



**Revista Científica**

# **Academia da Força Aérea**

---

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



*N.º 1, publicação anual, 2011*



REVISTA CIENTÍFICA  
ACADEMIA DA FORÇA AÉREA





José António de Magalhães Araújo Pinheiro  
*General*  
***Chefe do Estado-Maior da Força Aérea***



António Carlos Mimoso e Carvalho  
*Tenente-General Piloto Aviador*  
***Comandante da Instrução e Formação da Força Aérea***



José Manuel Pinheiro Seródio Fernandes  
*Major-General Piloto Aviador*  
***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, nos domínios dos mestrados bem como de doutoramentos e ainda da investigação científica.

As opiniões expressas directa ou indirectamente nesta revista pertencem aos respectivos autores.

Os artigos que constam desta edição podem ser reproduzidos no todo ou em parte, não carecendo de prévia autorização.



## Índice

Ficha Técnica .....	8
<b>José Manuel Pinheiro Seródio Fernandes, Major-General Piloto Aviador</b> Palavras de abertura.....	10
<b>Joaquim Manuel Nunes Borrego, Coronel Piloto Aviador</b> Editorial.....	12
<b>Centro de Investigação da Academia da Força Aérea .....</b>	<b>14</b>
António Costa, Coronel Engenheiro Aeronáutico Director do Centro de Investigação da Academia da Força Aérea	
<b>Projecto de Integração do Sistema de Piloto Automático MicroPilot MP2028g e de Configuração e Monitorização de Superfícies de Controlo.....</b>	<b>26</b>
Jorge Silva, Aspirante Aluno do Mestrado Integrado na especialidade de Pilotagem Aeronáutica	
<b>Identificação e Reconhecimento de Objectos em Imagens de Vídeo Aéreas .....</b>	<b>38</b>
Ricardo Pagaimo, Alferes Aluno do Mestrado Integrado na especialidade de Engenharia Electrotécnica	
<b>Stop Drill Technique on a Plate of C-130 Aircraft Skin: A Computational and Experimental Study to Improve Fatigue Life .....</b>	<b>52</b>
José Cardoso, Second Lieutenant, Student of the Aeronautical Engineering MSc course José Cardoso, Aspirante Aluno do Mestrado Integrado na especialidade de Engenharia Aeronáutica	
<b>Comportamento Hidro-mecânico de Solos Compactados com Diferente Teor em Água de Compactação .....</b>	<b>66</b>
André Reis, Alferes Aluno do Mestrado Integrado na especialidade de Engenharia de Aeródromos	
<b>Actualização MLU da Aeronave F-16 Fighting Falcon: Uma Arma para Novas Missões?.....</b>	<b>80</b>
João Apóstolo, Aspirante Aluno do Mestrado Integrado na especialidade de Pilotagem Aeronáutica	
<b>Análise Multi-Critério MACBETH no Processo de Decisão para Substituição de Aeronave Treino .....</b>	<b>92</b>
Luís Rosa, Alferes Aluno do Mestrado Integrado na especialidade de Administração Aeronáutica	
<b>Construção de um Mapa de Estratégia para a Força Aérea.....</b>	<b>106</b>
Tiago Oliveira, Aspirante Aluno do Mestrado Integrado na especialidade de Pilotagem Aeronáutica	
<b>Afghanistan's Crisis: from Ancient Times to the Post-September 11, 2001 the Credibility of NATO in the Contemporary International Order.....</b>	<b>118</b>
João Almeida, MSc Student, Pilot Course João Almeida, Aspirante Aluno do Mestrado Integrado na especialidade de Pilotagem Aeronáutica	
<b>Fontes de Financiamento de Organizações Terroristas.....</b>	<b>132</b>
Oswaldo Oliveira, Tenente de Administração Aeronáutica	

<b>Síndrome de Crouzon: Aplicação da Distracção Osteogénica para o Avanço Le Fort III com Distractor Externo Pericraniano</b> .....	142
Raquel Bento, Alferes Aluna do Mestrado Integrado em Medicina	
<b>Prevenção de Barodontalgias: Avaliação Dentária de Pessoal Navegante</b> .....	158
Ana Ferrão, Tenente Aluna Técnica de Saúde do estágio Técnico-Militar	
Lourdes Andrade, Tenente Aluna Técnica de Saúde do estágio Técnico-Militar	
<b>Manutenção Centrada na Fiabilidade – um Breve Resumo</b> .....	174
Vasco Abreu, Aspirante Aluno da Licenciatura em Manutenção Material Electrotécnico do estágio Técnico-Militar	
Gonçalo Lavado, Tenente Aluno da Licenciatura em Manutenção Material Electrotécnico do estágio Técnico-Militar	
Cláudio Tavares, Aspirante Aluno da Licenciatura em Manutenção Material Electrotécnico do estágio Técnico-Militar	
<b>Onda de Explosão Aérea</b>	
<b>– Determinação da Probabilidade de Fatalidade do Ser Humano</b> .....	184
António Azevedo, Tenente Aluno Técnico de Manutenção de Armamento e Equipamento	
<b>A Avaliação de Desempenho na Administração Pública: O SIADAP 3 e a sua Influência na Motivação dos Trabalhadores Cívicos da Força Aérea</b> .....	200
Eunice Barreto, Tenente Aluna da Licenciatura em Pessoal e Apoio Administrativo	
Ótilia Manso, Aspirante Aluna da Licenciatura em Pessoal e Apoio Administrativo	

N.B.: Os Mestrados Integrados da Academia da Força Aérea são em Aeronáutica Militar nas especialidades de Pilotagem Aeronáutica, Engenharia Aeronáutica, Electrotécnica, Aeródromos e em Administração Aeronáutica.

