análise Estatística com o SPSS Statistics** (6ª ed.). Pêro Pinheiro: ReportNumber.
- [28] QUICK, B., STEPHENSON, M., WITTE, K., VAUGHT, C., BOOTH-BUTTERFIELD, S., & PATEL, D. (2008). An examination of antecedents to coal miners' hearing protection behaviors: A test of the theory of planned behavior. **Journal of Safety Research**, 39(3), 329-338.
- [29] VAZ, D. (2009). A Imagem da Força Aérea Portuguesa. Lisboa: Instituto de Estudos Superiores Militares.



# A relação entre a Motivação, o Sistema de Recompensas e a Intenção de Saída dos Oficiais da Força Aérea



**Autora:** Sónia Fernandes Silva, Tenente Aluna do Mestrado Integrado  
na especialidade de Administração Aeronáutica  
Academia da Força Aérea Portuguesa, Sintra

**Orientadora:** Professora Doutora Sofia Lourenço  
Instituto Superior de Economia e Gestão, Lisboa

**Coorientador:** Major Nuno Quirino Martins  
Estado- Maior da Força Aérea Portuguesa, Alfragide

**Resumo:** A presente dissertação pretende estudar as relações teóricas entre a Motivação, os diferentes tipos de Recompensas, e a Intenção de Saída das organizações, no contexto específico dos militares dos quadros permanentes da Força Aérea Portuguesa. Para tal, foi realizada uma recolha de dados primária, através de entrevista dirigida a militares e ex-militares que pediram abate ao quadro nos últimos dez anos. Posteriormente foram aplicados dois questionários que resultaram em 222 respostas de militares e 38 de ex-militares.

Os resultados sugerem que em geral nos modelos propostos, existe uma relação positiva entre a Motivação Intrínseca e a importância dada às Recompensas Não Financeiras Intrínsecas, assim como uma relação positiva entre a Motivação Extrínseca e importância dada às Recompensas Não Financeiras Extrínsecas. Alguns modelos validaram também uma relação positiva entre a Motivação Intrínseca e a recompensa financeira Benefícios, bem como uma relação positiva entre esta motivação com as Recompensas Não Financeiras Extrínsecas. Relativamente à Intenção de Saída da organização Força Aérea, os resultados suportam uma relação positiva com a importância dada à Remuneração Variável, uma relação positiva com a variável Risco, e uma relação negativa com a variável Identificação.

**Palavras-chave:** Benefícios, Incentivos, Intenção de Saída, Motivação Extrínseca, Motivação Intrínseca, Recompensas.

## 1. INTRODUÇÃO

É relativamente comum defender-se que os recursos humanos são o bem mais importante para as organizações. Essa premissa, contudo, não se verifica, se as organizações apenas sublinham a importância do capital humano no cumprimento dos seus objetivos estratégicos, mas não procuram perceber como motivar os indivíduos a direcionar os seus esforços nesse sentido. Nem sempre os gestores julgam de forma acertada o que motiva os seus empregados, tomando como dado adquirido que essa motivação deriva apenas de recompensas extrínsecas ou apenas financeiras. Tal, pode conduzir a uma falha na perceção das necessidades dos colaboradores (Morse, 2003), dificultando o desafio que as organizações enfrentam em reter os seus talentos (Dewhurst et al., 2009). A Intenção de Saída (IS) das organizações, pode efetivamente estar relacionada com a inadequação ou inexistência dos diferentes tipos de recompensas, face à importância que estas têm para os indivíduos (Baughman et al. 2003; Lopez et al. 2006).

No contexto específico da organização Força Aérea (FA), cuja missão particular assenta no serviço à Nação, através da defesa militar da República, as práticas em torno dos recursos humanos são muito importantes. O investimento em torno da seleção, formação e treino continuado dos militares de forma a torná-los altamente especializados e preparados é substancial, quer em termos financeiros, quer no que respeita ao tempo despendido. O esforço que os militares exercem para cumprir os objetivos da organização FA, tem como contrapartida determinadas recompensas e benefícios definidos por lei. Não obstante a existência das recompensas financeiras e não financeiras, tem-se assistido a um abandono voluntário da organização, perdendo-se as capacidades, a experiência e o conhecimento dos recursos, que são extremamente valorizados por organizações civis posteriormente.

De forma a estudar as relações entre motivação, recompensas e intenção de saída neste contexto, foram analisadas as especialidades militares cujo número de saídas foram mais evidentes, e conduzidas entrevistas exploratórias a pares de militares e ex-militares de cada especialidade. Posteriormente foram

aplicados dois questionários, um dirigido aos atuais militares dos Quadros Permanentes (QP) (528), e outro aos ex-militares que saíram da FA pedindo o abate ao QP nos últimos 10 anos (106). As taxas de respostas obtidas, após validação foram de 42% e 76% respetivamente. Para analisar os dados recolhidos foi utilizado o Modelo de Equações Estruturais (SEM), através da regressão dos Mínimos Quadrados Parciais (PLS-SEM), com auxílio do *software* Smart PLS 3.0.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA E DESENVOLVIMENTO DE HIPÓTESES

De acordo com Simons (2000) os gestores devem definir concretamente os objetivos que pretendem atingir, quer sejam financeiros, ou não financeiros, de curto ou de longo prazo. Para tal é importante ter em consideração a existência de diversos *stakeholders*, como os proprietários, os gestores e os empregados, os clientes, os investidores e eventualmente o Governo, que manifestam interesse em diferentes aspetos da *performance* da organização. No que concerne aos gestores e empregados em particular, as métricas definidas devem procurar motivá-los a atingirem os seus objetivos pessoais e ao mesmo tempo contribuir para os objetivos da organização (Anthony & Govindarajan, 2003). Assim, é necessário desenhar um plano de recompensas apropriado que permita premiar a *performance* individual e potenciar a *performance* organizacional (Atkinson et al., 2007).

### 2.1 Motivação

Segundo Ryan & Deci (2000b) uma pessoa motivada é impelida a exercer um esforço fruto de um ímpeto, sendo a motivação uma condição necessária para manter os indivíduos com a energia para agir na direção de um determinado fim. Por conseguinte, a desmotivação resulta da falta de entusiasmo para atingir esse mesmo fim.

#### 2.1.1 Motivação Extrínseca e Intrínseca

A motivação varia não só quanto ao nível, mas também quanto à orientação, existindo dois tipos de motivação que dividem as atitudes e objetivos que consubstanciam as ações tomadas, nomeadamente: ME e a MI (Ryan & Deci, 2000b). Segundo estes autores, a ME advém do interesse na obtenção de algum resultado derivado da realização de uma determinada ação ou atividade. A MI resulta de um interesse não provocado externamente sobre a tarefa (Amabile et al., 1994), da realização de uma atividade pela inerente satisfação interior e não por uma consequência separada (Ryan & Deci, 2000a).

De acordo com Amabile et al (1994), os estudos em torno da motivação propõem que os indivíduos diferem à partida, no que respeita a sua orientação para a motivação extrínseca ou intrínseca, sendo que antever essas diferenças poderá permitir compreender e prever os seus comportamentos. Segundo Amabile et al (1994), uma pessoa que se considere tendencialmente motivada de forma intrínseca procurará ambientes laborais em que possa desempenhar atividades mais criativas, e desenvolver novas capacidades, e por outro lado um indivíduo com mais orientação para a motivação extrínseca, irá procurar um ambiente em que existam motivações externas.

### 2.2. Sistemas de Recompensas

#### 2.2.1 Definição

O estudo em torno da eficiência dos diferentes tipos de recompensas é vasto, e consubstancia-se no Sistema de Incentivos (SI). Tradicionalmente o SI assentava apenas na RV como forma de influenciar

o comportamento dos membros de uma organização de acordo com os objetivos da mesma (Anthony & Govindarajan, 2003). Ao longo dos últimos anos, as crises de ordem econômica aumentaram a preocupação em torno do modo mais eficiente para motivar os gestores (Dewhurst et al., 2009). Proporcionou-se assim a oportunidade para considerar a utilização de outras recompensas, como os Benefícios e as Recompensas Não Financeiras (RNF), o que conduziu ao aparecimento de inúmeros estudos sobre as RNF (Jenkins et al., 1998; Ellingsen & Johannesson, 2007; Brun & Dugas, 2008; Bhattacharya & Dugar, 2012). Deste modo, o sistema de recompensas divide-se em dois tipos de acordo com a sua natureza: os financeiros e os não financeiros (Chiang & Birtch, 2006; Rego et al., 2010).

### **2.2.2 Recompensas financeiras**

Segundo Anthony & Govindarajan (2003) e Rego et al. (2010), as recompensas financeiras representam um custo para as organizações e podem ser definidas de acordo com três tipos: RF, RV, e ainda Benefícios ou remuneração indireta (*fringe benefits*).

#### **2.2.2.1 Remuneração fixa**

Brown et al. (2003) sublinham a relevância de analisar as características do sistema de pagamentos das organizações, relativamente aos critérios de atribuição da RF, nomeadamente o nível e a estrutura de pagamentos.

O nível de pagamentos depende da política salarial da organização, sendo a remuneração definida de acordo com a função, as competências ou o mercado (Rego et al., 2010). No que concerne à estrutura de pagamentos, ou seja, a diferenciação do pagamento entre os indivíduos que pode ser mais igualitária ou mais hierarquizada. Rego et al. (2010) argumentam que a remuneração relaciona-se de forma estreita com o conceito de equidade

#### **2.2.2.2 Remuneração variável**

A RV pode apresentar vantagens uma vez que diminui o empenho financeiro necessário para as empresas numa fase inicial ao associar parte dos custos com a remuneração ao desempenho dos indivíduos e por consequência da organização (Rego et al., 2010). Para Gerhart & Fang (2014) no contexto de uma economia globalizada, onde a cooperação e colaboração constituem uma mais-valia, a RV deve também considerar o trabalho em equipa, por oposição a recompensar apenas numa base individual. Pepper et al. (2013) defendem que a RV proporciona bem-estar, age como meio de retenção e de comprometimento, e tem consequências ao nível da *performance*.

#### **2.2.2.3 Benefícios**

A utilização da remuneração em forma de Benefícios (Benef) tem vindo a aumentar, contudo a literatura em torno deste tema ainda é parca (Long & Shields, 2010). Os benefícios enquanto componente das recompensas financeiras não dependente do desempenho mas estão muitas vezes relacionados com a função. Podem ser, entre outros: atribuição de viatura da empresa, planos de saúde e pensões, apoios à formação (Rego et al., 2010); disponibilização da prestação de cuidados na educação dos filhos dos trabalhadores no local de trabalho, flexibilidade de horário incluindo trabalho a partir de casa, formação no local de trabalho (Farzin, 2009). Alguns Benefícios são transversais a todos os trabalhadores, como os planos de saúde ou pagamentos de mensalidades de ginásio, enquanto outros são oferecidos de acordo com a posição na organização. Além disso, os benefícios podem ainda variar na sua dimensão monetária, desde

um presente no dia de aniversário, até um plano de reforma (Rego et al., 2010). Para Crifo & Diaye (2011) na perspectiva do trabalhador, o Benefício pode ser interessante dado que um bônus na forma monetária, está sempre sujeito a imposto. Na perspectiva do empregador, as recompensas em forma de benefícios podem representar também uma vantagem fiscal.

### 2.2.3 Recompensas Não Financeiras

As RNF também referidas como recompensas psicológicas ou sociais dizem respeito à possibilidade de promoção, aumento da responsabilidade, grau de autonomia, reconhecimento e localização geográfica (Anthony & Govindarajan, 2003), *feedback* (Peterson & Luthans, 2006), respeito, confiança (Ellingsen & Johannesson, 2007), entre outras. As RNF podem ser extrínsecas, RNFE, quando a recompensa consubstancia uma manifestação exterior, como por exemplo no caso do reconhecimento feito pelos superiores, ou pelos pares; e intrínsecas, RNFI, quando se manifestam de forma interior, sendo disso exemplo a autonomia e a confiança. Para Ashraf et al. (2014) as RNF têm consequências no comportamento dos trabalhadores, uma vez que afetam o reconhecimento do mesmo, a sua visibilidade social, e possibilitam a comparação social.

### 2.3 A relação entre Motivação e o Sistema de Recompensas

O interesse em torno da relação entre a motivação e os diferentes tipos de recompensas tem sido muito debatido (Long & Shields, 2010). Ao longo dos anos foram-se desenvolvendo várias teorias, ligadas às Recompensas Financeiras. Esta ênfase remonta à Teoria da Administração Científica de Taylor, que definiu a atribuição de RV (pagamento à peça) para motivar os trabalhadores (Taylor, 1919). A Teoria da Agência vem mais tarde dar continuidade ao uso da RV enquanto promotora do alinhamento dos interesses entre partes, neste caso os gestores e acionistas (Jensen & Meckling, 1976). A influência exercida sobre o comportamento dos indivíduos na direção dos objetivos da organização, pode também ser explicada por abordagens comportamentais, centradas em critérios de justiça, equidade, moral, confiança, responsabilidade social e cultura, evidenciando assim o contributo multidisciplinar da Psicologia, Sociologia e Gestão de Recursos Humanos (GRH) (Baker et al., 1988). A Teoria das Necessidades refere que as necessidades dos indivíduos podem ser hierarquizadas através de cinco níveis: as necessidades fisiológicas, as de segurança, as sociais, as de estima e as de realização pessoal (Maslow, 1943). Para este autor, se a remuneração permite a satisfação das necessidades mais básicas, logo surgem outras necessidades que se enquadram nos níveis seguintes, nomeadamente necessidades sociais como a relação com colegas e chefe, de estima através do reconhecimento, e por fim de realização pessoal. Herzberg (1987) propõe a Teoria dos Dois Fatores: os fatores intrínsecos, influenciáveis pelo indivíduo; e os fatores extrínsecos, fora do seu controlo.

De um modo geral as teorias económicas concentram-se na ME, enquanto resultado da atribuição de recompensas externas. Já as teorias comportamentais e psicológicas centram-se mais na MI, contrapondo que as recompensas extrínsecas podem enfraquecer este tipo de motivação (Bénabou & Tirole, 2003). Para Cerasoli et al. (2014), os comportamentos que resultam de uma ME, visam a instrumentalização de possíveis ganhos e perdas de incentivos. Estes autores referem que as organizações, fomentam este tipo de motivação nos seus planos de recompensas, acreditando que as pessoas reagem ao que lhes é prometido. Por outro lado, referem que os comportamentos originados pela MI não estão relacionados com nenhum resultado exterior, mas sim com uma recompensa interior, concluindo que as tarefas que enfatizam a quantificação da *performance* têm uma relação fraca com a MI.

Assim, de acordo com o exposto, pretende-se testar a relação entre os tipos de motivação e recompensas, verificando as seguintes hipóteses:

**H1a:** A MI não está relacionada com a importância atribuída à RF.

**H1b:** A MI não está relacionada com a importância atribuída à RV.

**H1c:** A MI não está relacionada com a importância atribuída aos Benefícios.

**H1d:** A MI não está relacionada com a importância atribuída às RNFE.

**H1e:** A MI está positivamente relacionada com a importância atribuída às RNFI.

**H2a:** A ME está positivamente relacionada com a importância atribuída à RF

**H2b:** A ME está positivamente relacionada com a importância atribuída à RV.

**H2c:** A ME está positivamente relacionada com a importância atribuída aos Benefícios.

**H2d:** A ME está positivamente relacionada com a importância atribuída às RNFE.

**H2e:** A ME não está relacionada com a importância atribuída às RNFI.

## 2.4 Intenção de abandono das organizações

De acordo com Shaw et al. (1998) o *turnover* pode dividir-se em dois tipos: o *turnover* voluntário, que reflete a decisão do colaborador deixar a organização; e o *turnover* involuntário que diz respeito à decisão do empregador em dar por terminada a relação laboral com o colaborador. A saída voluntária representa um desafio para as empresas no atual mercado de trabalho, independentemente da sua dimensão, tecnologia ou foco de mercado (Ramlall, 2004). Segundo o mesmo autor, com as saídas voluntárias dos recursos humanos das organizações perdem-se as capacidades, a experiência e o conhecimento dos mesmos e por conseguinte o valor económico inerente, o que causa um grande impacto financeiro. A IS tem sido também associada à motivação dos colaboradores e abordada por vários estudos. De acordo com o estudo dicotómico em torno MI e ME realizado por Cerasoli et al. (2014), quando as organizações pretendem motivar os seus colaboradores, devem aliar a orientação da motivação com o tipo de atividades que realizam e os comportamentos que pretendem incentivar. No entanto, segundo os mesmos autores, devem considerar os dois tipos de motivação, pois são ambas relevantes. Assim, no caso de organizações cuja missão está mais ligada à componente intrínseca da motivação e em que a ME é descurada, quer pela inexistência ou desadequação das recompensas e benefícios, poderão surgir danos colaterais tais como o *turnover* voluntário. Por outro lado segundo Dysvik & Kuvaas (2010), Kim (2015) e Sajjad et al. (2013) parece haver uma relação negativa entre a MI e a IS, por conseguinte, quanto maior a MI, menor será a IS dos colaboradores. Assim, apresentam-se as seguintes hipóteses:

**H3a:** A MI está negativamente relacionada com a IS, em organizações que privilegiam a componente intrínseca da motivação.

**H3b:** A ME está positivamente relacionada com a IS, em organizações que privilegiam a componente intrínseca da motivação.

Para Ramlall (2004), as causas que estão por trás da IS dos empregados estão ligadas às teorias da motivação e aos diferentes tipos de recompensas, nomeadamente: os benefícios dados pela organização não apelam às necessidades efetivas das pessoas; a filosofia por detrás da definição da remuneração não suporta a missão e cultura da organização; as promoções não são baseadas na *performance*; o planeamento e o desenvolvimento das carreiras não estão ligados aos objetivos da organização; a organização não permite nem promove flexibilidade de horário. Esta posição é também defendida por outros estudos, que sugerem que a inadequação dos diferentes tipos de recompensas, face à importância que têm para os indivíduos, podem dificultar a retenção dos mesmos nas organizações (Baughman et al. 2003; Lopez et al. 2006; Ramlall, 2004). Assim, com base no exposto, e para organizações com limitações na capacidade de recompensar financeiramente os seus colaboradores e que privilegiam a componente intrínseca da motivação, surgem as seguintes hipóteses:

**H4:** A importância atribuída à RF está positivamente relacionada com a IS.

**H5:** A importância atribuída à RV está positivamente relacionada com a IS.

**H6:** A importância atribuída aos Benefícios está positivamente relacionada com a IS.

**H7:** A importância atribuída às RNFE está positivamente relacionada com a IS.

**H8:** A importância atribuída às RNFI está negativamente relacionada com a IS.

### **3. CONTEXTO DE INVESTIGAÇÃO - INSTITUIÇÕES MILITARES**

Para Frank & Lewis (2004) os trabalhadores do setor público e do setor privado percebem as recompensas extrínsecas e intrínsecas de forma diferente. No caso específico das Instituições Militares, que se revestem de especificidades muito próprias, as práticas em torno da GRH são muito importantes, particularmente no diz respeito à retenção, uma vez que existe um investimento muito grande para formar os seus profissionais, tornando-os altamente especializados, treinados e preparados (Dupre & Day, 2007). Gultekin et al. (2012) consideram que além dos recursos financeiros, as organizações militares investem também muito do seu tempo na seleção desses recursos e em particular no seu treino e formação qualificada, o que os torna um recurso otimizado e muito atrativo para as organizações civis. Este autor refere ainda que os empregadores civis, instrumentalizam a oportunidade de atraírem esses talentos, deixando o ônus do investimento da sua formação e experiência nas organizações militares, ou nos próprios militares, podendo com essa mais valia recompensá-los melhor.

De acordo com Asch & Warner (1994) as recompensas dos militares devem ser estruturadas de modo a atrair, reter e motivar. Coughlan et al. (2014) evidenciaram que os planos de recompensas e benefícios padronizados oferecidos pelas organizações militares aos seus profissionais nunca serão tão eficientes como os que se apresentam personalizados, sugerindo uma adequação dos benefícios às necessidades dos mesmos. No âmbito militar as RNF são altamente imprevisíveis, uma vez que são atribuídas com o intuito de recompensar um esforço particular, que não é possível determinar de forma antecipada. Neste contexto, é também bastante relevante o reconhecimento social, na medida em que representa a estima que a comunidade tem por uma organização, reconhecendo o papel e contributo de profissões específicas (Brun & Dugas, 2008).