Os artigos publicados referentes às Licenciaturas em Tecnologias Militares e Aeronáuticas abrangem as especialidades de Manutenção de Material Aéreo, de Armamento e Equipamento, de Material Electrotécnico e em Pessoal e Apoio Administrativo.



ACADEMIA



# Ficha Técnica

---

<b>Director</b>	Comandante da Academia da Força Aérea <i>José Manuel Pinheiro Seródio Fernandes, Major-General Piloto Aviador</i>
<b>Conselho Editorial</b>	2º Comandante da Academia da Força Aérea <i>Joaquim Manuel Nunes Borrego, Coronel Piloto Aviador</i>
	Director do Centro de Investigação da Academia da Força Aérea <i>António Pedro Fernandes Costa, Coronel Engenheiro Aeronáutico</i>
	Director do Ensino Universitário da Academia da Força Aérea <i>José Lourenço da Saúde, Coronel Engenheiro Aeronáutico</i>
	Director do Ensino Politécnico da Academia da Força Aérea <i>Hélio Soares Fernandes, Coronel Engenheiro Electrotécnico</i>
	Director do Centro de Estudos Aeronáuticos <i>Antero da Silva Coutinho, Coronel Piloto</i>

**Propriedade:** Academia da Força Aérea

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

**Periodicidade:** Anual, Número 1, 2011

**Capa:** Comando da Academia Força Aérea

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

**Maquete Gráfica:** Direcção de Ensino Universitário - Academia da Força Aérea

**ISSN:** 2182-2174

**Depósito legal:** 328295/11

**Tiragem:** 1.000 exemplares

**Distribuição gratuita**

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

**Correio electrónico:** [afa@emfa.pt](mailto:afa@emfa.pt)

**Desenvolvimento WEB:** Centro de Informática da Academia da Força Aérea







**A** Academia da Força Aérea é um Estabelecimento de Ensino Superior Militar, oficialmente criada pelo Decreto-Lei 27/78, de 27 de Janeiro tem como missão a formação de Oficiais destinados ao Quadro Permanente da Força Aérea, em áreas de conhecimento de reconhecido interesse para o desempenho de funções no âmbito da missão atribuída a este Ramo das Forças Armadas, realizando actividades de ensino, de investigação e desenvolvimento e de apoio à comunidade.

Começou a sua actividade no dia 1 de Fevereiro de 1978 com alunos do 3º ano do curso de Aeronáutica Militar. Com o progressivo aumento das instalações, tornou-se possível um sucessivo alargamento, no âmbito da actividade escolar a outros cursos. Assim, passaram a ser ministrados os Estágios Técnico-Militares para ingresso nos quadros de Engenharia, Administração, Medicina e de Juristas.

Na constante procura de aperfeiçoamento e para corresponder às reais necessidades da Força Aérea, foram instituídos os cursos Universitários de Engenharia Aeronáutica, de Aeródromos, de Electrotécnica, de Informática e de Administração Aeronáutica, no ano lectivo de 1991/92.

Foi ainda nesse mesmo ano que se iniciaram os cursos Politécnicos, destinados à formação dos Oficiais Técnicos do Quadro Permanente.

Visando consolidar a Academia da Força Aérea como Estabelecimento de Ensino Superior Público Universitário e Militar, publica-se o nº 1 da “Revista Científica” com os trabalhos de relevante qualidade das teses de mestrado apresentadas na AFA, no IST, no ISEG e na FMUL, pelos alunos de Pilotagem, de Engenharia, de Administração e de Medicina, completados com projectos de Licenciatura.

Pretende-se manter uma periodicidade anual, na qual serão apresentadas as teses, das várias áreas de conhecimento, de melhor qualidade, interesse e oportunidade.

Estou certo que os trabalhos constantes neste primeiro número corresponderão às expectativas dos leitores.



Brasão do Comandante da Academia da Força Aérea



Joaquim Manuel Nunes Borrego, Piloto Aviador  
2º Comandante da Academia da Força Aérea

*E não menos por armas que por letras.* É neste espírito<sup>(1)</sup> que a Academia da Força Aérea pretende dar a conhecer, de forma sumária, os resultados da mais recente actividade de investigação deste estabelecimento de ensino superior militar. Como facilmente se compreende, no contexto actual, não é concebível ensino superior sem investigação. De facto, sem prejuízo para o cumprimento da sua missão, a Força Aérea reconhece que o seu futuro passa também pela investigação aplicada, nomeadamente, em áreas que, a médio ou longo prazo, poderão ter impacto positivo na actividade operacional, na gestão e nas actividades correntes.

Partindo desta visão, seleccionaram-se vários artigos que dão uma panorâmica sobre a natureza e qualidade da actividade científica realizada nos dois ciclos de formação superior da Academia, licenciatura e mestrado, bem como doutoramentos em parceria com outros estabelecimentos de ensino superior.

Assim, de forma a enquadrar o leitor através dos conteúdos da corrente publicação, começamos com uma abordagem genérica da actividade do Centro de Investigação da Academia da Força Aérea (CIAFA), num artigo onde se realça a importância das parcerias de projectos de investigação, assentes numa genuína rede nacional de várias instituições, destacando-se as Universidades do Porto, Beira Interior, Técnica de Lisboa e Católica.

Seguidamente, procurámos estruturar os artigos em quatro grupos: um de cariz tecnológico; o segundo relativo à estratégia de desenvolvimento da Força Aérea e relações internacionais; o terceiro no domínio da medicina; e o último aborda o resultado de três projectos de licenciatura.

Deste modo, o primeiro grupo apresenta dois artigos que descrevem a integração de um sistema de piloto automático e um sistema com capacidade de reconhecimento, e um sistema de seguimento automático de objectos em movimento (que podem ser viaturas, alvos, etc) a partir de aeronaves não tripuladas. Dá-se ainda relevo a uma técnica computacional relativa ao cálculo à fadiga na fuselagem de aeronaves C-130; e a um estudo no domínio da engenharia de aeródromos, abordando o comportamento hidro-mecânico de solos.

O segundo grupo de artigos explora estratégias de desenvolvimento da organização e dos sistemas de armas; as metodologias para o processo decisional relativo à selecção de novas aeronaves; e a operação do avião F16 em novas missões. Este grupo é completado com dois temas no domínio das relações internacionais, aspecto a que Força Aérea está atenta, dando especial atenção à problemática do terrorismo.

No domínio da medicina incluem-se dois artigos particularmente interessantes. O primeiro apresenta uma alternativa para a correcção da hipoplasia da face média no contexto da Síndrome de Crouzon, com a aplicação da Distracção Osteogénica para o Avanço Le Fort III e um distractor externo pericraniano; o segundo artigo tenta responder a uma necessidade específica da Força Aérea na prevenção de situações de odontalgia do pessoal navegante, causadas por alterações na pressão barométrica (barodontalgias).

No último grupo destacam-se três artigos. A necessidade de promover a adopção do conceito de manutenção centrada na fiabilidade em detrimento da manutenção programada; no domínio do armamento e materiais energéticos é apresentada uma metodologia que permite determinar, de forma sistemática, baseada em *standards* internacionais a probabilidade de fatalidade humana resultante de explosão contendo uma onda de sopro hemisférica. Finalmente, a revista é encerrada com um tema relacionado com recursos humanos, nele se dando uma perspectiva da motivação do pessoal civil da Força Aérea face ao SIADAP 3<sup>(2)</sup>.

(1) "E não menos por armas que por letras" – lema da Academia da Força Aérea Portuguesa.

(2) Sistema Integrado de Gestão e Avaliação do Desempenho na Administração Pública.



Crédito: André Garcéz

# Centro de Investigação da Academia da Força Aérea



ANTEX-M: Sistema Aéreo Não Tripulado do Centro de Investigação da Academia da Força Aérea

António Costa, Coronel Engenheiro Aeronáutico  
Director do Centro de Investigação da Academia da Força Aérea  
Doutor em Engenharia Aeroespacial

**Resumo.** O Centro de Investigação da Academia da Força Aérea é uma unidade de investigação científica permanente, inserida e sediada nas instalações na Academia da Força Aérea, visando a promoção da investigação científica, acções de formação contínua e actividades de prestação de serviços especializados à comunidade nos seus domínios de investigação. O Centro de Investigação reúne infra-estruturas únicas no país e específicas para as actividades de desenvolvimento no sector aeroespacial utilizadas para a concepção, projecto, validação e certificação. É uma estrutura cujo estatuto lhe permite gerir, de uma forma integrada, as actividades de investigação e tecnologia, com as necessidades operacionais, técnicas e do ensino superior da Força Aérea, permitindo, simultaneamente, ligações a outros actores, nomeadamente aos outros dois Ramos, à Direcção-Geral de Armamento e Infra-Estruturas de Defesa, com entidades do sistema científico nacional e com agências de investigação e tecnologia internacionais. Actualmente, 80% do orçamento anual de funcionamento do CIAFA é proveniente de financiamento externo à Força Aérea, obtido em ambiente concorrencial com as outras entidades do Sistema Científico e Tecnológico e da Base Industrial e Tecnológica.



Figura 1: Túnel de vento subsónico

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Enquadramento e Motivação

Não é concebível ensino superior sem investigação. Esta simples afirmação encerra uma realidade inquestionável que obriga a que a Investigação, Desenvolvimento, Tecnologia e Inovação (I&DTI), tenham obrigatoriamente de constar nesta abordagem que tem como pressuposto orientador o produto final do ensino ministrado na Academia da Força Aérea (AFA): o Oficial da Força Aérea.

Para melhorar as capacidades militares, o conhecimento científico e tecnológico, desempenha um papel fundamental. Identifica-se o conhecimento que deve existir na Academia da Força Aérea como sendo aquele que garanta a concepção, o projecto e a realização dos sistemas, produtos e serviços que convergem no processo de desenvolvimento das capacidades militares aeronáuticas.

Face ao ritmo alucinante a que surgem as novas armas tem-se reforçado a infra-estrutura tecnológica da Força Aérea Portuguesa (FAP). Com a criação de infra-estruturas laboratoriais, nos meados da década de noventa, a Academia assumiu um papel de maior intervenção na investigação científica. Desde então, a Academia tem vindo a desenvolver um esforço acentuado para reforçar as actividades de I&DTI em nichos de interesse para a FAP. O ambiente académico e as infra-estruturas laboratoriais permitem a articulação e a integração consistente de várias áreas de pesquisa de forma a culminarem na realização de trabalhos, projectos, estágios, tirocínios, dissertações e teses em apoio às componentes operacional e logística da Força Aérea.

No século XXI o saber militar deverá ser ainda mais especializado. Por isso, precisamos de perspectivar os problemas e os desafios a defrontar na esfera militar, de forma a definir quais os novos saberes a que o militar deve ter acesso, avaliando de que trata cada um deles e sabendo o que se está tentando fazer: as preocupações centrais, as teorias fulcrais e as novas técnicas de instrução. Nos últimos anos a Academia tem vindo a desenvolver um esforço acentuado de articulação dos diversos tipos de conhecimento que devem coexistir na própria Organização. Neste contexto, assiste à Academia o esforço de triagem e de fazer convergir os diversos programas de investigação e desenvolvimento em curso de forma a permitir obter o conhecimento tecnológico que sirva as futuras necessidades da FAP e das Forças Armadas nos contextos da Agência Europeia de Defesa (EDA) e da Organização do Tratado do Atlântico Norte (NATO).