### **4. METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO**

#### **4.1 Força Aérea**

##### **4.1.1 Sistema de Recompensas dos Oficiais**

Os componentes do Sistema de Recompensas dos Oficiais da FA, estão definidos formalmente de modo desagregado, contudo é possível enquadrá-los enquanto recompensas financeiras e não financeiras. No que respeita as recompensas financeiras, a RF é enquadrada pelo Estatuto dos Militares das Forças Armadas (EMFAR) de acordo com a forma de prestação de serviço, posto, tempo de serviço e cargos que os militares desempenham, acrescidos de um suplemento remuneratório permanente designado por suplemento de condição militar, podendo ainda beneficiar de outros suplementos remuneratórios que derivam de cargos e funções particulares. Das recompensas financeiras atribuídas aos militares não fazem parte rendimentos variáveis indexados ao seu desempenho ou ao desempenho das organizações militares.

Contudo é possível incluir as recompensas com correspondência pecuniária, ou seja, os Benefícios. A maioria centra-se em torno do apoio social, quer prestados pelo Instituto de Ação Social das Forças Armadas (IASFA), quer pelo Serviço de Ação Social (SAS). Relativamente às RNF, o reconhecimento formal enquanto recompensa exterior consubstancia-se na atribuição de louvores, licenças e medalhas. De acordo com o Regulamento de Disciplina Militar (RDM), estão previstas enquanto recompensas para oficiais a licença de mérito e o louvor.

#### 4.1.2 Abates aos Quadros Permanentes

De acordo com o EMFAR, os militares que tenham realizado curso, tirocínio ou estágio que tenham habilitado à mudança de categoria, lhes tenham conferido grau académico superior ou realizado cursos de especialização, ficam obrigados ao cumprimento de um período mínimo de serviço, não obstante que o mesmo possa ser reduzido mediante o pagamento de uma indemnização ao Estado. O tempo mínimo de serviço efetivo definido de acordo com o estatuto é de oito anos para todas as especialidades de oficiais, excetuando os PilAv que se encontra definido em 14 anos e os militares Med, cujo estatuto próprio (Decreto-Lei n.º 519/77, de 17 de dezembro – Estatuto da Carreira Médico-Militar, com as alterações do Decreto-Lei n.º 332/86, de 2 de Outubro) define que cumpram 10 anos de serviço a partir da obtenção do Grau Profissional de Especialista. O cálculo da indemnização é definido pela Portaria n.º188/2016, de 29 de junho – Cálculo das indemnizações devidas no caso de abate ao QP, consubstanciando-se na fórmula apresentada:

$$I = \frac{T_m - T_s}{T_m} \times C_f$$

onde: I=Indemnização; T<sub>m</sub>= tempo mínimo de serviço (expresso em meses); T<sub>s</sub>= tempo de serviço efetivo (meses); C<sub>f</sub>= Custos de formação suportados pelo Ramo;

#### 4.2 Descrição da Amostra e Desenvolvimento dos questionários

A amostra deste estudo é composta por dois subgrupos: militares da categoria de oficial na efetividade de serviço e ex-militares da mesma categoria, que pediram abate aos QP da FA no período de 2005 a 2015. Inicialmente foi feito o levantamento da amostra dos ex-militares, identificando-se as especialidades e postos cujas saídas eram representativas, correspondendo às especialidades de Piloto Aviador (PilAv), Administração Aeronáutica (AdmAer), Engenharia Aeronáutica (EngAer), Engenharia Eletrotécnica (EngEI), Engenharia de Aeródromos (EngAed) e Medicina (Med), nos postos de Tenente (Ten), Capitão (Cap), Major (Maj) e Tenente-Coronel (TCor), totalizando 106 ex-militares. O subgrupo dos militares foi definido de acordo com o critério dos ex-militares, resultando em 528 oficiais das mesmas especialidades e postos. De modo a testar as hipóteses definidas anteriormente, foi utilizado o método de observação indireto proposto por Quivy & Van Campenhoudt (1998), através de um instrumento qualitativo e um instrumento quantitativo. A investigação qualitativa consistiu em 12 entrevistas realizadas a seis militares e seis ex-militares de cada uma das especialidades a que se referem este estudo. Utilizando as entrevistas como base, foram elaborados dois questionários, distribuídos através da plataforma *Qualtrics*, um para a amostra de militares, e outro para a de ex-militares.

O questionário dos militares FA dividiu-se em duas componentes: uma primeira parte com perguntas demográficas e uma segunda parte relativa à situação atual dos militares na FA. A segunda componente foi



construída com base em questionários validados por literatura anterior, procurando recolher dados sobre as seguintes variáveis: ME e MI (Amabile et al., 1994); Identificação, Lealdade e Envolvimento (Cook & Wall, 1980); IS (Cammann et al., 1979); Autonomia (Moch, 1980); Risco (Pennings & Smidts, 2000); Satisfação com o Sistema de Avaliação de Desempenho (Russell & Goode, 1988); Recompensas Financeiras e Não Financeiras (Alves, 2016); Satisfação no trabalho (Wanous et al., 1997); e Avaliação do Próprio Desempenho (Hall, 2008). O questionário direcionado aos ex-militares abordou as mesmas variáveis, sendo constituído contudo por três componentes: a demográfica; a relativa à situação do inquirido durante a fase em foi militar na FA; e por fim relativamente à sua fase laboral atual. Não obstante foram ainda levantadas as razões que levaram à saída da organização, através de duas perguntas, cujos indicadores resultaram das entrevistas realizadas, possibilitando ao inquirido ainda a introdução de outras razões que justificassem a sua saída da FA. O questionário dos militares e dos ex-militares obteve como taxas de respostas 42% e 76%.

### 4.3 Modelo empírico

A análise da relação de causa-efeito entre as variáveis foi estruturada através do Modelo de Equações Estruturais (SEM), método estatístico de segunda geração propício à análise multivariada que se tem sido muito utilizado nas Ciências Sociais (Hair et al., 2014) "mendeley" : { "formattedCitation" : "(F. Hair Jr et al. 2014. A abordagem escolhida foi a regressão dos Mínimos Quadrados Parciais (PLS-SEM), usada para análises exploratórias e desenvolvimento de teorias (Hair et al., 2016) através do software Smart PLS 3.0. No presente estudo, foi utilizado o Modelo de Medição Refletivo, uma vez que se pressupõe que os indicadores representam os efeitos das variáveis latentes (Hair et al., 2011).

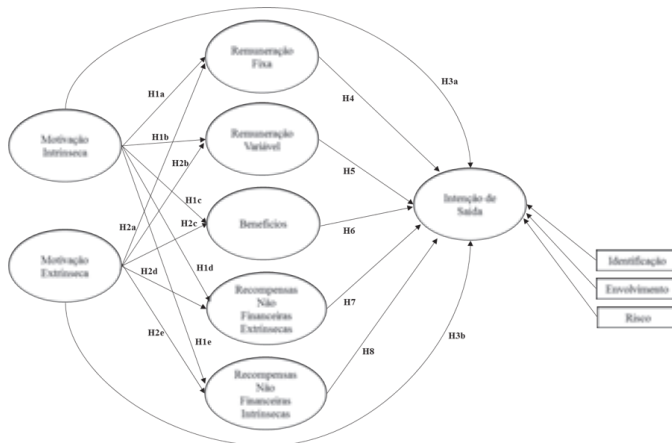


Figura 1 - Modelo empírico com variáveis de controlo

## 5. RESULTADOS EMPÍRICOS

### 5.1 Estatística Descritiva e Correlações

Analisando a estatística descritiva, é possível verificar que a média da MI (3,04) é superior à da ME (2,86), indicando que a orientação da motivação dos militares e dos ex-militares quando estavam na FA é elevada no geral e mais orientada para a sua componente intrínseca. As recompensas consideradas mais importantes são a RF (5,95) e a RNFI (5,95). As recompensas consideradas como menos importantes foram

os Benefícios (4,07). Entre as três variáveis que compõem o Compromisso Organizacional (Identificação, Envolvimento e Lealdade), o Envolvimento (5,69) apresenta a média mais elevada e a Lealdade a mais baixa (4,90). A média da variável Satisfação (3,41) é elevada face à escala (1 a 5), bem como a média da variável APD (5,28) face à escala correspondente (1 a 7). A IS apresenta uma média de 3,43; a média da variável Risco é 3,84; a Autonomia 4,65; e a SSAD 3,28. Relativamente às razões apresentadas pelos ex-militares para saírem da organização FA, as mais frequentes foram as relativas à insatisfação com a RF, a inexistência de RV, as referentes à progressão na carreira, bem como a insuficiência dos Benefícios, e ainda questões de âmbito familiar.

## 5.2 Teste de médias/medianas

Com o intuito de fazer o levantamento de diferenças significativas entre as médias das variáveis estudadas relativas à amostra dos militares e dos ex-militares quando ainda se encontravam na FA, bem como da amostra dos ex-militares quando se encontravam na FA e na sua situação atual, foram realizados testes à igualdade de médias. Foram ainda realizados testes à igualdade de médias por especialidade e por posto a partir da amostra dos militares.

Relativamente à comparação das médias entre a amostra dos militares e a dos ex-militares quando se encontravam na FA foi possível observar diferenças significativas ao nível de 1% nas variáveis: MI, ME, IS, APD (sendo a média significativamente superior na amostra dos ex-militares quando ainda faziam parte da FA). Adicionalmente, é possível verificar diferenças significativas ao nível de 5% nas variáveis: RNFI e Envolvimento (média significativamente superior na amostra dos ex-militares). Por fim existem diferenças significativas ao nível de 10% nas variáveis Risc e Satisf (média superior na amostra dos ex-militares, e da mesma significância na variável RF (inferior nos ex-militares). De acordo com estes resultados comparativamente com os atuais militares da FA, os ex-militares (quando se encontravam na FA), consideravam estar mais motivados quer intrínseca quer extrínsecamente, teriam mais intenção de abandonar a organização, e consideravam o seu desempenho superior. Além disso valorizavam mais as RNFI e estavam mais envolvidos com a organização. Contudo apresentavam maior vontade de arriscar, apesar de se considerarem mais satisfeitos.

É possível observar diferenças significativas relativas à amostra dos ex-militares na FA e dos ex-militares atualmente, ao nível de 1% nas variáveis: RV, Identidade, Lealdade, Satisfação e SSAD (sendo a média respeitante a cada variável significativamente superior na situação laboral atual do Ex-Militar), bem como nas variáveis RNFI, Envolvimento, Risco, IS, (cujas médias na situação laboral atual são significativamente inferiores). Diferenças significativas ao nível de 5% foram também encontradas nas variáveis APD (média inferior na situação atual), e ainda em significativas ao nível de 10% nas variáveis Benefícios e RNFE (média inferior na situação atual). Assim, podemos referir que os ex-militares na sua situação atual, consideram ser mais leais, estão mais identificados, estão mais satisfeitos no geral e com o seu sistema de avaliação de desempenho, e dão mais importância à RV. Contudo, consideram estar menos envolvidos, menos propensos ao Risco, avaliam-se quanto ao seu desempenho de forma inferior, têm menor IS e dão menos relevância aos benefícios e à RNFE.

## 5.3 Análise e Discussão do Modelo

A avaliação do modelo estrutural foi realizada em cinco modelos: para a amostra total, para a amostra dos militares, para a amostra dos ex-militares quando ainda se encontravam na FA, bem como para não-PilAv e oficiais Tenentes e Capitães, ambos militares.

H	Caminho	S	Coefficiente	T Value	P Values	Conclusão
H1a	MI -> RF	0	0,039	0,491	0,624	Suportada
H1b	MI -> RV	0	0,104	1,335	0,182	Suportada
H1c	MI -> Benef	0	0,133	1,447	0,148	Suportada
H1d	MI -> RNFE	0	0,182	2,483**	0,013	Não suportada
H1e	MI -> RNFI	+	0,437	6,421***	0,000	Suportada
H3a	MI -> IS	-	0,038	0,470	0,638	Não suportada
H2a	ME -> RF	+	-0,182	2,309**	0,021	Não suportada
H2b	ME -> RV	+	-0,006	0,074	0,941	Não suportada
H2c	ME -> Benef	+	-0,037	0,389	0,697	Não suportada
H2d	ME -> RNFE	+	0,217	2,489**	0,013	Suportada
H2e	ME -> RNFI	0	0,002	0,022	0,983	Suportada
H3b	ME -> IS	-	0,053	0,755	0,450	Não suportada
H4	RF -> IS	+	0,013	0,247	0,805	Não suportada
H5	RV -> IS	+	0,107	2,203**	0,028	Suportada
H6	Benef -> IS	+	-0,133	2,246**	0,025	Não suportada
H7	RNFE -> IS	+	0,041	0,534	0,594	Não suportada
H8	RNFI -> IS	-	0,069	1,123	0,261	Não suportada
VC	Envol -> IS	-	-0,062	0,949	0,343	
VC	Ident -> IS	-	-0,430	7,448***	0,000	
VC	Risc -> IS	+	0,236	4,755***	0,000	

\* Significância ao nível 10% (two tailed)

\*\* Significância ao nível de 5% (two tailed)

\*\*\* Significância ao nível de 1% (two tailed)

Tabela 1- Análise das Hipóteses - Modelo Amostra Total

Os resultados indicam que a MI está positivamente relacionada com a importância atribuída à RNFI, aceitando a H1e, e rejeitam a inexistência de relação entre a MI e a RNFE, correspondente à H1d. São ainda suportadas a H1a, H1b e H1c, que evidenciam a inexistência de relação entre a MI e a RF, a MI e a RV e a MI e os Benef, respetivamente. Relativamente à ME e à relação com os vários tipos de recompensas, foi possível aceitar a H2d, validando a relação positiva entre a RNFE e a ME, tal como sugerem Ryan & Deci (2000a, 2000b). Contudo verificou-se uma relação negativa entre ME e RF, rejeitando a H2a, o que não é consistente com o sugerido pela literatura anterior. A relação entre a ME e a RV, H2b, não foi suportada, bem como entre a ME e os Benef, a H2c. A inexistência de relação entre a ME e as RNFI, H2e foi suportada. No que respeita a relação entre MI e IS, e ME e IS foram rejeitadas as hipóteses H3a e H3b. Os resultados não suportaram a relação entre a RF e a IS, a H4, mas evidenciaram uma relação positiva entre a RV e a IS, suportando a H5. Os resultados rejeitam a H6, uma vez que se verificou uma relação negativa entre os Benef e a IS, contrariando o que sugerem Baughman et al. (2003). No que concerne as variáveis de controlo, a relação negativa entre Identificação e IS foi suportada, tal como sugerido em anteriores estudos (Moura et al., 2009; Van Dick et al., 2004), assim como a relação positiva entre Risc e IS conforme sugerem MacCrimmon & Wehrung (1985).

O segundo modelo analisado referente aos militares apresentou as mesmas conclusões para a H1d, e H1e, H2d e H5 que o modelo anterior. Contudo, verificou-se ainda relativamente à MI uma relação positiva com a variável Benef, o que rejeita a H1c.

No terceiro modelo, para a amostra apenas dos ex-militares quando ainda se encontravam na FA, foram apenas estudadas as hipóteses relativas às variáveis principais (H5, H7 e H8), devido ao número limitado de observações. Os resultados suportam apenas a H5 relativa à relação positiva entre RV e IS.

## 6. CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E PESQUISAS FUTURAS

A presente dissertação tem como objetivo estudar as relações teóricas entre a Motivação, a importância atribuída aos diferentes tipos de Recompensas, e a Intenção de Saída das organizações, no contexto específico dos militares do quadro permanente da Força Aérea Portuguesa.

Os resultados indicam que na amostra que inclui militares e ex-militares (reportando-se ao tempo em que se encontravam na FA), a MI é superior à ME, e as recompensas mais valorizadas são RF e a RNFI. A comparação de médias entre estas componentes da amostra, indicam que os ex-militares consideravam ter mais MI e ME, teriam maior IS da organização, e consideravam o seu desempenho superior. Apesar de estarem mais satisfeitos, os ex-militares apresentavam maior vontade de arriscar. A comparação de médias entre os ex-militares na FA e na sua situação laboral atual, indica que os ex-militares identificam-se mais com a organização em que se encontram agora, estão mais satisfeitos no geral e com o seu sistema de avaliação de desempenho, dando ainda mais importância à RV. Contudo, consideram estar menos envolvidos, menos propensos ao Risco, avaliam-se quanto ao desempenho de forma inferior e têm menor IS das organizações atuais.

Uma das limitações deste estudo assenta na impossibilidade de se conjecturar relativamente à especialidade Med, para a amostra de ex-militares, uma vez que não houve respostas desta especialidade ao respetivo questionário. Apesar das limitações elencadas, esta dissertação contribui para literatura não só por relacionar os vários tipos de recompensas existentes com a Motivação e a IS, mas por fazê-lo no contexto específico de uma organização não privada, com especificidades próprias que derivam da missão que lhe está alocada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Alves, I., (2016). Essays on the use of Incentives for SME Managers - Tese de Doutoramento em preparação. ISEG/ULisboa.
- [2] Amabile, T.M., Hill, K.G, Hennessey, B.A. & Tighe, E.M., (1994). The Work Preference Inventory: assessing intrinsic and extrinsic motivational orientations. *Journal of Personality and Social Psychology* 66(5), 950–967.
- [3] Anthony, R.N. & Govindarajan, V., (2003). *Management Control Systems* 11ª Ed., Boston: The McGraw-Hill/Irwin.
- [4] Asch, B.J. & Warner, J.T., (1994). *A Theory of Military Compensation and Personnel Policy*, Defense Technical Information Center
- [5] Atkinson, A.A., Kaplan R.S, Matsumara E.M. & Young S.M., (2007). *Management Accounting*, 5ª Ed. New Jersey: Pearson International Edition.
- [6] Baker, G.P., Jensen, M.C. & Murphy, K.J., (1988). Compensation and Incentives: Practice vs. Theory. *Journal of Finance* 43(3), 593–616.
- [7] Baughman, R., DiNardi, D. & Holtz-Eakin, D., (2003). Productivity and wage effects of “family-friendly” fringe benefits. *International Journal of Manpower* 24(3), 247–259.
- [8] Bénabou, R. & Tirole, J., (2003). Intrinsic and extrinsic motivation. *The Review of Economic Studies* 70(3), 489–520.
- [9] Bhattacharya, H. & Dugar, S., (2012). Status incentives and performance. *Managerial and Decision Economics* 33(7-8), 549–563.
- [10] Brown, M.P., Sturman, M.C. & Simmering, M.J., (2003). Compensation policy and organizational performance: The efficiency, operational, and financial implications of pay levels and pay structure. *Academy of Management Journal* 46(6), 752–762.
- [11] Brun, J.P. & Dugas, N., (2008). An analysis of employee recognition: Perspectives on human [7] Cammann, C. Fichman, M., Jenkins, D. & Klesh, J., (1979). The Michigan organizational assessment questionnaire. Unpublished manuscript, University of Michigan, Ann Arbor.
- [12] Cerasoli, C.P., Nicklin, J.M. & Ford, M.T., (2014). Intrinsic motivation and extrinsic incentives jointly predict performance: A 40-year meta-analysis. *Psychological Bulletin* 140(4), 980-1008.