A coordenação das actividades de ciência e tecnologia gera a necessidade de consolidar estruturas, como é o caso do Centro de Investigação da Academia da Força Aérea (CIAFA). O Centro de Investigação é uma entidade do Sistema Científico e Tecnológico Nacional (SCTN) dedicado, em permanência, à investigação científica. O CIAFA, inserido e sediado nas instalações da Academia, visa a promoção da investigação científica, a realização de acções de formação contínua e actividades de prestação de serviços especializados à comunidade nos seus domínios de investigação.

O CIAFA surge naturalmente como núcleo do sistema de conhecimento que tem vindo a ser desenvolvido na Força Aérea, já que detém, não só o maior número de investigadores militares doutorados do ramo, mas também infra-estruturas únicas no país, específicas para as actividades de pesquisa, científica e tecnológica, no sector aeroespacial. Trata-se de uma entidade agregadora das unidades de produção e de gestão de conhecimento da Força Aérea, promotora, quando para tal solicitada, da sua ligação com entidades do SCTN, ou com agências de investigação e tecnologia internacionais.

Uma vez que partilha um modelo organizacional comum ao de outros Ramos, e visto o trabalho desenvolvido pelos elementos que o compõem estar já legitimado pela comunidade científica, o CIAFA foi facilmente integrado na rede de ciência e tecnologia de Defesa. Na orgânica das Forças Armadas, o CIAFA encontra-se integrado nas entidades do SCTN sendo um dos actores da Estratégia de Desenvolvimento da Base Tecnológica e Industrial de Defesa, tal como exarada na Resolução do Conselho de Ministros n.º 35/2010. Entende-se por Base



Tecnológica e Industrial para a Defesa (BTID), no âmbito nacional, o conjunto das empresas e das entidades do sistema científico e tecnológico nacional, públicas (incluindo capacidades orgânicas das Forças Armadas) ou privadas, com capacidade para intervir numa ou mais das etapas do ciclo de vida logístico dos sistemas de armas.

## 1.2 Objectivo

Compete ao CIAFA o planeamento, programação, execução e controlo das actividades de investigação científica. Trata-se de uma estrutura cujo estatuto lhe permite gerir, de uma forma integrada, as actividades de investigação e tecnologia, com as necessidades operacionais, técnicas e de ensino superior da Força Aérea, permitindo, simultaneamente, ligações a outros actores.

Para o efeito o Centro de Investigação da Academia da Força Aérea, detentor de capacidade laboratorial única no País para a pesquisa aeronáutica, executa, de forma coordenada com o SCTN e com a BTID, actividades de I&DTI com interesse para a Defesa.

De acordo com a estratégia Nacional para a I&DTI de Defesa, a orientação, o desenvolvimento, a coordenação e o apoio financeiro das actividades de investigação e desenvolvimento no âmbito da Defesa, constituem um desafio permanente, o qual deverá ser por um lado, consistente com as várias políticas e instrumentos governamentais de I&DTI, e por outro, alinhado com as iniciativas de organizações internacionais, nomeadamente a Agência de Defesa Europeia e a Organização do Tratado do Atlântico Norte. Neste contexto, para enquadrar o ciclo de decisão associado à identificação e definição dos desafios tecnológicos para a Defesa, o CIAFA promove os projectos que respondam às lacunas identificadas nas capacidades militares da FAP. A análise dos desafios tecnológicos é feita no contexto nacional, para a realidade do Sistema de Forças Nacional, numa perspectiva de sustentação e edificação de capacidades militares, identificando as lacunas existentes e as soluções tecnológicas possíveis.

Para efeitos de coordenação dos assuntos de investigação e tecnologia de Defesa, o CIAFA representa a Força Aérea junto do Ministério da Defesa Nacional. Complementarmente, a participação de Oficiais da Academia nas organizações dedicadas à investigação e desenvolvimento na EDA e na NATO reforça a comunicação e a coordenação dos esforços de I&DTI com as outras nações, permitindo, simultaneamente, o acesso a recursos externos.



Figura 2: Certificação de uma nova configuração da aeronave Alpha-Jet

## 2. INVESTIGAÇÃO, DESENVOLVIMENTO, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

### 2.1 Competência Científica

O CIAFA desenvolve investigação aplicada e desenvolvimento experimental ao abrigo quer de programas promovidos pela administração central quer de projectos de investigação internacionais, em colaboração com outras instituições de ensino superior, laboratórios do estado e empresas, nacionais e estrangeiras.

As competências científicas residentes no CIAFA estão agrupadas em linhas de investigação que concretizam a sua orientação científica, através de objectivos de longo prazo que presidem à organização e à execução dos projectos nelas inscritos. O CIAFA desenvolve actividades de I&DTI nos seguintes Domínios Científicos / Linhas de Investigação: Aerodinâmica; Desempenho; Estabilidade e Controlo; Materiais Avançados; Estruturas (Inteligentes / Adaptativas); Propulsão (Impulso Vectorizado); Navegação; Opto-Electrónica; Modelação e Simulação; Protecção Individual; Vigilância Satélite; Tecnologia Militar Espacial; Projecto de Aeronaves; Optimização Multi-disciplinar; Controlo Cooperativo; Fusão Sensorial; Modelos Probabilísticos para Operações Persistentes; Sistemas de Visão; Gravimetria Aérea; Modelos Digitais de Superfície; e, Sistemas Não Tripulados.



Figura 3: Alguns dos Sistemas Aéreos Não Tripulados do Centro de Investigação

### 2.2 Recursos Humanos e Financeiros

Actualmente, 80% do orçamento anual de funcionamento do CIAFA é proveniente de financiamento externo à Força Aérea, obtido em ambiente concorrencial com as outras entidades do Sistema Científico e Tecnológico e da Base Industrial e Tecnológica.

Para além da Comissão Europeia, as fontes de financiamento estrangeiro são a NATO, a Agência Europeia de Defesa, a Força Aérea dos Estados Unidos (USAF), através do *European Office of Aerospace Research and Development* (EOARD), e o *Pinto-Fialon Fund*, este para apoio aos programas doutorais de docentes militares Portugueses em curso na Universidade da Califórnia em *Berkeley*.

A nível Nacional registam-se os patrocínios da Fundação para a Ciência e Tecnologia, da Fundação Calouste Gulbenkian e da Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento.

Presentemente, a Academia da Força Aérea contribui com 41 Militares, entre docentes e alunos, para os projectos I&DTI, sendo que, no total na Força Aérea, 72 Militares estão envolvidos em actividades de I&DTI com interesse para a Defesa. Estes militares interagem com meia centena de investigadores provenientes da Universidade Técnica de Lisboa, da Universidade

do Porto, da Universidade da Beira Interior, da Universidade de Aveiro, da Universidade Católica e da Universidade do Minho, só para referir as mais representativas em termos dos recursos humanos envolvidos.

### 2.3 Infra-estrutura Laboratorial

O Centro de Investigação da Academia da Força Aérea reúne infra-estruturas únicas no país e específicas para as actividades de desenvolvimento no sector aeroespacial utilizadas para a concepção, projecto, validação e certificação.

Do equipamento, distribuído por vários laboratórios, salienta-se o túnel de vento subsónico tipo *Göttingen*, a balança *Shenck* de seis componentes, o sistema de atravessamento e posicionamento de três eixos controlado por computador, o sistema de visualização da TSI (modelo *Viewpoint*), a sonda direccionada de pressão de sete furos, a turbina de gás TECQUIPMENT (GT – 85), um estatoreactor, o sistema de visualização PIV, os sistemas de aquisição de dados da *National Instruments* e os sistemas de controlo *dSpace*. Ao túnel de vento subsónico *Göttingen*, o maior do país (Figura 1), somam-se outros túneis e simuladores aerodinâmicos (PLINT-TE41, *Tecquipment-AF10* e *Armeifield, C1-10*).

As máquinas-ferramenta, essenciais ao fabrico dos Sistemas Aéreos Não Tripulados (SANT), incluem tornos horizontais, fresadoras verticais (CNC-3D), engenhos de furar, máquinas de corte (CNC-3D), máquinas de encurvar tubo metálico e máquinas de encolher e esticar chapa.

O sector da Informática inclui estações de trabalho, *plotters*, redes e *clusters* de PC's e Software (*Advanced Aircraft Analysis*, PANDA, *LinAir 1.4*, *Wing Design*, MATLAB, *SolidWorks*, ANSYS, GASTURB, *FlowVis*, VSAERO e USAERO).

Os restantes laboratórios estão dotados com equipamento de electro-óptica, de electromagnetismo, electrónica, telecomunicações, sistemas digitais e microprocessadores, de física moderna, química e mineralogia, de ensaios não destrutivos, bancadas de termodinâmica e de simulação para mecânica de fluidos e máquinas de ensaio do comportamento mecânico dos materiais.



Figura 4: Plataforma projectada e construída na AFA para o projecto PITVANT

## 2.4 Projectos Inseridos em Programas Específicos de Apoio

### 2.4.1 Panorâmica Geral

O Centro de Investigação da Academia da Força Aérea tem em curso trabalhos de investigação e desenvolvimento inseridos em programas específicos de apoio, conjuntamente com outros, de nível académico, que visam a graduação (licenciatura e mestrado) dos alunos e a pós-graduação (doutoramento) dos seus Oficiais, a maior parte dos quais desempenha funções docentes na Academia. Com a passagem do ensino superior militar ministrado na AFA do nível de licenciatura para o nível de mestrado, tornou-se vital qualificar o seu corpo docente militar com o grau de doutor. A Academia da Força Aérea, em associação com universidades nacionais e estrangeiras, oferece diversos programas de doutoramento existindo casos em que é conferido grau duplo. Os estudantes de doutoramento da Academia participam activamente nos projectos de investigação em curso no CIAFA. Estes programas de doutoramento têm como objectivo o aprofundamento do conhecimento em áreas específicas do domínio tecnológico ou mesmo naquelas que estão situadas em áreas de fronteira com outros ramos do conhecimento, proporcionando uma melhor compreensão dos respectivos problemas teóricos e aplicados. Os programas de doutoramento são oferecidos no âmbito de iniciativas conjuntas com as seguintes instituições:

- ✓ Instituto Superior Técnico e Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto;
- ✓ Universidade de Berkeley e Universidade Estadual da Florida, nos Estados Unidos da América;
- ✓ Universidade de Munique (Instituto de Geodesia e Navegação), na Alemanha;
- ✓ Universidade de Victoria, no Canadá;
- ✓ *KTH Royal Institute of Technology*, na Suécia.