- [13] Chiang, F.F.T. & Birtch, T.A., (2006). An empirical examination of reward preferences within and across national settings. *Management International Review* 46(5), 573–596.
- [14] Coughlan, P.J., Gates, W.R. & Myung, N., (2014). One size does not fit all: Personalized incentives in military compensation. *Defense & Security Analysis* 30(4), 360–378.
- [15] Crifo, P. & Diaye, M.A., (2011). The composition of compensation policy: from cash to fringe benefits. *Annals of Economics and Statistics* 101/102, 307–326.
- [16] Rego, A., Cunha, R. C., Cunha, M.P., Cardoso, C.C., & Alves, M.C., (2010). *Manual de Gestão de Pessoas e do Capital Humano*, 2a Ed. Lisboa: Edições Sílabo.
- [17] Dewhurst, M., Guthridge, M. & Mohr, E., (2009). Motivating people: Getting beyond money. *McKinsey Quarterly* 1(4), 12–15.
- [18] Dupre, K.E. & Day, A.L., (2007). The effects of supportive management and job quality on the turnover intentions and health of military personnel. *Human Resource Management* 46(2), 185.
- [19] Dysvik, A. & Kuvaas, B., (2010). Exploring the relative and combined influence of mastery-approach goals and work intrinsic motivation on employee turnover intention. *Personnel Review* 39(5), 622–638.
- [20] Ellingsen, T. & Johannesson, M., (2007). Paying respect. *The Journal of Economic Perspectives* 21(4), 135–149.
- [21] Farzin, Y.H., (2009). The effect of non-pecuniary motivations on labor supply. *The Quarterly Review of Economics and Finance* 49(4), 1236–1259.
- [22] Frank, S.A. & Lewis, G.B., 2004. Government employees working hard or hardly working? *The American Review of Public Administration* 34(1), 36–51.
- [23] Gerhart, B. & Fang, M., (2014). Pay for (individual) performance: Issues, claims, evidence and the role of sorting effects. *Human Resource Management Review* 24(1), 41–52.
- [24] Gultekin, Z., Abdan, E. & Kilic, Y.S., (2012). A Military Application of Human Capital Management: Military Pilot Turnover. *Proceedings of the Scientific Conference AFASES*, 107–112.
- [25] Hall, M., (2008). The effect of comprehensive performance measurement systems on role clarity, psychological empowerment and managerial performance. *Accounting, Organizations and Society* 33(2), 141–163.
- [26] Herzberg, F., (1987). *One more time: How do you motivate employees*. New York: *The Leader Manager* 65(5), 433–448.
- [27] Jenkins, J.G.D., Mitra, A., Gupta, N. & Shaw, J.D., (1998). Are financial incentives related to performance? A meta-analytic review of empirical research. *Journal of Applied Psychology* 83(5), 777–787.
- [28] Jensen, M.C. & Meckling, W.H., (1976). Theory of the firm: Managerial behavior, agency costs and ownership structure. *Journal of Financial Economics* 3(4), 305–360.
- [29] Kim, J., (2015). What Increases Public Employees’ Turnover Intention? *Public Personnel Management* 44(4), 496–519.
- [30] Long, R.J. & Shields, J.L., (2010). From pay to praise? Non-cash employee recognition in Canadian and Australian firms. *The International Journal of Human Resource Management* 21(8), 1145–1172.
- [31] Lopez, T.B., Hopkins, C.D. & Raymond, M.A., (2006). Reward preferences of salespeople: How do commissions rate? *Journal of Personal Selling & Sales Management* 26(4), 381–390.
- [32] Moch, M.K., (1980). Job involvement, internal motivation, and employees’ integration into networks of work relationships. *Organizational Behavior and Human Performance* 25(1), 15–31.
- [33] Morse, G., (2003). Why we misread motives. *Harvard Business Review* 81(1), 18.
- [34] Pennings, J.M.E. & Smidts, A., (2000). Assessing the construct validity of risk attitude. *Management Science* 46(10), 1337–1348.
- [35] Pepper, A., Gore, J. & Crossman, A., (2013). Are long term incentive plans an effective and efficient way of motivating senior executives? *Human Resource Management Journal* 23(1), 36–51.
- [36] Peterson, S.J. & Luthans, F., (2006). The impact of financial and nonfinancial incentives on business-unit outcomes over time. *Journal of Applied Psychology* 91(1), 156–165.
- [37] Ramlall, S., (2004). A review of employee motivation theories and their implications for employee retention within organizations. *Journal of American Academy of Business* 5(1/2), 52–63.
- [38] Ryan, R.M. & Deci, E.L., (2000a). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American Psychologist* 55(1), 68–78.
- [39] Sajjad, A., Ghazanfar, H. & Ramzan, M., (2013). Impact of motivation on employee turnover in telecom sector of Pakistan. *Journal of Business Studies Quarterly* 5(1), 76–92.
- [40] Shaw, J.D., Delery, J.E., Jenkins G.D.Jr. & Gupta, N., (1998). An organization-level analysis of voluntary and involuntary turnover. *Academy of Management Journal* 41(5), 511–525.
- [41] Simons, R., (2000). *Performance Measurement and Control Systems for Implementing Strategy*, 1<sup>st</sup>Ed. New Jersey: Pearson International Edition.
- [42] Wanous, J.P., Reichers, A.E., & Hudy, M.J., (1997). Overall job satisfaction: how good are single-item measures? *Journal of Applied Psychology* 82(2), 247–252

# Lei de Benford – Aplicação à Força Aérea Portuguesa



**Autor:** Pedro Taborda, Alferes Aluno do Mestrado Integrado em Aeronáutica Militar na especialidade de Administração Aeronáutica  
Academia da Força Aérea, Sintra

**Orientadora:** Professora Doutora Maria João Coelho Guedes  
Lisbon School of Economics and Management, Universidade de Lisboa

**Resumo:** Nos últimos anos tem-se assistido a uma evolução nos tipos e formas de cometer fraude, sendo esta uma das principais preocupações que afeta o quotidiano de muitas organizações por todo o Mundo, inclusive o da Força Aérea Portuguesa. Torna-se por isso de extrema importância investir em sistemas de auditoria eficazes como forma de prevenir e combater este problema, constituindo-se os auditores como os principais interessados na descoberta de novos meios que lhes permitam detetar incongruências, que podem ir desde fraude a erros, nas demonstrações financeiras das organizações onde prestam serviços.

Um desses meios, apesar de pouco conhecido e explorado em Portugal, é precisamente a análise digital baseada na Lei de Benford. Devido à sua utilidade, esta tem vindo a ser incorporada em muitos pacotes de *software* destinados a prestar auxílio em auditorias, uma vez que permite que sejam analisadas, de uma só vez, grandes quantidades de dados de forma simples e eficaz.

Este estudo pretende aferir acerca da utilidade desta ferramenta nas auditorias levadas a cabo na Força Aérea Portuguesa, através da sua aplicação a uma conta de gastos de 2016, tida como exemplo.

A Força Aérea Portuguesa, derivado da sua natureza, é obrigada a prestar contas a outras entidades. Desta maneira, procurou dar-se a conhecer uma nova ferramenta de auditoria que, a ser aplicada, se pode constituir como uma importante mais valia na melhoria do relato financeiro desta organização.

**Palavras-chave:** Força Aérea Portuguesa, Auditoria, Fraude Contabilística, Lei de Benford

## 1. INTRODUÇÃO

A fraude é um problema atual que, cada vez mais, afeta a sociedade contemporânea em que vivemos, sucedendo-se casos por todo o Mundo. Existem vários tipos de fraude, entre eles a fraude contabilística, uma das mais graves e com maior impacto, pelo simples facto de ser aquela onde os prejuízos observados são, por norma, mais avultados.

Nos últimos anos têm sido realizados diversos estudos acerca da Lei de Benford, uma lei peculiar, baseada no número de vezes em que um dígito em particular ocorre numa certa posição nos números [1]. Muitos desses artigos promovem a utilização da análise digital baseada nesta lei como um meio bastante simples e efetivo para os auditores detetarem quer erros, quer possíveis esquemas fraudulentos presentes nas demonstrações financeiras.

A Lei de Benford pode, desta maneira, revelar-se uma ferramenta bastante útil à FAP, permitindo, se existirem, detetar erros ou situações fraudulentas no relato financeiro da organização, devendo posteriormente as contas identificadas ser alvo de um escrutínio mais detalhado.

Este trabalho tem então como objetivo averiguar a aplicabilidade da Lei de Benford às contas auditadas na FAP. Para tal, foi estudada a conformidade entre uma conta de gastos da FAP do ano de 2016 e a distribuição de Benford.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Origem da Lei de Benford

Simon Newcomb [2], num artigo intitulado “Note on the Frequency of Use of the Different Digits in Natural Numbers”, evidenciava que as primeiras páginas das tabelas de logaritmos se apresentavam

mais gastas e utilizadas do que as outras, concluindo assim que as probabilidades dos números naturais (1,2,3,4,5,6,7,8,9) surgirem como primeiro dígito (leia-se o dígito mais à esquerda) num determinado número não seriam iguais para todos. As probabilidades para os números naturais aparecerem num número como primeiro ou segundo dígito, segundo Newcomb, estão expressas na Tabela I:

Tabela I: Probabilidades para o primeiro e segundo dígitos segundo Newcomb

Dígito	Primeiro Dígito	Segundo Dígito
0	-	0,1197
1	0,3010	0,1139
2	0,1761	0,1088
3	0,1249	0,1043
4	0,0969	0,1003
5	0,0792	0,0967
6	0,0669	0,0934
7	0,0580	0,0904
8	0,0512	0,0876
9	0,0458	0,0850

Fonte: (Newcomb, 1881)

Newcomb não deixou nenhuma explicação teórica para o fenómeno [3], tendo o seu artigo passado despercebido até que, em 1938, Frank Benford, um físico americano, chegou à mesma conclusão a que Newcomb chegara em 1881, também através da observação de tabelas de logaritmos. As páginas que continham logaritmos de números mais baixos como 1 e 2 aparentavam estar mais gastas e manchadas pelo uso do que aquelas de logaritmos de números mais altos como 8 e 9 [4][5].

Benford, antes de apresentar os dados recolhidos no seu estudo, refere que se faz uma distinção entre dígito e número, sendo o primeiro um dos nove números naturais e o segundo uma composição de um ou mais dígitos, podendo conter o 0 como um dígito em qualquer posição a seguir à primeira. Se existir um ponto decimal o mesmo é irrelevante e um 0 à esquerda não será contado [6], daí a Tabelas 1 não apresentar qualquer valor para a frequência do 0 como primeiro dígito. Benford recolheu o maior número de dados possíveis para a realização do seu estudo, dentro das mais diversas áreas, tendo originado 20 grupos diferentes de dados [5]. Seria de esperar que a probabilidade de cada número natural aparecer como primeiro dígito num determinado número fosse igual para todos, 1/9 ou aproximadamente 11,11%, mas tal não se verifica [5][6]. Foi o que concluiu Benford ao calcular as médias das frequências de ocorrência para o primeiro dígito. Para o dígito 1 ter-se-ia então uma frequência de ocorrência de 30,6%, um valor aproximado do Log de 2 (base 10). Para o dígito 2 ter-se-ia uma frequência de ocorrência de 18,5%, compatível com o valor de Log de 3/2 (Log 3 – Log 2), continuando a sequência até ao Log de 10/9, que nos dá a frequência de ocorrência do dígito 9, aproximadamente 4,6% [4].

A frequência de ocorrência para o primeiro dígito segue então a relação logarítmica expressa pela Equação (1) [4]:

$$(1) ; F_a = \log\left(\frac{a+1}{a}\right);$$

Sendo  $F_a$  a frequência com que ocorre o dígito  $a$  em primeiro lugar num número.

A equação anterior pode também ser enunciada segundo pela Equação (2) [7]:

$$(2) P(D_1 = d_1) = \log\left(1 + \frac{1}{d_1}\right)$$

A Equação (2) pode ser alterada para calcular a frequência de um determinado dígito nas posições



seguintes à primeira, tal como a segunda posição, obtendo-se a Equação (3):

(3)

Bem como para calcular a frequência de ocorrência para os dois primeiros dígitos em conjunto, como se observa na Equação (4):

$$(4) P(D_2 = d_2) = \sum_{d_1=1}^9 \log \left( 1 + \frac{1}{d_1 d_2} \right) \quad d_2 \in \{0, 1, \dots, 9\};$$

Representando o primeiro, e o segundo dígito de um número enquanto representa uma combinação de dois dígitos [3][7].

Surge assim a Lei de Benford ou Lei do Primeiro Dígito.

## 2.2 Análise Digital de Dados Empresariais

Como Drake & Nigrini referem, existem algumas questões gerais que devem ser consideradas antes de utilizar os testes de análise digital em dados empresariais. Primeiro, os dados devem ser relativos a um certo período do relato financeiro, como um mês, um trimestre ou um ano fiscal. Em segundo lugar, os dados devem ser relativos a uma entidade comercial identificável, uma vez que se os dados de duas ou mais divisões não relacionadas forem combinados, as duplicações anormais de dígitos e números existentes nos dados de uma divisão podem ser perdidas quando forem fundidas com os dados de outra divisão. Isto significa que dados combinados podem estar conforme a Lei de Benford, enquanto os conjuntos de dados individuais podem mostrar apenas uma fraca conformidade ou mesmo a falta dela. Terceiro, os dados deverão ser analisados a um nível tão específico quanto possível. Por exemplo, os gastos devem ser analisados numa base de fatura a fatura, mas as despesas com viagens dos funcionários devem ser analisadas, se possível, linha a linha, uma vez que se apenas os totais dos valores das viagens forem revistos, esses mesmos totais podem ocultar valores arredondados. Por último, os dados devem ser preparados para a análise digital excluindo números positivos menores que dez, números negativos e zeros. Os números positivos menores que dez são excluídos por não serem geralmente importantes e porque parece apropriado ignorar esses pequenos números quando se tem a intenção de realizar procedimentos analíticos projetados para fornecer um teste de razoabilidade de alto nível. Os números negativos e positivos são, por norma, analisados separadamente porque estão sujeitos a diferentes tipos de erros e distorções [8][9].

## 2.3 Testes da Análise Digital

### 2.3.1 Teste dos Primeiros Dígitos

O teste dos primeiros dígitos é um teste inicial de razoabilidade. Uma perfeita conformidade dos primeiros dígitos com a Lei de Benford indica um teste com elevado nível de razoabilidade [8][9]. Este teste irá então comparar a frequência observada de cada primeiro dígito, de 1 a 9, com a frequência esperada para esse dígito de acordo com a Lei de Benford.

### 2.3.2 Teste dos Segundos Dígitos

À semelhança do que acontece com o teste dos primeiros dígitos, o teste dos segundos dígitos destina-se a ser utilizado como um teste preliminar de razoabilidade [8]. Este teste servirá para comparar a frequência observada de cada segundo dígito, de 0 a 9, com a frequência esperada para esse dígito conforme a Lei de Benford.

### 2.3.3 Teste dos Dois Primeiros Dígitos

O teste dos dois primeiros dígitos é um teste mais focado, mais orientado, do que os testes dos primeiros

e segundos dígitos e existe para detetar duplicações anormais de dígitos e possíveis tendências nos dados [10]. Drake & Nigrini referem que o objetivo deste teste é procurar picos no gráfico correspondente, ou seja, procurar as combinações de dois primeiros dígitos em que a proporção real excede a proporção esperada por uma margem significativa, sendo posteriormente esses picos os números que devem ser alvo de auditoria [9].

Resumindo, este teste irá comparar as frequências observadas para cada combinação de dois primeiros dígitos, de 10 a 99, com as frequências esperadas para essas combinações segundo a Lei de Benford.

## 2.4 Testes Estatísticos

Como em qualquer teste estatístico, a análise digital irá comparar o número total de itens observados com o número esperado, calculando depois o desvio. Por exemplo, apesar de para a distribuição de Benford a proporção esperada de números que contêm o dígito um na primeira posição ser de 30,103%, não se deverá esperar que a proporção real observada seja a mesma, pois irá provavelmente desviar-se desse valor esperado devido a variações aleatórias. A questão que os autores levantam, neste caso, é: embora não se possa esperar que um conjunto de dados seja conforme com precisão, em que ponto o desvio é considerado suficientemente grande para ser um indício significativo de fraude? A conformidade dos dados com a Lei de Benford irá então ser aferida utilizando testes estatísticos, podendo estes testes ser de natureza global ou individual [10].

Cleary & Thibodeau defendem que os auditores que utilizam a Lei de Benford com o intuito de encontrar dados fraudulentos devem estar cientes dos benefícios quer dos testes globais quer dos testes individuais dígito a dígito, recomendando a utilização de ambos. Uma abordagem global poderá tornar relativamente fácil controlar a probabilidade de erro de Tipo 1, erro este que consiste em rejeitar a hipótese nula quando esta é verdadeira, embora os resultados possam não ser tão esclarecedores no caso de a fraude ter realmente ocorrido. Por seu lado, um teste dígito a dígito poderá aumentar a probabilidade de erro de Tipo 1, aumentando, no entanto, a possibilidade de serem detetadas entradas fraudulentas reais [11]

Kraker & Zgela utilizaram as estatísticas Qui-Quadrado e do Desvio Médio Absoluto (Mean Absolute Deviation ou MAD) como testes globais, e a estatística Z como teste individual, para averiguar se os resultados do seu estudo estariam de acordo com a Lei de Benford, sendo estes três os principais testes utilizados, em geral, para testar a conformidade entre um determinado conjunto de dados de auditoria e a distribuição de Benford [12]

## 2.5 Hipóteses

Face ao exposto, neste trabalho irá investigar-se a conformidade entre os dados e a Lei de Benford, testando-se a seguinte hipótese:

- Hipótese 1: não se observa diferença estatisticamente significativa entre as frequências obtidas e a Lei de Benford.

## 3. ENQUADRAMENTO DO OBJETO DE ESTUDO

Pelo nº1 do artigo 4.º do Decreto-Lei n.º 35/2016, de 29 de junho, as Forças Armadas (FA), das quais faz parte integrante a FAP, pela alínea b) do mesmo número, integram-se na administração direta do Estado,

através do Ministério da Defesa Nacional (MDN). Também o nº2 do artigo 1.º da Lei Orgânica n.º1-A/2009, de 7 de julho, que aprova a Lei Orgânica de Bases da Organização das Forças Armadas (LOBOFA), refere que as FA obedecem aos órgãos de soberania competentes, nos termos da Constituição e da lei, e integram-se na administração direta do Estado, através do MDN.

De acordo com Pinto et al [13], o Setor Público Administrativo (SPA) é constituído, em parte, pela Administração Central do Estado (ACE), formada pelos Serviços Integrados (SI) e pelos Serviços e Fundos Autónomos (SFA). O Regime de administração financeira do Estado (RAFE), definido pela Lei n.º 8/90, de 20 de fevereiro, Lei de Bases da Contabilidade Pública (LBCP), e pelo Decreto-Lei n.º 155/92, de 28 de julho, que densifica a arquitetura do RAFE, estabelece o regime financeiro dos serviços e organismos da ACE, que é apresentado com base em dois modelos: a autonomia administrativa como regime geral (SI), e a autonomia administrativa e financeira como regime excecional (SFA).

O artigo 1.º do Decreto-Lei n.º 187/2014, de 29 de dezembro, que estabelece a Lei Orgânica da FAP (LOFA), menciona que a FAP é dotada apenas de autonomia administrativa. O nº1 do artigo 2.º da LBCP traduz a autonomia administrativa dos serviços e organismos da Administração Central como sendo a competência dos seus dirigentes para praticarem, no âmbito da gestão corrente, os atos necessários à autorização e pagamento das despesas, tendo estes caráter definitivo e executório. O artigo 3.º do mesmo Decreto-Lei, refere que os serviços e organismos do regime de autonomia administrativa, dispõem de créditos inscritos no OE e, assim sendo, de acordo com o artigo 5.º da LOFA, a FAP, através dos seus órgãos, dispõe das receitas provenientes de dotações que lhe sejam atribuídas no OE. Desta maneira a FAP é obrigada a prestar contas a determinadas entidades.

A missão de assegurar a administração dos recursos financeiros postos à disposição da FAP, de acordo com os planos e diretivas aprovadas pelo Chefe do Estado-Maior da Força Aérea (CEMFA), cabe à Direção de Finanças da Força Aérea (DFFA) (artigo 16.º da LOFA) da qual é parte integrante o Serviço de Inspeção e Auditoria Financeira e Patrimonial (SIAFP). A principal missão deste serviço é executar as ações de inspeção, auditoria e controlo que se enquadrem no âmbito das competências da DFFA. A Secção de Verificação de Contas é parte integrante do SIAFP e tem por missão auditar as contas das Unidades/Órgãos/Serviços e a conta consolidada da FAP. Compete a esta secção executar ações de auditoria administrativa às contas mensais e trimestrais das Unidades/Órgãos/Serviços da FAP, a fim de apreciar a situação financeira e patrimonial, respetiva conformidade legal e regularidade financeira e assegurar o envio da documentação de prestação de contas da FAP ao Tribunal de Contas (TC), após validação da mesma, nos prazos legalmente estabelecidos (RFA 303-10 (A) Organização e normas de funcionamento da DFFA).

O RFA 425-3 estabelece o Regulamento das Auditorias de Administração Financeira e Patrimonial (AAFP) da DFFA e tem como finalidade estabelecer a doutrina e os procedimentos gerais que deverão ser observados ao realizar as auditorias pelas quais a DFFA é responsável. Segundo este regulamento, os auditores, para além do ceticismo profissional que lhes é devido, devem aplicar na execução das ações que desenvolvam, o estabelecido nos Regulamentos Internos da FAP, sobre os assuntos em verificação. Devem igualmente aplicar as Normas e Boas Práticas reconhecidas e utilizadas por organismos de Controlo Nacionais e Internacionais, em que se baseia este regulamento, designadamente as diretrizes da International Organization of Supreme Audit Institutions (INTOSAI), as ISAs do “International Auditing and Assurance Standards Board” (IAASB), as Normas Técnicas e Diretrizes de Revisão/auditoria criadas ou adotadas pela Ordem dos Revisores Oficiais de Contas (OROC) e as diretrizes do COSO.

O objetivo de uma AAPF é o de habilitar o auditor a expressar um parecer sobre se as demonstrações financeiras da entidade estão a ser preparadas, em todos os aspetos materiais, de acordo com a estrutura conceptual de relato financeiro aplicável, e se são observadas as disposições atinentes à conformidade legal, tributária e regularidade financeira aplicáveis à execução das receitas e despesas públicas, sendo da exclusiva responsabilidade dos auditores a escolha da forma da atividade a desenvolver e dos métodos de trabalho a adotar.