No âmbito da I&DTI, foram realizados e estão em curso trabalhos cujo objectivo próximo é apoiar a operação e a manutenção das aeronaves que equipam as frotas da Força Aérea, mas que também têm servido para desenvolver novos processos e novas tecnologias e, por isso, mesmo são objecto de divulgação em fóruns da especialidade. Destes, salienta-se o estudo da influência de cargas externas, como por exemplo os sistemas de reconhecimento fotográfico, nas características aerodinâmicas das aeronaves. Tal estudo implicou o desenvolvimento de métodos computacionais de mecânica de fluidos e a sua compatibilização com ensaios em túnel aerodinâmico. Os resultados permitiram a certificação de uma nova configuração da aeronave Alpha-Jet (Figura 2).

### 2.4.2 Curriculum de I&DTI do Centro de Investigação

Do curriculum de inovação do Centro de Investigação destaca-se:

2.4.2.1 A gestão técnica junto do Ministério da Defesa Nacional dos seguintes projectos de I&DTI de Defesa:

- ✓ Projecto n.º 5/95, "Sistema de Shearografia Laser para CND de Estruturas em Materiais Compósitos" (1996 a 1999) do Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, Porto;
- ✓ Projecto europeu de I&D "Assessment of Technology Needs for Unmanned Combat Aerial Vehicle (UCAV)" (2003-06) no qual participaram 17 entidades de 5 países: Portugal (Edisoft,

INETI e IST), Itália (*Alenia Aeronautica, Galileo Avionica, MBDA Itália e Oto Melara*), Espanha (*Aries Engenharia, EADS-CASA, Espelsa, ITP e SENER*), Holanda (*Fokker Services, NLR e TNO-FEL*) e Noruega (*Kongsberg*). O objectivo foi a identificação de aspectos específicos da tecnologia a aplicar em UCAVs da próxima geração.

#### 2.4.2.2 A participação nos seguintes projectos nacionais:

- ✓ Projecto da Fundação para a Ciência e Tecnologia “Desenvolvimento de Projecto Aeronáutico Em Estruturas com Geometria Variável”, (2005-07), com a referência POCI/EME/61587/2004.
- ✓ Projecto para “Separação de Produtos Petrolíferos” (2008-09), em colaboração com a empresa Portuguesa PARTEX e totalmente financiado por esta. Estudou-se a optimização de um processo aerodinâmico patenteado para a separação de produtos petrolíferos.
- ✓ Projecto “Aeronaves Não-Tripuladas de Duplo Uso”, financiado pela Fundação Calouste Gulbenkian (2010-11), com o objectivo de contribuir para o reforço das capacidades da Academia nas áreas tecnológicas relacionadas com os sistemas aéreos não-tripulados, no sentido do seu desenvolvimento sustentado, assim como para a criação, no contexto Nacional, de uma massa crítica de excelência naquelas áreas. Concretamente, pretende-se reforçar a investigação e desenvolvimento em sistemas de veículos aéreos de duplo-uso, militar e civil, no sentido da sua utilização em aplicações civis, e com elevado interesse para a sociedade (Figura 3). Estas aplicações endereçam: o estudo e monitorização dos recursos naturais; a segurança de sistemas e de infra-estruturas; a detecção e o combate à poluição; a inspecção de estruturas artificiais, como por exemplo os oleodutos, os gasodutos e as redes eléctricas; a detecção e monitorização de fogos florestais; e, as acções de monitorização marítima.
- ✓ “Projecto de Investigação e Tecnologia em Veículos Aéreos Não-Tripulados” (PITVANT), patrocinado pelo Ministério da Defesa Nacional, envolvendo a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, a Universidade da Califórnia em *Berkeley*, a Universidade de Munique, a Agência de Defesa Sueca, a Embraer, a *Honeywell*, o Observatório Astronómico e o Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial (2008-15). No PITVANT (Contracapa e Figura 4) desenvolvem-se, o controlo cooperativo de várias plataformas com iniciativa mista, a fusão de dados e os sistemas de navegação. Estuda-se a metodologia para a concepção, desenvolvimento e avaliação do controlo hierárquico de equipas de aeronaves militares não tripuladas semi-autónomas com elevado grau de fiabilidade de missão.
- ✓ Projecto *Network Enabled Cooperation System of Autonomous Vehicles* (NECSAVE). Resultado de uma iniciativa da Academia da Força Aérea, da Marinha de Guerra Portuguesa e da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e concorrendo com três dezenas de iniciativas apresentadas pelo Sistema Científico e Tecnológico Nacional e pela Base Industrial e Tecnológica de Defesa o projecto NECSAVE (2011 a 2015), foi aprovado, pelo Ministério da Defesa Nacional em Março de 2010. O projecto NECSAVE visa o desenvolvimento, avaliação e demonstração, em simulação e em ambiente real, de sistemas baseados na coordenação, realizada através de redes de comunicação inter-operadas, de veículos não tripulados (aéreos, de superfície e submarinos) equipados

com dispositivos sensoriais complementares que permitirão atingir novos níveis de desempenho e operacionalidade.

2.4.2.3 A participação nos seguintes projectos internacionais:

- ✓ Projecto Luso-canadiano *Wing in Ground Effect* (2008) desenvolvido em colaboração com a Universidade de *Victoria* do Canadá (UVIC) e com o Instituto Superior Técnico (IST). Estudaram-se em túnel aerodinâmico veículos aéreos que tiram partido do efeito de solo, reduzindo a resistência ao avanço e o consumo de combustível. Na Academia, foram efectuados ensaios em túnel aerodinâmico e construídos os modelos à escala para teste em voo.
- ✓ Projecto Luso-canadiano *Smart Aircraft Morphing Technologies* patrocinado pelo *Applied Vehicle Technology* da *Research and Technology Organization* da NATO (2007 a 2009).
- ✓ Projecto *Joined Wing* (2004 a 2012), em colaboração com a USAF, IST, UVIC e VirginiaTech (VT), visa o estudo de uma asa não convencional para operar como um radar aéreo não tripulado (Figura 5). É financiado pela USAF (Air Force Research Laboratory), através do EOARD. Portugal é responsável pelo estudo estrutural não linear associado ao desenvolvimento de fenómenos aeroelásticos. Entre 2006 e 2008 foram realizados testes no túnel aerodinâmico da Academia de um modelo à escala projectado pela Boeing. Nesse período uma aluna de doutoramento do Air Force Institute of Technology da USAF recebeu orientação científica de dois investigadores militares do CIAFA. Em 2011 e 2012 serão efectuados na Ota os ensaios em voo das plataformas *Joined Wing*.



Figura 5: *Joined Wing* (versão de 2010)

#### 2.4.2.4 A participação nos seguintes projectos europeus:

- ✓ Projecto *Active Aeroelastic Aircraft Structures* no âmbito do Growth – Key Action 4 do 5º *European RTD Framework Programme* (2002 a 2006). Estudou-se a aplicação aeronáutica da estrutura adaptativa de modo a reduzir o peso e a aumentar, de forma selectiva, a flexibilidade da aeronave. Foi validada a aplicação da estrutura inteligente no alívio de rajada e na atenuação da instabilidade aeroelástica de *flutter* e de *buffeting* nas superfícies sustentadoras das aeronaves. Neste projecto a Academia funcionou em rede com parceiros oriundos de organizações ligadas à investigação académica (DLR-Alemanha, INTA-Espanha, KTH-Suécia, *Manchester University*-Inglaterra, *Politecnico di Milano*-Itália, CIRA-Itália, *Technion Haifa*-Israel e TsAGI-Rússia) e à indústria (*Alenia*-Itália, *Casa*-Espanha, *GAMESA*-Espanha, *Onera*-França, *DASA*-Alemanha, *Israel Aircraft Industries* e *SAAB*-Suécia).
- ✓ Projecto *Aircraft Reliability Through Intelligent Materials Application* (ARTIMA) no âmbito do Growth – 6º *European RTD Framework Programme* (2005-2009). Neste programa a Academia estudou a aplicação de materiais avançados com a capacidade de efectuar testes não destrutivos em tempo quase real em aeronaves. O consórcio era composto por universidades, institutos de investigação e unidades industriais do Reino Unido, Espanha, Finlândia, Alemanha e Suécia.



Figura 6: Aeronave Não Tripulada Antex-M na Base Aérea 1, em Sintra

- ✓ O projecto *Protection of European Borders and Seas Through the Intelligent Use of Surveillance* (PERSEUS), elaborado pela Força Aérea e pelo Instituto de Novas Tecnologias em resposta a um concurso público no âmbito do Sétimo Programa-Quadro da Comunidade Europeia, foi aprovado pela Comissão Europeia em Março de 2010. No projecto Perseus (2011-14) a Força Aérea é responsável pelo desenvolvimento de conceitos de vigilância marítima e pela demonstração de novas ferramentas de monitorização de longo alcance

em plataformas aéreas não tripuladas até 150 kg de peso máximo (Figura 6). Para além da Academia da Força Aérea, o projecto PERSEUS, liderado pela INDRA, envolve a elite aeronáutica europeia, nele representada pela EADS, pela Saab e pela Boeing Europa, só para citar os mais conhecidos. O projecto Perseus, com a duração de três anos, tem um orçamento global de 37 milhões de euros.

- ✓ Projecto *Fully-Converged Quintuple-Play Integrated Optical-Wireless Access Architectures* (2009-14) do sétimo programa quadro (FP7-ICT-2009-4-249142) que visa a integração de comunicações rádio-ópticas de maior alcance. Neste projecto participam a *Corning, Das Photonics*, HTW-Dresden, Instituto de Telecomunicações, Portugal Telecom Inovação, Thales, *Universidad Politécnica de Valencia, University of Essex* e o *Wroclawskie Centrum Badan Eit*. Desde há uma década que a FAP, consciente da importância dos modernos sistemas de comunicação ópticos a nível nacional, e muito especialmente a nível militar, tem vindo a desenvolver a sua capacidade laboratorial neste domínio, tendo em vista dar suporte, às actividades normais de ensino, de actualização e formação contínua bem como de investigação.

### 3. CONCLUSÃO

Face ao ritmo alucinante a que surgem as novas armas tem-se reforçado a infra-estrutura tecnológica da Força Aérea. No entanto, face à exiguidade dos recursos, é importante a articulação dos diversos tipos de conhecimento que devem existir na própria Organização para transformar esses equipamentos em capacidades militares e desenvolver os conceitos e a doutrina que as integram, conferindo-lhes valor operacional.

Pretende-se, através do envolvimento do CIAFA, minimizar o investimento em investigação, desenvolvimento e experimentação de capacidades prioritárias de defesa ao mesmo tempo que se promove e maximiza, nessa área, o resultado do envolvimento da base tecnológica e industrial nacional. No CIAFA o rigoroso escrutínio, através de auditorias, internas e externas, Nacionais e estrangeiras, dos projectos, propostos ou já em curso, tem eliminado qualquer tentativa de “reinventar a roda”, ou seja têm-se eliminado de forma sistemática todos os programas de investigação e tecnologia que, além de não fazerem sentido, não tragam qualquer valor acrescentado ao esforço em curso, antes retumbando em perda de tempo e em desvio de recursos de outros tópicos possivelmente mais merecedores.