A Lei de Benford pode, desta maneira, revelar-se uma ferramenta bastante útil aos auditores internos da FAP, contribuindo para uma maior qualidade das demonstrações financeiras submetidas às entidades a quem a FAP presta contas.

## 4. METODOLOGIA E SUA APLICAÇÃO

### 4.1 Recolha de Dados

Os dados para análise foram recolhidos no SIAFP, no Estado-Maior da Força Aérea (EMFA) em Alfragide, sendo relativos à conta de gastos 6223272 – Conservação e Reparação – Aeronaves Militares – Peças referente ao ano de 2016, representando cada entrada uma fatura dessa conta.

### 4.2 Metodologia e sua aplicação

Os dados recolhidos foram submetidos ao software disponibilizado por Nigrini no seu *site* [www.nigrini.com](http://www.nigrini.com) que, em conjunto com a metodologia descrita em Drake & Nigrini [9], Krakar & Zgela [12], Simkin [14] e Collins [15], foi a principal ferramenta para a realização dos testes dos primeiros dígitos, segundos dígitos, primeiros dois dígitos. Posteriormente, o estudo da conformidade entre os dados e a Lei de Benford foi realizado com base nos testes estatísticos, ou seja, a verificação da hipótese formulada foi feita através da estatística Z e das estatísticas  $\chi^2$  e MAD.

Para tal, foi necessário estabelecer um valor para o nível de significância, universalmente representado pela letra grega  $\alpha$ . Segundo Dixon & Massey [16], o valor de  $\alpha$  pode ser escolhido pelo auditor e, uma vez que essa escolha determinará, em parte, a aceitação ou rejeição da hipótese, deverá definir-se o  $\alpha$  antes do início do estudo. Na grande maioria dos estudos realizados utilizando a Lei de Benford, os investigadores optam por utilizar um nível de significância de 5%, sendo esse também o valor de  $\alpha$  utilizado neste trabalho. Desta forma, para um  $\alpha$  igual a 5%, rejeitar-se-á a *Hipótese 1* sempre que o valor obtido para Z ou  $\chi^2$  seja superior aos valores críticos das respetivas estatísticas para tal nível de significância.

Relativamente à estatística Z, a um nível de significância de 5% corresponde um valor crítico de 1,96, ou seja, a *Hipótese 1* é rejeitada sempre que se obtiver um valor de Z superior a 1,96.

Quanto à estatística  $\chi^2$ , para o mesmo nível de significância de 5%, ter-se-á um valor crítico para o teste dos primeiros dígitos de 15,507, um valor crítico para o teste dos segundos dígitos de 16,919 e um valor crítico para o teste dos dois primeiros dígitos de 112,022. A *Hipótese 1* será rejeitada sempre que o valor obtido de  $\chi^2$  seja superior ao valor crítico dessa estatística para cada teste, respetivamente.

Para a estatística MAD não existem valores críticos estabelecidos, ou seja, não existe um intervalo de valores definido em que seja possível afirmar que o desvio dos dados é significativo ou não. Apesar disso, é referido como um dos melhores testes de conformidade num contexto de auditoria, existindo algumas diretrizes para os valores críticos desta estatística [12]. A última atualização desses valores críticos indicativos vem expressa em Nigrini [10] e está representada na Tabela II.

À semelhança do que acontece para as outras duas estatísticas, rejeita-se a Hipótese 1 sempre que o valor obtido de MAD para cada teste seja superior aos valores críticos apresentados para esta estatística.

Tabela II: Intervalos de conformidade para a estatística MAD

Teste	Conformidade total	Conformidade aceitável	Conformidade marginalmente aceitável	Não conformidade
Primeiros dígitos	0,0000-0,0060	0,0060-0,0120	0,0120-0,0150	> 0,0150
Segundos dígitos	0,0000-0,0080	0,0080-0,0100	0,0100-0,0120	> 0,0120
Primeiros dois dígitos	0,0000-0,0012	0,0012-0,0018	0,0018-0,0022	> 0,0022

Fonte: Nigrini (2012)

## 5. ANÁLISE DE RESULTADOS

Após a limpeza efetuada aos dados da conta de gastos 6223272 – Conservação e Reparação – Aeronaves Militares – Peças de 2016 obtiveram-se 1110 registos, perfazendo um total monetário de 13.591.418,93€. Esses registos estão organizados na Tabela III:

Tabela III: Organização dos Dados obtidos

DADOS	Nº de registos	% Total de Registos	Monetário (€)	% Monetário	Valor médio dos registos (€)	$\sigma$
Baixo Valor [10€-50€]	42	3,78	1.028,72	0,01	12.244,52	64313,53
Valor normal [50€-100.000€]	1052	94,78	6.937.001,38	51,04		
Alto Valor $\geq 100.000€$	16	1,44	6.653.388,83	48,95		
TOTAL	1110	100	13.591.418,93	100		

Fonte: Elaboração própria

### 5.1 Análise ao Primeiro Dígito

Os Gráficos 1 e 2 apresentam os resultados do Teste dos Primeiros Dígitos. Através da observação do Gráfico 1 é possível afirmar que o conjunto em estudo apresenta um comportamento similar à distribuição de Benford, com frequências relativas maiores para os primeiros dígitos e menores para os últimos. Como é normal, alguns dígitos apresentam uma frequência maior ou menor do que seria de esperar, notando-se, no entanto, uma não conformidade maior para os dígitos 5 e 7, parecendo que ambos estão presentes em excesso.

De uma outra perspetiva, é possível observar no Gráfico 2 que a tendência apresentada pela distribuição dos dados em estudo segue a tendência da distribuição de Benford, à exceção dos dígitos 5 e 7 que apresentam uma discrepância maior.

Gráficos 1 e 2: Resultados gráficos para o Primeiro Dígito



Fonte: Elaboração própria

Com o objetivo de averiguar a conformidade estatística do conjunto de dados em estudo com a Lei de Benford, foram então calculadas as três estatísticas mencionadas anteriormente, para um nível de significância de 5%, apresentando-se os principais resultados na Tabela IV.

Tabela IV: Principais resultados para o Primeiro Dígito

Estatística de Teste	Resultados
Z	<b>Não conformes</b>
	5: Valor estatística = 2,069 > Valor crítico = 1,960
$\chi^2$	<b>Não conforme</b>
	Valor estatística = 16,242 > Valor crítico = 15,507
MAD	<b>Conforme</b>
	Valor estatística = 0,011 < Valor crítico = 0,015

Fonte: Elaboração própria

Como se pode observar na Tabela IV, para a estatística Z, que realiza a análise individual de cada dígito, apenas o dígito 5 está não conforme com a distribuição de Benford, apresentando um valor de Z de 2,069 que, apesar de não representar uma grande diferença, é superior ao valor crítico desta estatística. Existem 107 registos que começam com este dígito quando, no máximo, deveriam apenas existir aproximadamente 88, de acordo com a Lei de Benford. Para um nível de significância de 5% rejeita-se assim a *Hipótese 1* para o dígito 5, não se rejeitando que as frequências observadas dos restantes dígitos sigam a Lei de Benford, inclusive o dígito 7, que apresenta um valor de Z de 1,815, inferior ao valor crítico de 1,96.

Em termos globais, para um nível de significância de 5%, verifica-se um valor para a estatística  $\chi^2$  superior ao valor crítico. Apesar dessa diferença não ser muito acentuada, é compatível com não conformidade com a Lei de Benford, sendo por isso rejeitada a *Hipótese 1* do ponto de vista desta estatística.

Relativamente à estatística MAD, obteve-se um valor de 0,011. Apesar de, como referido anteriormente, não existir um valor crítico definido para esta estatística, se forem seguidas as diretrizes estabelecidas e adotadas neste trabalho, conclui-se que o valor obtido para a mesma é menor que o valor crítico de 0,015, estando dentro do intervalo denominado Conformidade Aceitável de acordo com a Tabela II. Pode-se desta forma afirmar que, de acordo com a estatística MAD, não se rejeita a hipótese de que os dados sejam compatíveis com a distribuição de Benford, ou seja, não se rejeita a *Hipótese 1*.

### 5.2 Análise ao Segundo Dígito

Os Gráficos 3 e 4 apresentam os resultados do Teste dos Segundos Dígitos.

No Gráfico 3, apesar de poderem existir sempre algumas diferenças entre as frequências observadas e esperadas, observa-se que os dados seguem uma distribuição bastante conforme com a distribuição de Benford para os dígitos 0, 1, 2, 3, 8 e 9, notando-se uma ligeira discrepância para os dígitos 5 e 6 e uma não conformidade bastante acentuada para os dígitos 4 e 7. Para se perceberem estas diferenças de outra perspetiva, foi elaborado o Gráfico 4 que permite comparar a tendência dos dados em estudo com a tendência da Lei de Benford. Apesar de os dados serem bastante razoáveis com a distribuição de Benford, ao chegar-se ao dígito 4, é possível observar um pico bastante superior à frequência esperada, revelador do excesso deste dígito. Segue-se uma diminuição das frequências observadas para os dígitos 5 e 6 para baixo da linha relativa à distribuição de Benford, notando-se novamente um pico, desta vez inferior, para o dígito 7, regressando-se à conformidade para os dígitos 8 e 9.

Gráficos 3 e 4: Resultados gráficos para o Segundo Dígito



Fonte: Elaboração própria

As três estatísticas utilizadas anteriormente foram também utilizadas neste teste para averiguar a conformidade dos dados com a Lei de Benford, mantendo-se um nível de significância de 5%. Os resultados estão expressos na Tabela V.

**Tabela V: Principais resultados para o Segundo Dígito**

Estatística de Teste	Resultados
Z	<b>Não conformes</b>
	<b>4:</b> Valor estatística = 5,811 > Valor crítico = 1,960
	<b>7:</b> Valor estatística = 3,433 > Valor crítico = 1,960
$\chi^2$	<b>Não conforme</b>
	Valor estatística = 48,232 > Valor crítico = 16,919
MAD	<b>Não conforme</b>
	Valor estatística = 0,0139 > Valor crítico = 0,0120

Fonte: Elaboração própria

A análise aos resultados presentes na Tabela V permite comprovar o que era observável pelos Gráficos 3 e 4. De acordo com a estatística Z, individualmente, os dígitos 4 e 7 não estão conforme a distribuição de Benford, sendo que os dígitos 5 e 6, contudo, apresentam um valor de Z de 1,403 e 1,665 respetivamente, inferior ao valor crítico de 1,96 e estando por isso ainda conforme o esperado.

O dígito 4 apresenta um valor de Z de 5,811, bastante superior ao valor crítico definido para este trabalho de 1,96. Esta não conformidade surge devido ao facto de existirem 170 registos que apresentam o dígito 4 na segunda posição quando deveriam apenas existir 111 de acordo com a Lei de Benford. Também o dígito 7 apresenta um valor de Z de 3,433 ou seja, superior ao valor crítico, mas, ao contrário do que acontece para o dígito 4, essa não conformidade deve-se à existência de apenas 67 registos com o dígito 7 na segunda posição, o que representa uma menor quantidade em relação aos cerca de 100 registos que se deveria ter segundo a distribuição de Benford. Desta forma, para um nível de significância de 5%, rejeita-se que as frequências observadas para os dígitos 4 e 7 estejam conforme a Lei de Benford, mas não se rejeita a *Hipótese 1* para os dígitos 0, 1, 2, 3, 5, 6, 8 e 9.

Em termos globais, para um nível de significância de 5%, quer para a estatística  $\chi^2$  quer para a estatística MAD verificam-se valores superiores aos valores críticos respetivos. Para a estatística  $\chi^2$  regista-se um valor de 48,232, bastante superior aos 16,919 do valor crítico, correspondendo 30,900 e 11,049 desses 48,232 ao dígito 4 e 7 respetivamente, sendo compatível com não conformidade dos dados com a Lei de Benford, rejeitando-se, portanto, a *Hipótese 1* do ponto de vista desta estatística.

Quanto à estatística MAD, apesar de o valor obtido de 0,0139 não ser muito superior ao valor crítico de 0,0120, como se seguem as diretrizes anteriormente descritas na Tabela II, terá de se rejeitar a *Hipótese 1* pois existe não conformidade. Pode-se desta forma afirmar que, de acordo com a estatística MAD, rejeita-se a hipótese de que os dados sejam compatíveis com a distribuição de Benford.

Após a realização do Teste dos Primeiros Dígitos conclui-se que os dados, de acordo com este teste, parecem estar conformes com a Lei de Benford, apresentando um nível de razoabilidade satisfatório, pese embora as pequenas discrepâncias para o dígito 5 em termos individuais e para a estatística  $\chi^2$  em termos globais.



Já relativamente ao Teste dos Segundos Dígitos, uma primeira análise poderia indicar que os dados não apresentariam uma razoabilidade suficiente para serem estudados utilizando a Lei de Benford, uma vez que ambos os testes estatísticos globais apresentaram resultados não conformes, sendo esta evidência mais acentuada para o teste  $\epsilon$ . No entanto, o teste Z indica-nos que apenas dois dígitos, 4 e 7, estão bastante fora do que seria razoável de acordo com a Lei de Benford, acreditando-se que serão estes dois dígitos os principais responsáveis por se rejeitar a *Hipótese 1* em estudo para os dois testes estatísticos globais, pois estão a contribuir em demasia para que os valores destas estatísticas sejam superiores aos valores críticos respetivos. Como se deve ter igualmente em conta o teste individual Z e os testes globais  $\chi^2$  e MAD, chegou-se à conclusão de que, de acordo com este teste, os dados continuam a aparentar estar conformes com a Lei de Benford, com as respetivas salvaguardas em relação aos dígitos 4 e 7, procedendo-se em seguida ao Teste dos Dois Primeiros Dígitos de modo a comprovar esta conformidade e averiguar as razões das discrepâncias nos resultados do Teste dos Segundos Dígitos.

### 5.3 Análise aos Dois Primeiros Dígitos

Como referido por Drake & Nigrini o objetivo deste teste é procurar picos no gráfico correspondente, ou seja, procurar as combinações de dois primeiros dígitos em que a proporção real excede a proporção esperada por uma margem significativa, sendo posteriormente esses picos os números que devem ser alvo de auditoria [9].

De modo a melhor detetar esses picos optou-se por representar as frequências observadas através de barras e as frequências esperadas segundo Benford através de uma linha, tendo-se obtido o Gráfico 5.

Gráfico 5: Resultados Gráficos para os Dois Primeiros Dígitos



Fonte: Elaboração própria

Neste gráfico, à semelhança do que acontece para os dois testes anteriores, é fácil notar que existem combinações que possuem frequências superiores ou inferiores ao que seria de esperar, sendo este facto, contudo, normal. Quando se realiza este teste, o que importa realçar são os picos em que as frequências observadas excedem por um valor significativo as frequências esperadas.

Para se identificarem os casos em que essa diferença é excessiva, não são suficientes as conclusões retiradas da observação do Gráfico 5, pelo que se realizaram também os testes estatísticos Z,  $\chi^2$  e MAD

para os dois primeiros dígitos, de modo a verificar a conformidade estatística dos dados em estudo com a distribuição de Benford, mantendo-se o nível de significância de 5%. Os resultados estão expressos na Tabela VI.

Tabela VI: Principais resultados para os Dois Primeiros Dígitos

Estatística de Teste	Resultados
Z	<b>Não conformes</b>
	<b>11:</b> Valor estatística = 2,448 > Valor crítico = 1,960
	<b>14:</b> Valor estatística = 2,683 > Valor crítico = 1,960
	<b>34:</b> Valor estatística = 11,718 > Valor crítico = 1,960
	<b>58:</b> Valor estatística = 2,189 > Valor crítico = 1,960
	<b>94:</b> Valor estatística = 2,840 > Valor crítico = 1,960
$\chi^2$	<b>Não conforme</b>
	Valor estatística = 264,068 > Valor crítico = 112,022
MAD	<b>Não conforme</b>
	Valor estatística = 0,00344 > Valor crítico = 0,00220

Fonte: Elaboração própria

Pela análise conjunta do Gráfico 5 e da Tabela VI, torna-se claro que apenas cinco combinações das noventa existentes são passíveis de gerar alguma preocupação. Todas elas apresentam um valor de Z superior ao valor crítico de 1,96 pelo que se rejeita a *Hipótese 1* para estas cinco combinações, aceitando-se para as restantes oitenta e cinco.

Para as estatísticas  $\epsilon$  e MAD registaram-se igualmente valores superiores aos valores críticos respetivos de cada estatística, rejeitando-se uma vez mais a *Hipótese 1* em termos globais. No entanto, excluindo os resultados do Teste dos Primeiros Dígitos pois esses foram de certa forma conformes, se forem analisados em conjunto e com detalhe os resultados do Teste dos Segundos Dígitos e do Teste dos Dois Primeiros Dígitos, facilmente se chega a uma associação.

Enquanto que na análise ao segundo dígito se verificou um excesso do dígito 4, na análise aos dois primeiros dígitos observa-se que, das cinco combinações rejeitadas pela estatística Z, três possuem o 4 como segundo dígito, sendo também as três com o valor de Z mais elevado. Efetivamente, tem-se que deveriam existir: 34 registos iniciados com a combinação 14 em vez dos 49 existentes, 5 registos iniciados pela combinação 94 em vez dos 12 obtidos e apenas 14 registos a iniciar em 34 ao invés dos 58 que se observaram.

De registar que, à semelhança do que acontece no Teste dos Segundos Dígitos, em que o dígito 4 contribui maioritariamente para que os valores de  $\epsilon$  e MAD sejam superiores aos valores críticos, também neste teste são as três combinações alvo de realce as principais contribuidoras para que os valores das estatísticas globais sejam bastante superiores aos valores esperados. Por exemplo, para a estatística  $\epsilon$ , cujo valor crítico é 112,022, obteve-se 264,068, contribuindo para este valor as combinações 14, 34 e 94 com 7,450, 138,708 e 9,329 respetivamente.

## 6. CONCLUSÕES

Este trabalho tinha como objetivo verificar se, podendo-se aplicar a Lei de Benford às contas da FAP, essa aplicabilidade seria útil do ponto de vista das auditorias a realizar.

Através da realização do Teste dos Primeiros Dígitos e do Teste dos Segundos Dígitos, alicerçados nos testes estatísticos realizados em seguida, pode-se concluir que esta conta aparenta possuir um nível de razoabilidade satisfatório para ser estudada utilizando a Lei de Benford, não obstante as não conformidades existentes. Apesar de essas inconformidades terem, de facto, sido detetadas, uma análise segundo a Lei de Benford requer uma interpretação conjunta de todos os testes realizados uma vez que os resultados destes não são dissociáveis uns dos outros. Se para o Teste dos Primeiros Dígitos se obteve uma conformidade quase perfeita para todos os dígitos individualmente e globalmente, para os outros dois testes o mesmo não se verificou. No entanto, se se observarem em simultâneo os resultados do Teste dos Segundos Dígitos e do Teste dos Dois Primeiros Dígitos, facilmente se depreende qual o problema. Para estes dois testes parece haver conformidade, mas esta é distorcida devido a um problema com o dígito 4. O excesso de segundo dígito 4 que se verifica no Teste dos Segundos Dígitos é a principal razão para os testes estatísticos globais estarem inconformes com a lei, sendo este o mesmo problema que afeta os resultados do Teste dos Dois Primeiros Dígitos. De referir que, das 90 combinações possíveis para este teste apenas 5, individualmente, aparentam não estar conformes, sendo que 3 delas terminam com o dígito 4. A mais preocupante e que apresenta o maior pico no Gráfico 5, é a combinação 34 que, ao invés de se observar apenas 14 vezes, observa-se 58, sendo também esta combinação a principal responsável para os testes globais não estarem conformes.

Desta forma, a aplicabilidade da Lei de Benford não pode ser posta em causa devido a esta não conformidade, detetada principalmente para o segundo dígito 4 e que parece afetar substancialmente os resultados destes dois últimos testes, servindo antes este facto para comprovar a utilidade que a Lei de Benford poderá ter nas auditorias levadas a cabo na FAP, na deteção de inconformidades nas contas, devendo ser o próximo passo um estudo mais detalhado e discriminatório sobre as faturas iniciadas pelas combinações terminadas em 4 que apresentaram os maiores picos no Gráfico 5.

De uma forma global, os resultados obtidos permitem assim evidenciar a aplicabilidade, bem como a utilidade, desta ferramenta de auditoria para a FAP, tornando-se crível que, para as restantes contas desta organização, desde que obedeçam a determinados parâmetros estipulados neste trabalho, como por exemplo possuírem observações suficientes, a aplicação da Lei de Benford se continue a comprovar.

À semelhança de Durtschi et al [3], conclui-se que a Lei de Benford, apesar de por si só não ser um método infalível para detetar fraudes ou erros, quando utilizada corretamente, pode ser bastante útil aos auditores para identificar contas suspeitas para uma análise mais detalhada, de modo a serem posteriormente detetadas distorções nas demonstrações financeiras, pondo-se a questão de quais serão os testes que poderão complementar a Lei de Benford. Os auditores não deverão utilizar esta lei isoladamente, mas sim adotá-la como um complemento ao conjunto de técnicas de auditoria já existentes, onde se incluem observações pessoais de ativos, verificação externa e um ceticismo saudável em relação a explicações administrativas relativas a desvios nos registos financeiros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Nigrini, M. (1999). I've Got Your Number. *Journal Of Accountancy* 187(5),79-83.
- [2] Newcomb, S. (1881). Note on the Frequency of Use of the Different Digits in Natural Numbers. *American Journal of Mathematics* 4(1), 39-40.
- [3] Durtschi, C., Hillison, W. & Pacini, C. (2004). The Effective Use of Benford's Law to Assist in Detecting Fraud in Accounting Data. *Journal of Forensic Accounting* 5(1), 17-34.
- [4] Benford, F. (1938). The Law of Anomalous Numbers. *Proceedings of the American Philosophical Society* 78(4), 551-572.
- [5] Hill, T. P. (1988). Random-Number Guessing and the First Digit Phenomenon. *Psychological Reports* 62(3), 967-971.
- [6] Raimi, R. A. (1985). The First Digit Phenomenon Again. *Proceedings of the American Philosophical Society* 129(2), 211-219.
- [7] Nigrini, M. (1996). A Taxpayer Compliance Application of Benford's Law. *Journal of the American Taxation Association* 18(1), 72-91.
- [8] Nigrini, M. & Mittermaier, L. (1997). The use of Benford's Law as an aid in analytical procedures. *Auditing: A Journal of Practice & Theory* 16(2), 52-67.
- [9] Drake, P. D. & Nigrini, M. J. (2000). Computer assisted analytical procedures using Benford's Law. *Journal of Accounting Education* 18(2), 127-146.
- [10] Nigrini, M. (2012). *Benford's Law: Applications for Forensing Accounting, Auditing, and Fraud Detection*, 1ª Ed. New Jersey: Wiley Corporate F&A.
- [11] Cleary, R. & Thibodeau, J. C. (2005). Applying Digital Analysis Using Benford's Law to Detect Fraud: The Dangers of Type I Errors. *Auditing: A Journal of Practice & Theory* 24(1), 77-81.
- [12] Krakar, Z. & Zgela, M. (2009). Application of Benford's Law in Payment Systems Auditing. *Journal of information and organizational Sciences* 33(1), 39-51.
- [13] Pinto, A., Santos, P. & Melo, T. J. (2013). *Gestão orçamental e contabilidade pública*, Cacém: ATF Edições Técnicas.
- [14] Simkin, M. (2010). Feature Using Spreadsheets and Benford's Law to Test Accounting Data. *ISACA Journal* 1, 47-51.
- [15] Collins, J. C. (2017). Using Excel and Benford's Law to detect fraud: learn the formulas, functions, and techniques that enable efficient Benford analysis of data sets. *Journal of Accountancy* 223(4), 44-50.
- [16] Dixon, W. J. & Massey, F. J. (1969). *Introduction to Statistical Analysis*, New York: McGraw-Hill.

### Bibliografia Complementar

- Diário da República - Decreto-Lei n.º 155/1992, de 28 de julho (RAFE)
- Diário da República - Decreto-Lei n.º 187/2014, de 29 de dezembro (LOFA)
- Diário da República - Decreto-Lei n.º 35/2016, de 29 de junho
- Diário da República - Lei n.º 8/1990, de 20 de fevereiro (LBCP)
- Diário da República - Lei Orgânica n.º1-A /2009, de 7 de julho (LOBOFA)
- Legislação interna Força Aérea: RFA 303-10 (A) Organização e normas de funcionamento da DFFA.
- Legislação interna Força Aérea: RFA 425-3 Regulamento das Auditorias de Administração Financeira e Patrimonial da DFFA.

# Padrões de Aptidão Dentária para o Pessoal Navegante Militar em Missões OTAN



**Autor:** Ana Ferrão, Capitão Técnica de Saúde,  
Aluna da II Pós-Graduação em Medicina Aeronáutica  
Academia da Força Aérea, Sintra  
Centro de Medicina Aeronáutica, Lumiar - Lisboa

**Orientador:** Maria Isabel Sousa, Tenente-Coronel Médica  
Licenciada em Medicina, Especialista em Gastrenterologia  
Direção de Saúde da Força Aérea, Lumiar - Lisboa

**Resumo:** O tema abordado, Padrões de Aptidão Dentária para o Pessoal Navegante Militar em Missões OTAN, pretende fazer uma avaliação da importância da Medicina Dentária no contexto aeronáutico e adotar um Sistema de Classificação de Prontidão de Saúde Oral para missões internacionais e respetivos critérios de avaliação de saúde oral.

Constata-se que não existem diretivas atuais, que orientem os médicos dentistas militares no seu exercício diário de avaliação dentária nas inspeções anuais e nos aprontamentos para missões internacionais.

Tendo a aviação um papel tão moderno e importante para ampliar a mobilidade de toda a força terrestre, torna-se necessário definir regras para a prevenção e tratamento de patologias orais que causem alterações na atividade aérea operacional.

As emergências dentárias são uma ameaça à missão militar e uma preocupação quando se planeia uma missão no estrangeiro.

Uma missão seja em guerra, apoio à paz ou em apoio a iniciativas governamentais, requer uma força militar pronta, adequada, saudável e móvel.

As emergências dentárias reduzem a capacidade operacional. Os exames de rotina, as medidas de prevenção e os programas de tratamento asseguram a redução da incidência de patologias dentárias que necessitam de analgésicos ou terapia antibiótica de urgência e a evacuação dos militares.

**Palavras-chave:** Aptidão saúde oral pessoal navegante; Missões internacionais; Prevenção e medicina dentária.

## 1. INTRODUÇÃO

Tendo a Aviação um papel importante para ampliar a mobilidade das forças terrestres, torna-se necessário compreender a importância da prevenção e tratamento de patologias da cavidade oral, a fim de diminuir os riscos de acidentes aeronáuticos em relação ao fator humano e também proporcionar maior longevidade profissional aos militares de aviação.

Os militares que executam atividades ligadas ao voo são submetidos às variações físicas e mecânicas com repercussões fisiológicas.

Nomeadamente as doenças orais podem causar dor intensa e disfunção que interfere com a capacidade de um militar de comer, comunicar, dormir ou concentrar-se na tarefa em mãos, podendo tornar-se fatal se não for devidamente tratada. Um militar ao ausentar-se do seu posto de trabalho, devido a problemas dentários pode afetar a eficácia global da unidade e afetar a capacidade da força implantada para alcançar o sucesso da missão (WOJCIK *et al.*, 2015).

Na pesquisa bibliográfica para a realização do trabalho em questão, verifiquei que as publicações científicas sobre o aprontamento de militares para missões internacionais e emergências dentárias em cenários operacionais, eram referentes a militares oriundos de vários ramos militares. A informação científica pode ser aplicada aos militares da aviação com as devidas especificações do seu ambiente de trabalho.

Várias publicações descrevem a incidência de emergências dentárias em militares entre 1992 e 2011, em ambientes operacionais (Afeganistão, Bósnia, Iraque, Kuwait, Omã, Arábia Saudita). Estes estudos sobre emergências dentárias em ambientes de combate foram baseados na observação de pessoal de cada um dos ramos dos serviços dos Estados Unidos da América (EUA), da marinha real britânica/fuzileiros navais, das forças armadas francesas e militares do exército do Canadá. As emergências dentárias relatadas para o

pessoal em ambientes operacionais variaram de 111 a 437 por 1000 militares por ano com uma taxa média de 187,2 por 1000 (SIMECEK *et al.*, 2014).

Num estudo MITCHENER, refere que 53% das evacuações acidentais de conflitos armados em missão foram devido a lesões relacionadas à batalha, 31% para doenças da região orofacial (cavidade oral, glândulas salivares e mandíbula) e 16% devido a lesões não relacionadas com a atividade operacional, principalmente fraturas de ossos faciais (NAIDOO, *et al.*, 2014).

Inicialmente neste trabalho será feita uma breve abordagem dos aspetos históricos da Medicina Dentária na Aviação e em cenários operacionais, e a importância da saúde oral na prestação militar ao longo da história. De seguida será abordada a importância da Medicina Dentária no contexto da Medicina Aeronáutica.

Será proposto um novo Sistema de Classificação de Prontidão de Saúde Oral e Regras para a Aptidão Dentária para os militares navegantes que integram missões da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN), o que traria inúmeros benefícios para a organização, de modo a prevenir emergências dentárias.

E por último, estabelecer regras de avaliação *standard*, que serviriam de base à decisão de classificação da aptidão dentária, inexistentes até ao momento.

## 2. O PASSADO E O PRESENTE

O papel dos fatores humanos na aviação tem as suas raízes nos primeiros dias da aviação.

Como a tecnologia aeronáutica evoluiu, a aeronave ultrapassou rapidamente a capacidade humana de detetar os riscos e exercer controlo suficiente para garantir o resultado ótimo, a segurança do voo.

O primeiro voo de apenas 12 segundos em que *Orville Wright* voou 540 pés foi na quinta-feira, 17 de dezembro de 1903. O quarto e último voo daquele dia foi realizado por *Wilbur* durante 59 segundos e voou 825 pés (GARLAND *et al.*, 1999).

Ainda que os fatores humanos não fossem identificados como uma disciplina científica na época, havia sérios problemas de fatores humanos nos estágios iniciais (GARLAND *et al.*, 1999).

O programa aeronáutico da Força Aérea dos Estados Unidos começou com a I Guerra Mundial. Devido à elevada taxa de baixas de pilotos americanos na Europa, foi criado um conselho médico para viajar para França, e estudar e definir problemas médicos e esboçar recomendações para a sua correção.

Essas recomendações formaram a justificativa para o estabelecimento de um programa de medicina aeronáutica. Para fornecer médicos militares treinados para implementar e conduzir este programa, uma escola para médicos de voo foi criada em 1918. Na altura, os três principais objetivos foram:

- a. Critérios de seleção dos pilotos;
- b. Manutenção das necessidades específicas de saúde do aviador;
- c. O desenvolvimento de equipamentos de proteção para os tripulantes.

Estes três elementos continuam a ser componentes vitais do atual programa de Medicina Aeronáutica da Força Aérea dos Estados Unidos (DEHART, 1996).

Em 7 de fevereiro de 1912, o departamento de guerra dos Estados Unidos publicou instruções relativas ao exame físico dos candidatos em relação aos deveres da aviação. Essas instruções foram precedidas pelos padrões médicos mínimos de 1910 para pilotos militares que foram desenvolvidos na Alemanha, o

primeiro país a estabelecer tais padrões. Os franceses e os britânicos estabeleceram as normas médicas do piloto militar em 1912.

Os britânicos enfatizaram o desempenho cardiovascular e a tolerância à hipóxia. Os franceses deram destaque à função vestibular e à estabilidade neurovascular na presença de um tiro inesperado. Os italianos enfatizaram o tempo de reação do piloto.

A saúde oral como parte do apoio à saúde militar não é nova. Uma dentição saudável foi essencial para a realização de certas tarefas militares, uma vez que o uso de armas de fogo exigia que os soldados utilizassem os dentes para morder os tubos de pólvora (GARLAND *et al.*, 1999).

A maioria dos militares começou a receber cuidados odontológicos logo após a I Guerra Mundial, por duas razões principais. Em primeiro lugar, os dentes foram necessários para remover os pinos de segurança de granadas de mão e, em segundo lugar, durante a guerra, uma condição conhecida como boca trincheira (Gengivite Ulcerativa Necrosante Aguda GUNA) foi comumente encontrada em soldados com deficiente saúde oral (NAIDOO, 2014).

A I Guerra Mundial, também foi a primeira guerra totalmente mecanizada, as lesões de guerra foram devastadoras. Além de um capacete, os soldados não usavam nenhum outro equipamento protetor facial e lesões faciais eram comuns devido a detritos voadores, fazendo da desfiguração facial, uma constante nesta guerra. Em enfermarias nos países de origem, os dentistas, juntamente com o pessoal médico começou a trabalhar em fraturas faciais, feridas de tecidos moles e perdas dentárias extensas. Dois especialistas envolvidos nesse trabalho foram o dentista francês *Charles Auguste Valadier* e o holandês *Harold Gillies*, que mais tarde proporcionou o ímpeto para a especialidade de Cirurgia Maxilofacial (NAIDOO, 2014).

### 3. CONSIDERAÇÕES DE MEDICINA DENTÁRIA NA MEDICINA AERONÁUTICA

O crescimento da Medicina Dentária, no último quarto de século, levou a uma mudança drástica na prática odontológica nos últimos 25 anos, com o foco atual na prevenção.

Além disso, os equipamentos avançados, instrumentação, técnicas e materiais tornaram possíveis tratamentos inovadores quando é necessário. Com este crescimento surgiram muitas áreas de subespecialidade. Militares com especialidades navegantes que procuram cuidados dentários de qualidade em geral devem considerar médicos dentistas com qualificação em Medicina Aeronáutica. (DEHART, 1999).

A Medicina Dentária desempenha dois papéis principais na Medicina Aeronáutica. Em primeiro lugar, a Medicina Dentária contribui para o bem-estar geral do pessoal navegante. Os padrões físicos de um piloto devem incluir o seu estado de saúde oral e dentário. Através de exames oral oportuno e adequado e radiologia de diagnóstico, o médico dentista deve avaliar e prevenir a doença oral.

Deve existir uma inter-relação positiva e pró-ativa entre os militares navegantes, o médico dentista e o médico aeronáutico. Este relacionamento profissional, que inclui comunicações profissionais sobre os militares navegantes, deve ser promovido frequentemente. O médico dentista e o médico aeronáutico devem comunicar sobre os tratamentos de medicina dentária efetuados e prescrições de medicação para o paciente. Em segundo lugar, a odontologia forense tem muitas vezes o papel principal na identificação de tripulações após acidentes aéreos, particularmente devido à destruição de forças de impacto e incêndios associados.



### 3.1 Registos Dentários

Todos os prestadores de cuidados de saúde oral devem estar conscientes que os registos odontológicos do pessoal navegante têm requisitos especiais. Uma boa documentação melhora o diagnóstico oral, planeamento do tratamento e comunicação entre médicos dentistas e médicos aeronáuticos.

O médico dentista deve certificar-se do seguinte em relação ao pessoal navegante: fazer o registo adequado de tudo o que é observado durante as avaliações de saúde oral; as restaurações dentárias existentes; dentes ausentes; prótese/aparelhos ortodônticos; patologias existentes (DAVIS; et al, 2008).

Registar todos os tratamentos realizados, medicação prescrita e registo das comunicações efetuadas com o médico aeronáutico. Os militares navegantes não devem transportar os seus próprios registros originais na mesma aeronave que voam.

### 3.2 Radiologia Dentária

O campo da radiologia oral tem evoluído imenso nos últimos anos. Os modernos sistemas de radiologia oral digital reduzem o tempo de tratamento, fornecem resultados quase instantâneos, proporcionam uma revisão rápida da qualidade e reduzem a exposição à radiação.

Os militares navegantes devem realizar radiografias anuais tipo *bitewing* ou, conforme necessário, radiografias dentárias periapicais. A cada cinco anos fazer um RX panorâmico – Ortopantomografia (ou mais cedo, se efetuou tratamento dentário significativo que alterou o perfil radiográfico dentário do militar) (DAVIS; et al., 2008)

### 3.3 Diagnóstico dentário e Planeamento do tratamento

Prevenção e diagnóstico adequado são as chaves para a saúde oral. Um estudo inicial e abrangente deve incluir um RX panorâmico, um exame dentário extenso, um exame periodontal de qualidade, um exame completo de tecidos moles intraorais, uma palpação das cadeias ganglionares da cabeça e pescoço, uma revisão do histórico de saúde atual e medicamentos.

No mínimo, o pessoal navegante deve ter pelo menos uma avaliação dentária e profilaxia oral anualmente. Militares com histórias de problemas dentários significativos devem ser vistos a cada 6 meses. Do exame dentário anual deve fazer parte revisão das instruções de higiene oral. O planeamento de tratamentos dentários extensos (ex. cirurgias diferenciadas) em militares navegantes deve ser coordenado com o médico aeronáutico (DAVIS; et al, 2008).

### 3.4 Dentisteria operatória

Geralmente, as restaurações dentárias podem ser em resina composta em dentes anteriores e de resina composta ou amálgama em dentes posteriores. A American Dental Association (ADA) considera a amálgama acessível, durável, viável e segura para pacientes com problemas dentários. Portanto, a amálgama pode muito bem durar mais do que a maioria dos compósitos e tende a prevenir a cárie dentária recorrente.

Embora ganhando popularidade entre os consumidores, algumas técnicas da Medicina Dentária estética muitas vezes resultam num “corte” da superfície vestibular dos dentes anteriores para a colocação de revestimentos protéticos (facetadas estéticas). No pessoal navegante deve-se empregar técnicas que minimizem o risco de a faceta estética se descolar em voo, com possível dor ou aspiração da faceta para as vias respiratórias (DAVIS; et al., 2008).

### 3.5 Endodontia e Barodontalgia

Quando um militar navegante tem sensibilidade térmica, deve ser observado. Se persistir o desconforto, se tem edema dos tecidos moles orais, descarga supurativa oral, ou dor dentária especialmente quando é espontânea ou surge quando aumenta a altitude, necessita de tratamento endodôntico.

A barodontalgia pode ser debilitante para o pessoal navegante e pode contribuir para a falta de atenção, dificuldade de comunicação ou perda da consciência situacional. Às vezes, o dente específico associado com a barodontalgia é difícil de identificar.

O tratamento da doença pulpar dentária, um abscesso periapical ou barodontalgia é geralmente realizado por tratamento do canal - endodontia. Os canais instrumentados e tratados são geralmente preenchidos com Guta-percha, um material termoplástico radiopaco. Alguns tratamentos endodônticos podem ser feitos numa sessão, mas se não for possível, é aconselhável que o pessoal navegante não voe durante o período em que a câmara pulpar permanece vazia (geralmente durante as duas primeiras sessões) (DAVIS; et al, 2008).

### **3.6 Cirurgia oral e maxilofacial**

Esta especialidade, compartilhada por médicos e médicos dentistas, oferece uma ampla gama de tratamentos, incluindo extração dentária simples, remoção cirúrgica de dentes inclusos, cirurgia dos tecidos moles, excisão de tumores, tratamento de trauma da cabeça/pescoço, tratamento de fraturas faciais e cirurgia ortognática para Ortodontia ou razões cosméticas.

O pessoal navegante quando submetido a cirurgia com osteotomia tem um longo período de ausência de voo após a cirurgia. Não devem voar por pelo menos 72 horas após o final de qualquer cirurgia simples, e a descontinuação da maioria dos medicamentos (DAVIS; et al., 2008).

### **3.7 Periodontologia**

Esta especialidade trata doenças da estrutura de suporte dos dentes. A má higiene oral a longo prazo resulta na formação de tártaro e no acúmulo de cálculos dentários no sulco gengival. Isso resulta num aumento da profundidade do sulco e bolsas periodontais, abscesso periodontal e perda óssea alveolar.

A profundidade do sulco normal é de aproximadamente 4 mm. Quando a profundidade aumenta, formam-se bolsas e o paciente é incapaz de limpar. Os médicos dentistas Periodontistas, tratam bolsas iniciais com curetagem subgengival para limpar a área e obter uma retração da bolsa periodontal. Se a profundidade da bolsa permanecer num nível onde o paciente é incapaz de manter a área higienizada, a cirurgia periodontal é indicada.

À maioria dos pacientes de cirurgia periodontal é prescrito analgésicos e antibióticos, e não deve voar até ser autorizado pelo médico dentista e pelo médico aeronáutico por causa dos possíveis riscos de dor e hemorragia. Tais ocorrências podem resultar em falta de atenção do piloto, obstrução das vias aéreas e dificuldade de comunicação (DAVIS; et al, 2008).

### **3.8 Prostodontia**

Em prostodontia substituem-se dentes em falta de várias formas: pontes fixas, implantes, prótese parcial removível ou prótese total. Deslocamento da prótese, aspiração da prótese e problemas de comunicação são as grandes preocupações para o pessoal navegante. Os médicos dentistas devem ter muito cuidado na construção, colocação e cimentação de coroas individuais e temporárias para evitar o descolamento e aspiração.

Poucos militares navegantes usam próteses removíveis completas. Em contraste, as próteses parciais

removíveis são mais comuns, mas devem ser desencorajadas para o pessoal navegante, pois podem facilmente deslocar-se durante a atividade aérea, coroas e ponte fixas são preferíveis.

As próteses dos militares navegantes devem ser marcadas com a respetiva identificação. Esta marcação também ajudará os médicos dentistas forenses no processo de identificação no caso de um acidente de aviação (DAVIS; et al, 2008).

### 3.9 Ortodontia

A utilização de uma máscara de oxigénio de voo é um pouco desconfortável durante o tratamento ortodôntico, mas o tratamento ortodôntico para pessoal navegante é possível. No entanto, o tratamento ortodôntico de um adulto leva muito mais tempo do que o tratamento de uma criança ou adulto jovem (DAVIS; et al., 2008).

Os médicos dentistas ortodontistas quando tratam pessoal navegante, devem selecionar aparelhos ortodônticos que têm um baixo risco de deslocamento.

Os militares navegantes submetidos a cuidados ortodônticos devem considerar não voar durante 24 horas após a colocação de aparelho ortodôntico ou um grande ajuste, devido ao risco de o desconforto oral possa distrair as operações de voo (DAVIS; et al., 2008).

### 3.10 Medicação

Os medicamentos utilizados na medicina dentária em geral incluem rotineiramente antibióticos, analgésicos, anestésicos locais (com e sem vasoconstritores), óxido nitroso. Para o pessoal navegante, o impacto desses medicamentos no tempo de resposta, processamento mental, coordenação e comunicação é potencialmente significativo. Os médicos dentistas devem trabalhar em estreita colaboração com um médico aeronáutico para avaliar os riscos de voo (DAVIS; et al., 2008).

**Tabela 1** – Sugestão de períodos de restrição de voo, baseado em DAVIS; et al. (2008)

Tratamento	Período de Restrição de Voo
Anestesia local	Não voar até 8 horas após administração
Tratamento endodôntico	Não voar até 24 horas depois dos canais encerrados
Prescrição Médica	Não voar até 24 horas após ter terminado
Tratamento Periodontal	Não voar até 24 horas após tratamento periodontal
Colocação de Aparelho de Ortodontia e controlo	Não voar até 24 horas após tratamento
Implante Dentário	Não voar até 10 dias após colocação

## 4. SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DE PRONTIDÃO DE SAÚDE ORAL

Os padrões para determinar a prontidão e classificação da saúde oral do pessoal militar navegante de momento não estão definidos ao nível da Medicina Aeronáutica. Mas seria de todo o interesse adotar o sistema de classificação de prontidão para a saúde oral, semelhante ao utilizado pela Organização do Tratado do Atlântico Norte.

Na Força Aérea Portuguesa, as instruções para seleção e avaliação do pessoal navegante estão definidos pelo Decreto-Lei nº 291/99, de 3 de Agosto e Portaria 790/99, de 07 de Setembro, que instituíram as “Tabelas Gerais de Inaptidão e de incapacidade para o Serviço nas Forças Armadas”. No entanto, os seus

critérios são muito vagos porque indicam um leque de situações patológicas muito limitado e desatualizado em relação à realidade do pessoal navegante.

A classificação de prontidão de saúde oral fornece um meio de rastrear o estado de saúde oral dos militares e permite identificar os que têm necessidades urgentes, de forma a evitar nomear militares navegantes para missões internacionais, que poderão necessitar de tratamentos dentários urgentes em ambiente hostil ou uma evacuação do ambiente operacional devido a emergência dentária.

No sistema de classificação de prontidão de saúde oral:

- a. O código de cor operacional **VERDE** é atribuído às **Classes 1 e 2**. A cor verde indica que o indivíduo está apto sem restrições. Na **Classe 1** não existem condições de patologia oral, portanto não é necessário nenhum tratamento. Na **Classe 2** a situação de saúde oral é estável e não está previsto tratamento urgente nos próximos 12 meses;
- b. Um código de cor operacional **AMARELO** é atribuído aos militares com classificação de prontidão de saúde oral **Classe 3**, têm condições orais que, se não tratadas, são suscetíveis de causar emergências dentárias dentro de 12 meses. A cor amarela é cauteloso e indica que o indivíduo é recomendado como não apto para missão no estrangeiro;
- c. Os indivíduos com classe de aptidão para a saúde oral 1 ou 2 cuja classificação expirou (após 12 meses), exigem um novo exame odontológico e os militares, que não tiveram exame oral durante o ano passado, ou cuja classificação de prontidão dentária é desconhecida porque não têm registo, é atribuída uma aptidão de saúde oral **Classe 4** e codificado com a cor operacional **AMARELO**;
- d. Situações de Emergência Dentária (ED) de militares navegantes ou que estão em tratamento de reabilitação que impede a nomeação para missão internacional são codificados com a cor operacional **VERMELHA** (NAIDOO et al., 2014).

#### 4.1 Avaliação da saúde oral

Durante a avaliação anual da saúde oral realizada aos militares navegantes da Força Aérea, deveria ser determinada a classificação de prontidão de saúde oral.

Estas avaliações devem ser realizadas rotineiramente pelos profissionais de saúde oral durante a visita anual ou bianual ao médico dentista.

Todos os registos de tratamentos dentários devem ser mantidos num banco de dados eletrónico. Considerando os riscos dentários elevados, os militares classificados como Classe 3, geralmente não são considerados para missões militares.

Os registos de saúde oral devem ser realizados segundo o Sistema de Notação Dentária da Federação Dentária Internacional (FDI) (ISSO-3950) de forma a existir uma uniformização internacional para os militares navegantes que se deslocam em missão. Símbolos específicos, códigos e códigos suplementares são usados no preenchimento do formulário para dentes cariados, dentes perdidos, raízes retidas tipo de restauração etc.

Os membros que exercem funções específicas, por exemplo, pilotos e mergulhadores, necessitam de avaliações especiais orais. Embora essas avaliações sejam semelhantes às de uma avaliação anual de saúde oral, os procedimentos clínicos e administrativos seguidos são mais específicos.

Para a tripulação aérea, um exame anual é obrigatório (bianual é recomendado) é realizado para determinar se um indivíduo está apto ao nível de saúde oral.

As classificações 1 ou 2 da aptidão para a saúde oral são consideradas qualificadas, mas pode existir

uma alteração não identificada que possa reagir adversamente a alterações na pressão barométrica. Se um candidato é de classe 3 devido apenas ao estado periodontal não requerendo cirurgia, o candidato é considerado como qualificado.

## 4.2 Saúde oral operacional

Nas áreas operacionais, o apoio à saúde oral é organizado em níveis, refletindo um aumento na capacidade de provisão de saúde em cada nível superior sucessivo (dos níveis 1-4 alguns países usam a terminologia Roles).

O tratamento de saúde oral é geralmente fornecido no nível 2 (por exemplo, hospital de campo de emergência) no qual um conjunto completo de equipamentos dentários está disponível. Aqui a medicina dentária preventiva básica e emergências, como uma reconstrução de um dente fraturado e lábios lacerados, está disponível.

Os cuidados essenciais não emergenciais também se destinam a manter a aptidão oral global do pessoal num nível compatível com a prontidão. É importante perceber que, embora as emergências dentárias de rotina não são fatais, podem afetar a capacidade do militar de comer e falar e isso pode afetar o bem-estar do militar e o seu desempenho operacional. Os cuidados de saúde oral, quando necessário, devem também ser fornecidos aos prisioneiros de guerra, retidos e detidos.

## 4.3 Saúde oral preventiva

Pessoal militar que tem cuidados na prevenção da saúde oral são muito menos propensos a serem vítimas de ED, enquanto deslocados em missão.

Portanto, a sua aptidão não só aumenta a força de combate, mas também reduz a carga adicional de evacuar o pessoal do ambiente operacional, com doenças orais que poderiam ser evitadas.

Alguns dos cuidados preventivos de saúde oral são:

- a. Colocar em prática boas práticas de higiene oral;
- b. Controle do tabaco (e cessação);
- c. Programas de boa nutrição e prevenção de lesões.

Durante o deslocamento em missões internacionais, é um período de *stress* durante o qual a nutrição nem sempre é ideal e fumar é comum. Estes fatores são conhecidos por promover condições subjacentes assintomáticas que mais tarde se tornam sintomáticas.

Do ponto de vista da saúde oral, infecções orofaciais inócuas, como periodontite aguda, gengivite ulcerativa e infecção, lesões periapicais latentes encontrados na vida civil quotidiana, podem exacerbar e tornar-se graves durante a missão.

As doenças orais mais prevalentes em missões são os abscessos e outras infecções, perda de restaurações e coroas, dentes fraturados ou avulsionados e doenças periodontais graves.

## 5. REGRAS PARA A APTIDÃO DENTÁRIA

Uma operação de missão seja em guerra, apoio à paz ou em apoio de iniciativas governamentais, requer uma força pronta, adequada, saudável e móvel. A perda de um membro de uma unidade operacional, devido, por exemplo, a uma dor de dentes evitável pode ter graves consequências militares para toda a unidade (NAIDOO, 2014).

Como um componente importante, a saúde oral pode ter um impacto significativo na saúde geral e bem-estar. A dor associada a dentes cariados ou traumatizados e infecções dos tecidos orofaciais, poderia incapacitar um militar em boa forma física e saudável no cumprimento da missão.

No Sistema de Classificação de Prontidão de Saúde Oral, durante a realização da avaliação de saúde oral do pessoal navegante, para a atribuição de Classe 1 e 2 cor operacional **VERDE**, têm de se verificar as seguintes condições:

- a. Não existir evidência de lesões cáries ativas ou em progressão ao nível da dentina (confirmar através de exames radiográficos);
- b. Não existirem dentes com sinais de pulpíte irreversível ou infecções apicais. Tratamentos endodônticos inadequados podem permanecer desde que o RX demonstre estabilidade clínica e não haja sintomatologia. A pulpotomia não é aconselhável em pessoal navegante;
- c. Não existir evidência de doença periodontal ativa, sem controlo (mobilidade dentária significativa, que interfira com a fala ou colocação da máscara de oxigénio);
- d. Não existirem restaurações fraturadas, perdidas ou com infiltração marginal;
- e. Não existirem restaurações provisórias;
- f. A oclusão deve ser considerada estável, sem compromisso das funções (fala, mastigação);
- g. Não existir excessiva atividade parafuncional – Bruxismo, que a longo prazo pode causar destruição de certas estruturas articulares;
- h. Evitar próteses dentárias sem retentividade e sem estabilidade funcional;
- i. Evitar terceiros molares inclusos que tenham pouca probabilidade de entrar em oclusão funcional e tenham história de pericoronarite anterior;
- j. Não existir evidência de tecidos moles e mucosas com patologias, causados por hábitos como por exemplo o tabaco (OTAN – *Standardization Agreement MED/2466*)

Todos os militares na Classificação de saúde oral 1 ou 2 consideram-se qualificados para o serviço, mas o ideal será ter o máximo de militares na Classe 1. Aos militares nas Classes 3 e 4 seria dado um prazo para efetuarem os tratamentos necessários de modo a serem reavaliados em Classe 1 ou 2, enquanto essa classificação não for alterada não podem efetuar missões no estrangeiro ou situações que exijam aptidão.

A ocorrência de ED na zona de missão apresenta-se como uma situação muito desafiadora em relação ao suporte logístico, transporte e acessibilidade a uma instalação de tratamento dentário.

As cáries dentárias e os dentes fraturados sem cárie são os problemas orais mais prevalentes enfrentados pelos três ramos das Forças Armadas Americanas. Os achados sugerem ainda que as restaurações defeituosas com cárie e sem cárie representam duas das cinco morbidades dentárias mais prevalentes, se identificadas antes dos militares deslocados para missão seria o ideal (SIMECEK et al., 2014).

Os médicos dentistas militares devem-se esforçar para mitigar a probabilidade de ED, realizando um exame odontológico pré-missão que incluía inspeção visual, testes seletivos pulpares, avaliação periodontal e aquisição de radiografias orais indicadas para identificar lesões dentárias moderadas a graves e possíveis focos de infeção.

Embora amplamente utilizado, o exame oral tradicional é geralmente inadequado para detetar de forma adequada a presença de infiltrações, fraturas e cáries secundárias ou recorrentes sob restaurações já existentes (SIMECEK et al., 2014).

## 6. CONCLUSÕES

A magnitude da estrutura física e operacional da Força Aérea Portuguesa torna imensa a responsabilidade dos militares de saúde em manter o máximo possível os militares em condições de atividade.

A atividade aérea devido às alterações de temperatura, pressão e ergonomia, expõem os profissionais constantemente às repercussões fisiológicas dos riscos físicos e mecânicos da atividade.

Tais riscos têm repercussões danosas no sistema estomatognático. A periodicidade das inspeções de controlo dos militares facilita o acompanhamento e o diagnóstico precoce das patologias. O exame clínico estomatognático deve ser completo, contemplando a anamnese e o exame oral detalhado, caso o profissional necessite devem ser realizados exames complementares.

Os médicos devem abraçar a oportunidade de incorporar a saúde oral e dentária, e definir padrões para promover o bem-estar geral do pessoal navegante (Davis et al., 2008).

Uma boa saúde oral também é difícil de manter, enquanto em duras condições de vida, como os encontrados por exemplo numa missão no Mali. Uma dieta rica em calorias é necessária por causa dos esforços físicos e da alta intensidade da missão.

No entanto, a monotonia das rações de combate, a falta de alimentos frescos e a falta de variedade de opções de alimentos podem levar os militares a satisfazer as suas necessidades calóricas aumentadas com alimentos açucarados e refrigerantes (GUNEPIIN et al., 2015).

Fatores tais como: a fadiga (missões durante o dia/noite, guarda noturna, etc.), stress emocional e tédio (espera entre missões) aumentam o consumo de alimentos açucarados e refrigerantes. Esses hábitos alimentares aumentam o risco de cárie nos militares. Além disso, a higiene oral também tem lacunas durante a missão. A vida em tendas ou em veículos militares com instalações de higiene limitadas, a falta de escovas de dentes e pasta de dentes, e a alta intensidade das missões fazem os soldados esquecer a necessidade de manter a sua saúde oral (GUNEPIIN et al., 2015).

Na Força Aérea Portuguesa, constata-se a inexistência de diretivas atuais, que orientem os médicos dentistas no seu exercício diário de avaliação e classificação de prontidão de saúde oral do pessoal navegante nas avaliações periódicas e nas avaliações para aprontamento para missões internacionais.

Como resultado deste trabalho resultam as propostas:

- a. Implementar o Sistema de Classificação de Prontidão de Saúde Oral, preconizado pela OTAN STANAG 2466, que classifica os militares em Classe 1, 2, 3, e 4 e atribui uma cor, relativa à sua aptidão oral para missão;
- b. Definir critérios na Avaliação Oral;
- c. Especificidade dos tratamentos dentários em pessoal navegante;
- d. Prevenção da Saúde Oral em ambiente operacional.

Seria interessante, conduzir novas pesquisas para determinar fatores de risco, desenvolver novas metodologias de diagnóstico e desenvolver modelos preditivos de ED, que podem ser usados para diminuir os casos de ED em ambiente operacional.

A manutenção da integridade física e mental dos militares em atividade aérea garante melhor qualidade de vida e amplia a longevidade profissional, constituindo um benefício para o próprio militar em manter-se o mais longe possível das patologias advindas da atividade aérea.

Mesmo com um bom rastreio oral pré-missão, concluiu-se que numa força bem preparada e com aptidão dentária pode-se esperar cerca de 150 a 200 emergências dentárias por 1000 militares. (SIMECEK et al., 2014).

Portanto, como com outras condições de saúde, a boa saúde oral é considerada um multiplicador de força. A aptidão na saúde oral deve ser considerada como parte integrante e vital da preparação para a missão.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DAVIS, Jeffrey R.; [et al] – **Fundamentals of Aerospace Medicine**. Fourth edition, Lippincott Williams & Wilkins, 2008.
- [2] DEHART, Royl – **Fundamentals of Aerospace Medicine**. Second Edition, Williams & Wilkins, 1996.
- [3] Diretiva N° 3/81 da DS, Força Aérea Portuguesa de 20 de Dezembro – **Verificação da Aptidão Psico-Física do Pessoal Navegante – Revisões Periódicas no CMA**.
- [4] FERRÃO, Ana; ANDRADE, Lourdes – **Prevenção de Barodontalgias**: PAF ETM/TS Medicina Dentária, Academia da Força Aérea, Janeiro 2011.
- [5] GARLAND, Daniel J.; [et al] – **Handbook of Aviation Human Factors**. Laurence Erlbaum Associates Publishers, 1999.
- [6] GUNEPIN, Mathieu; DERACHE, Florence – Barodontalgies en Milieu Hypobare. Implications en Dentisterie Aéronautique Militaire. *Médecine Aéronautique et Spatiale*, Tome 51 n° 190/10, 2010, p. 29-35.
- [7] GUNEPIN, Mathieu; DERACHE, Florence – Medical Evacuation of French Forces for Dental Emergencies: Operation Servat. *Military Medicine International Journal of AMSUS*. Vol. 180 n°5, May 2015, p. 578-581.
- [8] GUNEPIN, Mathieu; DERACHE, Florence – Dental Barotrauma in French Military Divers: Results of the POP Study. *Aerospace Medicine and Human Performance*. Vol. 86 n° 7, July 2015, p. 652-655.
- [9] KISMANTO – Aerodontalgia Case Series: Dental Complications Caused by Changes in Air Pressure. *International Review of the Armed Forces Medical Services*. Vol. 89/1, March 2016, p. 11-15.
- [10] LAKSHM, D Sri Sakthi – Aviation Dentistry. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*. Vol. 8 (3), March 2014, p. 288-290.
- [11] MADIBA, T.K. – Evaluation of Dental Emergency Outcomes of the Oral Health Fitness Classification of the South African Military Health Service (SAMHS) in Gauteng, South Africa. *International Review of the Armed Forces Medical Services*. Vol. 87/3, September 2013, p. 32-38.
- [12] NAIDOO, L.C.D. – South African Military Oral Health: Not Just a Dentist in Uniform. *International Review of the Armed Forces Medical Services*. Vol. 87/4, Decembre 2014, p. 49-57.
- [13] Portaria 790/99, de 7 de setembro de 1999, DR I Série n° 209 – **Causas de Inaptidão Física e Psíquica, Tabelas Gerais**.
- [14] Portaria 709/73, de 17 de Outubro de 1973 – **Causas de Inaptidão Física e Psíquica, Tabelas Complementares**.
- [15] OTAN, North Atlantic Treaty Organization – Nato Standard AMedP- 4.4 Dental Fitness Standards for Military Personnel and the Nato Dental Fitness Classification System, Edition A Version 1, October 2014.
- [16] OTAN, North Atlantic Treaty Organization – STANAG 2466 Dental Fitness Standards for Military Personnel and the Nato Dental Fitness Classification System, Edition 3, October 2014.
- [17] OTAN, North Atlantic Treaty Organization – STANAG 3474 – Temporary Flying Restrictions due to exogenous factors affecting aircrew efficiency, Edition 5, September 2010.
- [18] ROBICHAUD, Roland; MCNALLY, Mary E. – Barodontalgia as a Differential Diagnosis: Symptoms and Findings. *Journal of the Canadian Dental Association*. Vol. 71 n°1, January 2005, p. 39-42.
- [19] SANTIAGO, Maria del Mar González; [et al] – Prevalencia de las Barodontalgias y su Relación con el Estado Bucodental en el Personal con Responsabilidad en Vuelo Militar. *Oral Medicine and Pathology*. Vol. 9, 2004, p. 92-105.
- [20] SIMECEK, Jonh; [et al] – The Incidence of Dental Disease Nonbattle Injuries in Deployed U.S. Army Personnel. *Military Medicine International Journal of AMSUS*. Vol. 179, n°6, June 2014, p. 666-673.
- [21] STOETZER, Marcus; [et al] – Surgical Dental Treatment for Military Personnel: Where and When? – A Case Report. *Military Medicine International Journal of AMSUS*. Vol. 179 n°11, November 2014, p. 1400.
- [22] STOETZER, Marcus; [et al] – Pathophysiology of Barodontalgia: A case Report and Review of the Literature. *Case Reports in Dentistry*. Volume 2012, Article ID 453415, 4 pages.
- [23] STÜBEN, Uwe – **Handbook of Aviation Medicine and Inflight Medical Emergencies**. Lufthansa, 2011.



- [24] WOJCIK, Barbara E., [et al] – Risk of Dental Disease Non-Battle Injuries and Severity of Dental Disease in Deployed U.S. Army Personnel. Military Medicine International Journal of AMSUS. Vol. 180 n°5, May 2015, p. 570-581.
- [25] ZADIK, Yehuda – Barodontalgia: What have we learned in the Past Decade Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology Vol.109 n°4, 2010, p. 65-69.
- [26] ZADIK, Yehuda; [et al] – Dental Fractures on Acute Exposure to High Altitude. Aviation, Space, and Environmental Medicine. Vol. 77 n°6, June 2006, p.654-657.
- [27] ZADIK, Yehuda – Aviation Dentistry: Current Concepts and Practice. British Dental Journal. Vol. 206 n°1, January 2009, p.11-16.
- [28] ZADIK, Yehuda – In-Flight Barodontalgia: Analysis of 29 Cases in Military Aircrew. Aviation, Space, and Environmental Medicine. Vol. 78, n°6, June 2007, p. 593-596.
- [29] ZADIK, Yehuda – Barodontalgia. JOE. Vol.35 n°4, April 2009, p. 481-485.
- [30] ZADIK, Yehuda; DRUCKER, S. – Diving dentistry: a review of the dental implications of scuba diving. Australian Dental Journal. Vol. 56, 2011, p. 265-271.
- [31] ZANOTTA, Cristina; [et al] – Barodontalgias, dental and orofacial barotraumas, a survey in Swiss divers and caisson workers. Swiss Dental Journal. Vol.124 n°5, 2014, p. 510-514.

# A avaliação aeromédica no piloto VIH positivo



**Autor:** Rita Vitória Jorge, Tenente Médica,  
Aluna da II Pós-Graduação em Medicina Aeronáutica  
Academia da Força Aérea, Sintra  
Centro de Medicina Aeronáutica, Lumiar - Lisboa

**Orientador:** Diana Fernandes da Terra, Primeiro-Tenente Médica,  
Hospital das Forças Armadas, Lumiar- Lisboa

**Resumo:** A infecção pelo Vírus da Imunodeficiência Humana (VIH) é uma entidade complexa e as suas particularidades devem ser tidas em conta aquando a decisão médica de aptidão para voo do piloto VIH-seropositivo. Pretende-se com este trabalho, rever a informação disponível atualmente sobre as implicações na decisão aeromédica nestes pilotos, assim como a legislação vigente sobre a temática. Foi realizada uma revisão de artigos, consultados manuscritos e *websites* de entidades reguladoras nacionais e internacionais para obtenção de normas de atuação e material de apoio sobre a temática.

Atualmente a infecção por VIH é motivo de inaptidão de candidatos a pilotos na FAP e pode condicionar a aptidão dos pilotos em QP ou RC. A aptidão do piloto (militar ou civil) infetado por VIH depende da sua condição clínica, imunológica e risco de progressão de doença. As complicações neurológicas, particularmente as *VIH-associated neurocognitive disorders* (HAND), são as manifestações mais preocupantes e cuja investigação deve ser exaustiva. Manifestações oftalmológicas, cardiovasculares e ORL também devem ser tidas em atenção. Além disso, alguns dos fármacos antirretrovirais utilizados atualmente apresentam efeitos secundários que podem interferir com a segurança de voo ou operacionalidade do piloto, devendo o seu uso ser controlado e monitorizado.

**Palavras-chave:** VIH, medicina aeronáutica, aptidão aeromédica, pilotos VIH-seropositivos, *VIH-associated neurocognitive disorders*, terapêutica antirretroviral.

## 1. INTRODUÇÃO

O espaço aeronáutico é um meio complexo e perigoso. Neste contexto, a principal preocupação do médico aeronáutico é a segurança de voo. Questões como “Estará este piloto clinicamente apto para voar uma aeronave com possivelmente centenas de pessoas a bordo?”, “Este piloto tem condições fisiológicas para fazer cumprir a missão sem comprometer a sua saúde?” ou “Poderá determinada condição clínica do piloto pôr em causa a saúde daqueles que transporta?” devem estar presentes aquando a decisão médica de Aptidão para Voo. Assim qualquer condição clínica imprevisível potencialmente incapacitante ou progressiva poderá, em termo gerais, ser motivo de Inaptidão para Voo. Foi com estes pressupostos que pilotos infetados pelo Vírus da Imunodeficiência Humana (VIH) foram considerados inaptos para voo aquando a descoberta desta nova doença no início dos anos 80 (Clark, 1990).

Pretende-se com este trabalho, rever a informação disponível atualmente sobre as implicações aeromédicas dos pilotos seropositivos para o VIH, assim como a legislação vigente sobre a temática, tendo em consideração a evolução da endemia da infecção e os avanços científicos com implicações na história natural da mesma.

Foi realizada uma revisão bibliográfica de artigos e publicações utilizando a plataforma *PubMED*®. Inicialmente, a relevância e adequação ao tema dos artigos obtidos foi avaliada pelos seus títulos e posteriormente pela leitura dos seus resumos. Foram selecionados seis artigos e da consulta das referências destes foram selecionados mais três, obtendo-se um total de nove artigos. Foram também consultados manuscritos e websites de entidades como a Agência Europeia para a Segurança da Aviação (EASA) ou a *European AIDS Clinical Society* (EACS) para obtenção de regulamentos e material de apoio sobre a temática.

## 2 FISIOPATOLOGIA E EVOLUÇÃO EPIDEMIOLÓGICA DA INFEÇÃO POR VIH

Apesar de não ser o objetivo primário deste trabalho, para que se possa compreender a pertinência do seu tema e posterior discussão, considera-se apropriado rever a fisiopatologia e o contexto epidemiológico do Síndrome de Imunodeficiência Adquirida (SIDA) e o seu agente etiológico.

O VIH pertence à família dos retrovírus humanos, subfamília dos lentivírus e que é transmitido entre humanos por contacto sexual (heterossexual ou homossexual), contacto com sangue infetado e por transmissão vertical no momento do parto ou pelo leite materno. Mais de 30 anos de estudos relativamente a outras potenciais formas de transmissão demonstram que o VIH não é transmitido por contacto casual ou por vetores como mosquitos (Longo *et al.*, 2016). Estão identificados dois tipos de VIH: o VIH-1, responsável pela epidemia mundial, mais virulento e infeccioso; e o VIH-2, geograficamente associado à África Ocidental peri-equatorial e menos infeccioso (ICAO, 2012).

Sendo um vírus de RNA, o VIH necessita da enzima transcriptase reversa da célula hospedeira para transcrever os seu RNA em DNA que é posteriormente incorporado no material genético da célula hospedeira, ficando o vírus latente e “protegido” do sistema imunitário. Esta integração permite a utilização da maquinaria genética da célula hospedeira para produzir novos genomas de RNA, ou seja, novos vírus que reiniciam o ciclo de reprodução/infeção (Longo *et al.*, 2016).

A particularidade da doença provocada pelo VIH é a profunda imunodeficiência resultante primariamente do défice quantitativo e qualitativo de linfócitos T helper CD4+. Estão descritos diversos mecanismos responsáveis pela depleção e/ou disfunção imune das células T CD4+, que incluem a infeção e destruição direta destas células pelo VIH, assim como os efeitos indiretos de exaustão imunológica por ativação celular aberrante, entre outros. (Longo *et al.*, 2016).

Após a exposição inicial com entrada em circulação do vírus verifica-se um pico exponencial de virémia e a ampla disseminação do vírus na infeção primária pode estar clinicamente associado sintomas mononucleose-tipo (ICAO, 2012). Posteriormente segue-se um período de tempo, normalmente medido em anos, em que os doentes permanecem assintomáticos ou com queixas frustes e inespecíficas, ditos sintomas B de acordo com o *Centers for Disease Control and Prevention* (CDC), mas durante o qual ocorre depleção progressiva na contagem celular. Após esta fase, doentes que não tratados, evoluem para uma imunodepressão grave com contagem de células T CD4+ em decrescendo para níveis críticos (<200 células/ $\mu$ L), ficando suscetível a uma doença oportunista, estadio a que se chama SIDA (CDC, 1993).

A diminuição de células pode continuar progressivamente até contagens de CD4+ tão baixas quanto 10 linfócitos TCD4 + /  $\mu$ L ou mesmo zero, situação esta rara deste a introdução da terapêutica antirretroviral (Longo *et al.*, 2016).



Gráfico 1 – História natural da infeção por VIH não tratada (Longo *et al.*, 2016)

O sistema de classificação CDC para a infeção por VIH (tabela 1) é a mais utilizada. Esta categoriza os doentes em base na quantificação de linfócitos T C4+ (estágios 1, 2 e 3) e nas condições clínicas associadas à infeção por VIH (estágios A, B e C).

**Tabela 1** – Sistema de classificação do CDC para doentes infetados por VIH (CDC, 1993)

Contagem de Linfócitos T CD4+		Categorias clínicas		
		A	B	C
		Assintomáticos, <i>Acute VIH</i> ou linfadenopatia generalizada persistente	Condições sintomáticas, não A ou C.	Doenças definidoras de SIDA
1	≥500 células/μL	A1	B1	C1
2	200-499 células /μL	A2	B2	C2
3	<200 células /μL	A3	B3	C3

Os casos confirmados de infeção por VIH devem ser minuciosamente avaliados de forma a identificar sinais e sintomas que poderão constituir condições da categoria B. Estas são entidades clínicas e/ou sintomáticas que ocorrem em doentes infetados pelo VIH que se atribuem diretamente à infeção por VIH e já traduzem limitações do sistema imunológico no contexto do curso natural da doença. Incluem-se nesta categoria a candidose orofaríngea, a doença inflamatória pélvica ou purpura trombocitopénica idiopática, entre outras. As doenças definidoras de SIDA, ditas de categoria C, tratando-se grande parte de infeções oportunistas que o sistema imune débil não tem capacidade de combater, como a toxoplasmose cerebral, criptococose ou candidose esofágica, mas inclui também doenças oncológicas como o linfoma primário do sistema nervoso central (CDC, 1993). Essas doenças definidoras de SIDA são as seguintes:

- Cancro do colo do útero, invasivo;
- Candidíase esofágica, traqueal, brônquica ou pulmonar;
- Coccidiomicose disseminada ou extrapulmonar;
- Criptococose extrapulmonar;
- Criptosporidiose intestinal crónica (diarreia com duração superior a um mês);
- Citomegalovirus de qualquer órgão que não o fígado, baço ou ganglionar;
- Encefalopatia relacionada com VIH;
- Encefalite por toxoplasma;
- Herpes simplex crónico (úlceras mucocutâneas com mais de um mês, ou bronquite, pneumonite ou esofagite);
- Histoplasmose disseminada ou extrapulmonar;
- Isosporíase intestinal crónica com diarreia durante mais de um mês;
- Leucoencefalopatia progressiva multifocal;
- Linfoma cerebral primário;
- Linfoma de Burkitt imunoblástico ou primário cerebral;
- Linfoma não-Hodgkin, de células B ou de fenótipo imunológico desconhecido, e histologia mostrando linfoma de células pequenas não divididas ou sarcoma imunoblástico;
- Mycobacterium avium complex (MAC) ou Mycobacterium kansasii disseminado;
- Outra Micobacteriose disseminada ou extrapulmonar;
- Pneumonia por Pneumocystis jiroveci;
- Pneumonia bacteriana recorrente (pelo menos dois episódios em 12 meses);

Retinite por Citomegalovirus;  
Sarcoma de Kaposi;  
Septicemia recorrente por Salmonella (não tifoide);  
Toxoplasmose cerebral;  
Tuberculose pulmonar ou extrapulmonar.

A SIDA inclui no seu espectro todos casos de imunodeficiência grave, quer clínica, ou seja, sempre que esteja presente uma doença definidora / Sintomas C independentemente da contagem linfocitária, quer imunológica, sempre que exista uma contagem e linfócitos TCD4+ inferior a 200 células/uL, independentemente da clínica apresentada. Resumindo, todos os estádios C (C1, C2 e C3) e todos os estádios 3 (A3, B3, C3) são considerados SIDA (CDC, 1993).

De acordo com a classificação do CDC para a infeção VIH, um doente é sempre classificado de acordo com o seu pior estado clínico e imunológico, independentemente da sua evolução ao longo do tempo após introdução de terapêutica. Esta regra permite ao clínico manter em perspetiva a evolução do doente, mas também a involução expectável no caso de falência terapêutica.

Como se compreende pelo sistema de classificação apresentado, as manifestações clínicas da infeção por VIH incluem uma constelação de sintomas que podem atingir os sistemas cardiovascular, gastrointestinal, renal, hepatobiliar, entre outros. Possíveis manifestações neurológicas devem preocupar particularmente o médico aeronáutico (Clark, 1990) e por isso serão abordados com mais profundidade nos capítulos seguintes.

A infeção por VIH é considerada uma pandemia global, com casos reportados virtualmente de todos os países do mundo. Segundo a *Joint United Nations Programme on HIV/AIDS* (UNAIDS), em 2015 houve 2.1 milhões de novas infeções por VIH e 36.7 milhões de pessoas vivem com essa infeção, dessas, a maioria é mulher (18,8 milhões). Segundo o mesmo relatório em 2015 houve 1.1 milhões de mortes relacionadas com o VIH, menos 0.4 milhões do que em 2013. Este número tem vindo a reduzir desde 2005 altura em que se assistiu a uma rápida expansão no acesso à terapêutica antirretroviral altamente eficaz (UNAIDS, 2016).

Em 1987, os inibidores da transcriptase reversa foram a primeira terapêutica antirretroviral a ser concebida. Desde então, foram desenvolvidas mais classes de fármacos que, ao serem combinadas entre si, aumentam exponencialmente a sua eficácia permitindo a reconstituição imunológica em doentes infetados por VIH mesmo em fases avançadas da doença: hoje em dia a terapêutica antirretroviral combinada (cART) é a pedra basilar no tratamento dos indivíduos seropositivos para o VIH (Longo *et al.*, 2016). Segundo dados da UNAIDS, em junho de 2016, 18.6 milhões de pessoas infetadas com VIH realizava cART, mais 16 milhões do que em 2005.

No entanto, existem múltiplos problemas relacionados com cART que incluem a fraca adesão terapêutica por parte dos doentes, a emergência de estirpes de vírus resistentes à terapêutica, assim como interações medicamentosas com tratamentos para coinfeções como a tuberculose ou os vírus das hepatites crónicas (ICAO, 2012).

Embora a erradicação do vírus não possa ser obtida à luz dos conhecimentos atuais, o objetivo da terapêutica antirretroviral atual é prolongar e melhorar a qualidade de vida dos doentes, suprimindo a replicação vírica durante o maior período de tempo possível (Longo *et al.*, 2016). Este facto alterou o paradigma da doença e o acompanhamento médico atual exige a planificação de cuidados a longo prazo, à semelhança de outras doenças crónicas (Vasconcelos, 2009).

Inicialmente acreditava-se que todos indivíduos seropositivos para o VIH beneficiariam de cART com objetivo de reduzir a transmissão sexual e o risco de progressão para SIDA ainda que estes sejam

assintomáticos e com contagens normais de linfócitos T CD4+. Hoje em dia, os efeitos secundários da medicação, a adesão a terapêuticas longas e o desenvolvimento de resistências põem em causa esta recomendação (ICAO, 2012).

### 3. IMPACTO DA INFEÇÃO VIH NO CONTEXTO AERONÁUTICO E MILITAR

Desde o início da pandemia por VIH há cerca de 30 anos atrás, 78 milhões de pessoas foram infetadas e, inevitavelmente, esta doença atingiu também a população militar. Num estudo retrospectivo de *cohort* (Hakre *et al.*, 2015), com o objetivo de estudar a epidemiologia do VIH na Força Aérea dos Estados Unidos da América entre 1996 e 2011, concluiu-se que nesse período 541 militares no ativo terão sido infetados. Desses 541 militares, 15 eram pilotos e/ou pessoal navegante. Este estudo permitiu a identificação de um perfil de risco: militares do sexo masculino com idades compreendidas entre 25 e 29 anos, solteiros e na sua primeira missão no estrangeiro têm maior probabilidade de contrair a infeção por VIH.

Relativamente à prevalência de militares seropositivos para o VIH nas forças armadas portuguesas não foram encontrados estudos de prevalência publicados. Pela informação colhida informalmente junto do CMA, atualmente na FAP não existe nenhum piloto ou tripulante em serviço que seja seropositivo para o VIH, embora, num passado recente, já tenha existido.

Segundo as tabelas gerais de inaptidão e de incapacidade para o serviço nas Forças Armadas (Tabela A e B) anexadas à Portaria nº 790/99 de 07-09-1999, o diagnóstico de infeção por VIH um critério de exclusão para a admissão na carreira militar, independentemente do ramo ou especialidade. No entanto, uma revisão bibliográfica de 2011 (Manjra, 2011) defende que esta exclusão poderá ser discriminatória: a literatura analisada sugere que doentes seropositivos para o VIH com contagens de linfócitos T CD4+ dentro de valores normais têm a mesma capacidade de esforço físico das pessoas não infetadas, com os mesmos benefícios que advêm do treino físico destas. Mesmo com depressão moderada do sistema imunitário, os indivíduos seropositivos são capazes de executar exercício físico moderado ou até vigoroso, sem consequências adversas. A autora, (Manjra, 2011), defende que, no entanto, o teste deve continuar a ser efetuado na admissão para que acompanhamento médico e terapêutica antirretroviral seja oferecida precocemente em indivíduos que desconheçam a sua seropositividade.

Um estudo mais recente realizado com pessoal da Força Aérea dos Estados Unidos da América (De *et al.*, 2016) avaliou o impacto da infeção por VIH na performance física a longo prazo (2004 a 2014), chegando a conclusões semelhantes: apesar da infeção por VIH estar associada a limitações funcionais, a performance física pode manter-se preservada ou até, ser melhorada de modo igual a indivíduos não infetados por VIH.

Este tipo de estudos e suas conclusões, levantam questões éticas relacionadas com a legislação em vigor para as admissões na carreira militar, nomeadamente a exclusão de indivíduos infetados por VIH aquando a admissão, mantendo estes as mesmas capacidades físicas que os não infetados. No entanto, a mesma tabela exclui também indivíduos com outras patologias mais simples, como hipertensão arterial ou úlcera gástrica (Decreto-Lei 291/99, 2000). Na avaliação inicial da admissão, a instituição tem de pesar custos e benefícios de admitir indivíduos com patologia conhecida *ad initium*, não só pelo investimento na sua formação, mas pelas possíveis complicações clínicas com implicações na missão e custos associados ao apoio médico. No caso de indivíduos infetados por VIH, os custos seriam aumentados exponencialmente já que teriam de incluir o seguimento com exames complementares de diagnóstico e terapêutica antirretroviral.

Relativamente aos indivíduos que se infetam durante a sua carreira, nomeadamente pilotos, em 1992, a Associação de Medicina Aeroespacial (AsMA) publicou a sua posição relativamente a este tema: *“The AsMA believes the VIH-infected pilot places the flying public at increased and unnecessary risk and, therefore, supports testing of pilots for infection by the VIH virus. Individuals confirmed to be infected should be found medically disqualified for flying duties”*. Cumprindo esta orientação, todos os pilotos civis ou militares com deteção positiva para anticorpos específicos contra o VIH eram considerados inaptos definitivamente mesmo se fossem assintomáticos ou não apresentassem clínica de SIDA na altura do diagnóstico. (AsMA, 1992)

Desde então e depois de alguma controvérsia, o paradigma da doença no meio aeronáutico mudou. A ICAO, estrutura com 191 estados membros nos quais Portugal se inclui, afirma nas suas *Standards and Recommended Practices* (SARPs) relativas ao VIH: *“Applicants (“...commercial pilots, private pilots, and air traffic controllers...”) who are seropositive for human immunodeficiency virus (HIV) shall be assessed as unfit unless the applicant’s condition has been investigated and evaluated in accordance with best medical practice and is assessed as not likely to interfere with the safe exercise of the applicant’s license or rating privileges.”*

Semelhantemente, a Comissão Europeia, entidade uniformizadora da segurança da aviação civil da Europa, no seu regulamento (EU) nº 1178/2011, determina: *“Os requerentes (“... de um certificado médico para obtenção de licença de piloto...”) com VIH positivo podem ser considerados aptos desde que obtenham uma avaliação aeromédica satisfatória.”* (EASA, 2011).

No meio militar português, segundo as tabelas gerais de inaptidão e de incapacidade para o serviço nas Forças Armadas (Tabela C) mencionadas anteriormente, o militar com infeção por VIH obtém uma *“inaptidão parcial dependente do grau de lesão e do critério da junta”* (Decreto-Lei 291/99, 2000). E em concordância com a regulamentação apresentada pelas entidades civis referidas, a Junta médica da FAP baseia a sua decisão num parecer jurídico elaborado pela Direção Geral de Pessoal do Ministério de Defesa Nacional em 1996 face à necessidade de existência de uma posição unânime dos 3 ramos das Forças Armadas Portuguesas relativamente à infeção por VIH em militares em regime de contrato (RC) ou nos quadros permanentes (QP). Foi decidido adotar o princípio da não discriminação, em que *“Aos militares em RV e RC, detetados portadores do vírus da Sida (...), no caso de atribuição incapacidade temporária, deverão ser-lhes mantido o vínculo contratual às Forças Armadas e o direito à assistência médica. A decisão quanto à continuação da prestação de serviço só deverá colocar-se nos termos previstos por lei, isto é, no momento da cessação do período de RV e da renovação de contrato no caso de RC, em que aos Ramos é conferida a faculdade de aferir das condições do militar para se manter ao serviço das Forças Armadas.”* (Direção Geral de Pessoal - Ministério da Defesa Nacional, 1996).

Ora, sabendo que o diagnóstico de infeção por VIH não implica logo à partida uma inaptidão de voo outra questão se levanta: *“Com que frequência devem ser testados os pilotos?”*. A ICAO e a EASA não se pronunciam sobre o assunto nas suas recomendações, e na revisão médica anual de um piloto militar pelo CMA, não são requisitadas serologias víricas por protocolo. Eventualmente, os pilotos acabam por ser testados ou por pedido do próprio ou em eventual aprontamento médico-sanitário como os restantes militares.

Na Força Aérea dos Estados Unidos da América, é obrigatório o teste para o VIH de dois em dois anos, permitindo identificar militares infetados reduzindo a transmissão do VIH e permitindo instituir terapêutica precocemente por forma a melhorar o prognóstico destes indivíduos a longo prazo. Um estudo-caso controlo (Hannah *et al.*, 2016) identificou indicadores clínicos que permitem identificar indivíduos que beneficiam em ser testados para além do que está preconizado, nomeadamente: indivíduos que sejam diagnosticados com



outras IST; que tenham consumo aumentado dos recursos de saúde, particularmente por apresentarem sinais e sintomas de infeção por VIH ou queixas do foro mental.

#### 4. CONSIDERAÇÕES CLÍNICAS DA INFEÇÃO POR VIH NA DECISÃO AEROMÉDICA.

A ICAO sugere um protocolo de avaliação da doença por VIH no seu Manual de Medicina de Aviação Civil (ICAO, 2012) que inclui as escalas utilizadas para calcular o risco de progressão de doença para doentes sem e com terapêutica antirretroviral. Segundo as normas apresentadas por esta entidade, apenas pilotos assintomáticos com a sua condição clínica estável, contagens de linfócitos T CD4+ e carga viral aceitáveis podem ser considerados aptos para voar se o risco de progressão de doença for suficientemente baixo. Ainda assim, a aptidão poderá ser condicionada para aeronaves de duplo comando. Pilotos com antecedentes de doença definidora de SIDA ou outras complicações requerem avaliação meticulosa.

É pertinente referir que na altura do diagnóstico, o facto de ser do piloto ser confrontado com a informação que é seropositivo para VIH, pode ser *per se* razão para inaptidão (temporária) para o voo para que possa ser fornecido apoio psicológico e realizado o encaminhamento para médico especialista em doenças infecciosas. (ICAO, 2012)

Outra questão que tem implicações, não na aptidão de voo mas, na operacionalidade do piloto é a vacinação. Normalmente, pessoas imunocomprometidas não devem receber vacinas vivas, como o sarampo ou a febre-amarela, já que estas podem aumentar a carga viral durante aproximadamente quatro semanas. No entanto, indivíduos assintomáticos e considerados imunocompetentes por contagens de linfócitos T CD4+ >350/μL terão uma resposta imunológica normal, podendo ser administradas vacinas vivas que permitem eventualmente cumprir voos no estrangeiro. (ICAO, 2012)

Como previamente referido, as manifestações da infeção por VIH incluem um espectro alargado: desde a síndrome aguda associado com a infeção primária, passando por período assintomático, até à doença avançada que pode incluir doenças neoplásicas, imunológicas, reumatológicas e/ou de outros órgãos e sistemas.

Uma das complicações que mais controvérsia tem gerado na avaliação do piloto infetado por VIH, são as consequências neurológicas (Nightingale *et al.*, 2014). Apesar de parte das complicações neurológicas no doente infetado por VIH se associarem a infeções oportunistas do SNC (toxoplasmose, criptococose, linfoma primário do SNC, entre outros) existem complicações associadas diretamente a infeção por VIH em si, nomeadamente as *VIH-associated neurocognitive disorders* (HAND). Este termo é utilizado para definir um conjunto de alterações que se podem categorizar em: *asymptomatic neurocognitive impairment* (ANI), *mild neurocognitive disorder* (MND) e *AIDS dementia complex* ou encefalopatia por VIH, sendo uma doença definidora de SIDA (Elbirt *et al.*, 2015). Em apenas 3% dos doentes infetados por VIH esta é a manifestação inicial da doença, sendo frequentemente precedida de clínica de imunodeficiência. (Longo *et al.*, 2016)

Os mecanismos fisiopatológicos subjacentes às HAND envolvem características do vírus e do hospedeiro e interações que aparentemente dependem da condição global do sistema imunológico. De todos os indivíduos infetados por VIH, 90% tem alterações do líquido cefalorraquidiano (LCR) mesmo durante a fase assintomática da infeção, nomeadamente pleocitose, deteção de RNA viral e evidência de síntese intratecal de anticorpos anti-VIH (Nightingale *et al.*, 2014). No entanto, o diagnóstico das HAND é baseado no quadro clínico, não sendo estas alterações valorizáveis em doentes assintomáticos (Elbirt *et al.*, 2015) Apesar da

terapêutica supressiva com antirretrovirais, sabe-se que aproximadamente 50% dos doentes infetados por VIH demonstram MND quando testados (Brew *et al.*, 2014). É uma complicação tardia, de progressão lenta (meses a anos) mesmo em doentes com razoável estadiamento imunológico (contagens de linfócitos T CD4+ >350/ $\mu$ L). No entanto, o grau de imunodeficiência é proporcional a probabilidade de desenvolvimento de encefalopatia e a sua severidade (Elbirt *et al.*, 2015).

Os primeiros sintomas são dificuldade em concentração, esquecimento e dificuldade em ler ou em executar tarefas complexas. Podem também incluir apatia, irritabilidade e falta de iniciativa que, apesar de serem sintomas comuns noutras perturbações como a depressão, devem alertar o médico aeronáutico quando são referidos por um piloto com serologias positivas para o VIH (Patt *et al.*, 1994). O diagnóstico dos HAND depende na demonstração do declínio da função cognitiva, pois não existem critérios específicos que facilitem a sua classificação e os exames de imagem (TC ou RM) normalmente apresentam alterações inespecíficas. Apesar de por vezes não apresentar alterações em doentes com MND, um estadio intermédio de doença neurológica, o *Mini Mental Status Examination* (MMSE) está recomendado (Longo *et al.*, 2016).

No protocolo de avaliação da doença por VIH do Manual de Medicina de Aviação Civil da ICAO é contemplada uma avaliação psiquiátrica para que, mesmo que as queixas não sejam provocadas por um quadro de HAND, sejam avaliadas e tratadas convenientemente. Tão preocupante deve ser um piloto com algum grau de diminuição neurológica, como um piloto com um quadro depressivo *per se*.

Para além da averiguação de eventual envolvimento neurológico, a avaliação aeromédica de todos os pilotos deve incluir a investigação de outras manifestações que condicionem inaptidão para o voo (ICAO, 2012), nomeadamente oftalmológicas, cardiovasculares e ORL.

Qualquer alteração ou queixa do foro oftalmológico deve ser valorizada e avaliada eventualmente por um médico especialista. Problemas oftalmológicos ocorrem em 50% de doentes com infeção por VIH, sendo a mais frequente o aparecimento de manchas algodinosas (*cotton-wool spots*) na observação fundoscópica que representam áreas de isquémia retiniana secundária a doença microvascular. Estas lesões tendem a manter-se estáveis e não estão associadas a perda de visão ao contrário das lesões observadas em caso de retinite por CMV, uma das complicações oftalmológicas mais graves e devastadoras da infeção por VIH. De acordo com a literatura, doentes com alto risco de retinite por CMV (contagem de linfócitos <100/ $\mu$ L) devem ser observados por um oftalmologista todos os 3-6 meses (Longo *et al.*, 2016). No entanto, mesmo que assintomáticos, estes doentes pelo seu grau avançado de doença (A3 é equivalente a SIDA como referido em capítulo anterior) é pouco provável que se encontrem aptos para voar.

Doença cardiovascular é um achado relativamente comum (25-75%) em autópsias de doentes infetados por VIH, existindo claramente uma associação entre a replicação do VIH e o risco de cardiovascular. Segundo a 19ª edição do *Harrison's Principles of Internal Medicine*, contagens de células T CD4+ <500/ $\mu$ L é considerado fator de risco cardiovascular independente e de magnitude comparável ao tabagismo e que se associa ao estado de permanente imunossupressão. Estão descritas ainda como consequências da infeção por VIH a lipodistrofia e a síndrome metabólica (dislipidémia com valores de colesterol total e triglicéridos aumentos e HDL diminuído, associada a insulinoresistência com hiperglicemia). A observação por especialista na área de cardiologista poderá ser necessária aquando a presença destes e de outros fatores de risco, como HTA, tabagismo, sendo a doença coronária a complicação cardíaca mais comum em doentes seropositivos para VIH.

De todas as manifestações ORL possíveis no doente seropositivo para VIH é de salientar a sinusite já que a disfunção sinusal pode condicionar o barotrauma dos seios perinasais. Como pode estar presente em todos os estadios de infeção VIH, a sinusite poderá condicionar uma inaptidão para o voo (normalmente

temporária) num estadio precoce da doença. Os casos mais graves de sinusite nos doentes infetados por VIH tendem a ocorrer em doentes com contagens de CD4+ mais baixas e normalmente apresentam-se com febre, congestão nasal e cefaleia. Defende-se que a incidência superior de sinusite resulte do aumento de infeções associadas a microrganismos encapsulados como *H.influenza* e *Streptococcus pneumoniae*. Os seios maxilo-faciais são os mais envolvidos e a melhoria clínica e imagiológica é alcançada mais rapidamente se for instituída antibioterapia (Longo *et al.*, 2016). No entanto, as recomendações atuais de vacinação na infância para o *H.influenzae* e, na idade adulta para o *S.pneumoniae*, em doente infetado por VIH, pelo que será expectável uma alteração epidemiológica deste quadro no futuro.

## 5. CONSIDERAÇÕES DA TERAPÊUTICA DA INFEÇÃO POR VIH NA DECISÃO AEROMÉDICA.

A introdução de fármacos antirretrovirais combinados permite controlar a progressão da doença durante longos períodos de tempo e por conseguinte atrasar o aparecimento de sintomatologia (Brew *et al.*, 2014). Não faz parte do objetivo deste trabalho rever e perceber qual é o tratamento retroviral mais adequado para cada doente, mas sim perceber quais são fármacos que um piloto seropositivo para o VIH estará autorizado a realizar. Alguns dos fármacos antirretrovirais apresentam maior probabilidade de causar efeitos secundários que interferem com a segurança de voo e por isso o seu uso deve ser evitado em pilotos ou pessoal navegante (ex.: indinavir provoca nefrolitíase, o que implica inaptidão de voo) (ICAO, 2012).

De acordo com o Manual de Medicina da Aviação Civil da ICAO são medicamentos aceites em meio aeronáutico: abacavir, didanosina, emtricitabina, lamivudina, tenofovir, zidovudina, atazanavir, fosamprenavir, lopinavir, ritonavir, nelfinavir, saquinavir, nevirapina e efavirenze. A Tabela 2 é baseada nas orientações da European AIDS Clinical Society com os efeitos secundários das terapêuticas referidas. A enfuvirtida, zalcitabina, indinavir e stavudina não são aceites pela ICAO como terapêutica em pilotos.

**Tabela 2** - Efeitos secundários de fármacos CART aceites pela ICAO em pilotos infetados por VIH

Fármaco	Efeitos secundários								
	Pele	GI	Hepáticos	CV	Músculo esquelético	Genito-urinários	Sistema nervoso	Metabólicos	Outros
Abacavir	Rash	Náusea e diarreia		DIC					RHS HLA B*5701 dependente
Didanosina		Pancreatite	Esteatose, fibrose	DIC			Neuropatia periférica	Hiperlactatémia	
Emtricitabina									
Lamivudina									
Tenofovir					↓ IMC, osteomalácia				
Zidovudina	Pigmentação das unhas	Náusea	Esteatose		Miopatia, rabdomiólise			Dislipidémia, hiperlactatémia	
Atazanavir			Icterícia, colelitíase			↓TFGe, nefrolitíase		Dislipidémia	
Fosamprenavir	Rash			DIC				Dislipidémia	
Lopinavir				DIC		↓TFGe		Dislipidémia	
Ritonavir						↓TFGe			

Fármaco	Efeitos secundários								
	Pele	GI	Hepáticos	CV	Músculo esquelético	Genito-urinários	Sistema nervoso	Metabólicos	Outros
Saquinavir								Dislipidémia	
Nevirapina	Rash		Hepatite			↓TFGe	Depressão, perturbações do sono, cefaleias		
Efavirenze	Rash		Hepatite				Depressão, perturbações do sono, cefaleias, ideação suicida		

De salientar que fármacos aceites como a nevirapina e efavirenze, que por poderem apresentar interferências no humor e perturbações do sono (EACS, 2015) podem ter implicação operacional no cumprimento de horas de descanso previstas. Uma inaptidão temporária deve ser emitida aquando o início de cART ou modificação de terapêutica já instituída. Este período de tempo permite a avaliação da resposta serológica assim como os seus efeitos na função cardiovascular, pulmonar, hepática e metabólica cujas alterações podem justificar a observação por médico especialista (ICAO, 2012). Exemplificando, a observação por cardiologista poderá ser uma mais-valia em doentes sob fosamprevenir ou lopinavir, já que os efeitos adversos descritos com ambos os fármacos envolvem doença isquémica coronária e dislipidémia.

Após três meses de monitorização e estabilidade clínica, a inaptidão pode ser levantada. Segundo a ICAO, os pilotos que iniciem efavirenze têm indicação formal para avaliação psiquiátrica e neurológica após seis meses do início da terapêutica, já que seus efeitos secundários incluem também ideação suicida.

Outra questão pertinente dentro da temática e para a qual não foi encontrada informação na pesquisa efetuada, é a adesão à terapêutica por parte dos pilotos infetados por VIH. Quer pilotos militares, quer pilotos civis, podem estar sujeitos a horários de trabalho/descanso pouco regulares. Situações como voos noturnos e/ou cruzamento de vários fusos horários exigem uma constante necessidade de adaptação e dificultam a instituição de uma terapêutica crónica complexa e com horários rígidos.

## 6. CONCLUSÕES

A infeção por VIH é considerada uma pandemia global com milhões de novos casos anualmente com elevada mortalidade e morbidade (UNAIDS,2016). Atualmente, com o acesso à cART, a supressão viral é mantida por períodos alargados de tempo o que permite melhorar a qualidade de vida dos doentes infetados por VIH e, assim, mudar o paradigma da doença (Vasconcelos,2009).

Ainda assim, a infeção por VIH, mantêm-se critério de exclusão em candidatos não só para pilotagem, mas para a carreira militar em qualquer um dos ramos. (Direção Geral de Pessoal - Ministério da Defesa Nacional, 1996). Porém, à luz dos novos conhecimentos e abordagens, os pilotos nos QP ou RC que sejam diagnosticados como seropositivos para o VIH podem manter-se aptos para voo. Esta situação é prevista por entidades reguladoras nacionais e internacionais e, genericamente, a posição defendida é que os indivíduos infetados por VIH com a sua condição clínica estável, contagens de linfócitos T CD4+ e carga viral aceitáveis são aptos para voar após autorização aeromédica. (ICAO, 2012), (Decreto-Lei 291/99, 2000), (EASA, 2011). Cumprindo estes critérios os pilotos infetados por VIH podem manter essa aptidão de voo durante um período prolongado de tempo. No entanto, a sua aptidão requer seguimento médico frequente e rigoroso com apoio de outras especialidades, nomeadamente de Doenças Infeciosas (ICAO,2012).

Sintomas como dificuldade em concentração ou esquecimentos devem alertar o médico aeronáutico

para eventuais manifestações neurológicas e devem ser avaliadas exaustivamente com apoio de especialistas como neurologistas ou psiquiatras. Apesar da cART aproximadamente metade dos doentes infetados por VIH demonstram algum grau de comprometimento neurológico (Brew *et al.*, 2014) e isso num piloto poderá ser fatal. Na minha opinião, os próprios doentes, neste caso pilotos, e a sua família devem ser instruídos a estar atentos às alterações precoces no comportamento e capacidades para que estas possam ser reportadas precocemente ao médico aeronáutico. Além disso, seria pertinente todos os pilotos seropositivos para o VIH realizarem um MMSE à altura do diagnóstico para servir de base de comparação nas consultas consecutivas, se necessário.

A adesão à cART condiciona o atraso o aparecimento de sintomatologia. No entanto, alguns fármacos antirretrovirais utilizados hoje em dia podem interferir com a segurança de voo (ICAO, 2012). O seu uso deve ser controlado e a prescrição cumprida escrupulosamente para ser eficaz. Na minha opinião, o piloto tem se encontrar altamente motivado para criar estratégias adaptadas às particularidades da sua função profissional e que o ajudem a otimizar a própria adesão. Talvez caiba ao médico aeronáutico lembrar que aderir totalmente à terapêutica é evitar a falência desta e consequente progressão da doença que, no caso dos pilotos, está associada à inaptidão para o voo.

Por fim, relembro que todo o conhecimento e normas de atuação perdem o seu objetivo, se o diagnóstico desta infeção não é realizado precocemente. Penso que seja imperativo, a implementação de rastreios ou avaliações sistemáticas de serologias de VIH a todos os pilotos e pessoal navegante da FAP. Eventualmente, o mesmo regime de pesquisa de anticorpos contra o VIH dos Estados Unidos da América (de 2 em 2 anos) poderá ser implementado apesar da aparente baixa incidência desta infeção nesta população, que poderá até estar subdiagnosticada. Inicialmente poderá ser adotado indiscriminadamente e adaptado após identificação de um perfil de risco ajustado à FAP ou às Forças Armadas portuguesas por questões de casuística.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AsMA. (Maio de 1992). HIV positivity and aviation safety. *AviatSpaceEnvironMed*, 375-7.
- [2] Brew *et al.*, B. (Aug de 2014). Update on HIV dementia and HIV-associated neurocognitive disorders. *Curr Neurol Neurosci Re*, 468.
- [3] CDC. (1993). 1993 Revised Classification System for HIV Infection and Expanded Surveillance Case Definition for AIDS Among Adolescents and Adults. Centers for Disease Control and Prevention.
- [4] Clark, J. B. (Fevereiro de 1990). Policy Consideration of Human Immunodeficiency Virus (HIV) in U.S Naval Aviation Personnel. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 61, 165-8.
- [5] Decreto-Lei 291/99, d. 3. (2000). Portaria 1157/2000, de 7 de Dezembro.
- [6] Direção Geral de Pessoal - Ministério da Defesa Nacional. (1996). Militares em RV e RC portadores do Vírus da SIDA ou da Hepatite B.
- [7] EACS. (2015). Linhas orientadoras versão 8.0.
- [8] EASA. (3 de Nov de 2011). Regulamento (UE) N.o 1178/2011.
- [9] Elbirt *et al.*, D. (Jan de 2015). HIV-associated neurocognitive disorders (HAND). *Isr Med Assoc J*, 54-9.
- [10] Hannah *et al.*, W. J. (Nov de 2016). Clinical indicators associated with HIV acquisition in the United States Air Force. *AIDS Care*, 1-5.
- [11] ICAO. (2012). *Manual of Civil Aviation Medicine* (3ª ed.).
- [12] Longo *et al.*, D. L. (2016). *Harrison's Principles of Internal Medicine* (19ª ed.). McGraw-Hill Education.

- [13] Manjra, L. S. (Oct-Dec de 2011). Employability and HIV infection: can the military claim to be an exception? *Int J Occup Environ Health*, 352-60.
- [14] Nightingale *et al.*, S. (2014). Controversies in HIV-associated neurocognitive disorders. *Lancet Neurol.*, 1139-51.
- [15] Patt *et al.*, H. (1994). HIV-encephalopathy: should we wait a catastrophe before screening? *AviatSpaceEnvironMed*, 70-3.
- [16] UNAIDS. (2016). AIDS by the numbers.
- [17] Vasconcelos, C. A. (2009). *Recomendações Portuguesas para o Tratamento da Infecção VIH/SIDA*





**Academia da Força Aérea**  
Granja do Marquês – 2715-021 Pêro Pinheiro  
Tel.: 219 678 956 – Fax: 219 678 956