O Centro de Investigação, servido por infra-estruturas únicas no país para a actividade científica no sector aeroespacial, tem em curso trabalhos de I&DTI inseridos em programas específicos de apoio, conjuntamente com outros, de nível académico, que visam a pós-graduação (doutoramento) dos seus Oficiais, a maior parte dos quais desempenha funções docentes na Academia. Os actuais investigadores militares actuam como oficiais, competentes em ciência e tecnologia, capazes de compreender e de fornecerem um contexto imediato e operacional para concentrar essa tecnologia de modo a ter o máximo de utilidade.

Os projectos em curso no Centro de Investigação da Academia da Força Aérea são encarados



como uma oportunidade para valorizar economicamente o conhecimento adquirido. Actualmente, 80% do orçamento anual de funcionamento do CIAFA é já proveniente de financiamento externo à Força Aérea, obtido em ambiente concorrencial com as outras entidades do Sistema Científico e Tecnológico e da Base Industrial e Tecnológica.

Deste modo, nesta época de crescimento exponencial do conhecimento científico, a Academia da Força Aérea está a rodear-se dos argumentos humanos e tecnológicos adequados aos permanentes desafios, como forma consistente e sustentável de, hoje, ambicionarmos uma presença no futuro.

# Projecto de Integração do Sistema de Piloto Automático *MicroPilot* MP2028g e de Configuração e Monitorização de Superfícies de Controlo



Autor: Jorge Silva, Aspirante Aluno do Mestrado Integrado na especialidade de Pilotagem Aeronáutica  
Academia da Força Aérea, Sintra

Orientador: António Costa, Coronel Engenheiro Aeronáutico  
Director do Centro de Investigação da Academia da Força Aérea

Co-Orientador: Tiago Oliveira, Tenente Engenheiro Electrotécnico  
Investigador do Centro de Investigação da Academia da Força Aérea

**Resumo.** Os *Unmanned Aircraft System* (UAS) têm vindo a ganhar relevância nos diversos cenários operacionais sejam eles com característica militar ou unicamente civil. O Projecto de Investigação e Tecnologia em Veículos Aéreos Não Tripulados (PITVANT), que está a decorrer na Academia da Força Aérea (AFA) é o despertar do interesse da Força Aérea Portuguesa (FAP) nas capacidades deste potencial tipo de sistema de armas. Presentemente estão a ser desenvolvidas várias plataformas não tripuladas as quais para se tornarem operativas necessitam de ter a bordo um sistema de piloto automático que actue tomando em conta determinados parâmetros de funcionamento e de localização, geográfica da aeronave, mas também integre informação proveniente da configuração do UAV, designadamente das suas superfícies de controlo. O presente projecto concretiza o desenvolvimento, integração e teste laboratorial de um conjunto de componentes que facilitam a operação/configuração do piloto automático, permitindo assim a prazo, no âmbito do referido projecto de investigação poder operar um UAV com tal capacidade operacional. Adicionalmente, também no âmbito deste projecto, apresenta-se a o projecto de integração de um sistema de aquisição de dados para configuração e monitorização das superfícies de controlo das plataformas actualmente em uso no âmbito do PITVANT.

**Palavras Chave:** *Unmanned Aircraft System*; Piloto automático; Sistema de Aquisição dos Ângulos das Superfícies de Controlo; Transdutor.

## 1. INTRODUÇÃO

O presente artigo descreve os resultados alcançados com a realização de um sub-projecto de investigação efectuado no âmbito do projecto de investigação PITVANT, que decorre sob os auspícios de numa parceria da Academia da Força Aérea com a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).

Neste sentido, esta iniciativa responde a necessidades específicas de desenvolvimento de aeronaves não tripuladas, conhecidas pela sigla UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), procurando, por um lado, integrar numa única célula um piloto automático e, por outro, desenvolver um sistema de configuração e monitorização da deflexão das superfícies de controlo das aeronaves.

A integração do piloto automático e o desenvolvimento do sistema de monitorização e configuração das superfícies de controlo são elementos chave para a concretização de um UAV capaz de realizar missões de interesse nacional. Sem os referidos sistemas, o processo de comando e controlo dos meios aéreos do PITVANT quer no solo quer em voo seria incompleto.

Os próximos parágrafos descrevem de forma global as actividades de engenharia, de fabricação e de teste que foram realizadas de modo a se concretizar os dois objectivos deste estudo.

## 2. INTEGRAÇÃO DO PILOTO AUTOMÁTICO *MICROPILOT*

A primeira parte deste trabalho foi sobretudo dedicada à integração do piloto automático *MicroPilot*. Apesar de simples, a preparação da aeronave para operação com este piloto automático era até então bastante morosa, dada a quantidade de cablagem “solta” no interior da fuselagem.

O projecto consistiu na implementação de uma unidade de suporte para acomodar o *MicroPilot*, condensando todas as ligações que é necessário realizar (servo-comandos, receptor, *modem*, etc) numa ficha única (*socket*), facilitando desta forma a sua integração nas aeronaves. Neste âmbito, as secções seguintes apresentam as diferentes fases deste trabalho, que passaram pelo estudo conceptual da unidade de suporte; desenho dos circuitos impressos para integração dos diversos componentes; fabrico da unidade de suporte e integração electrónica (e mecânica) de todos os componentes no seu interior; finalmente, a validação experimental do trabalho realizado.

## 2.1 Piloto automático *MicroPilot* – descrição geral

O *MicroPilot* modelo MP2028g (ver figura 1) é um piloto automático adquirido pela AFA constituído pelos seguintes componentes:

- Modem MHX2400;
- *Altímetro ultra-sónico*;
- Unidade GPS (*embedded*);
- Bússola;
- *Conversor analógico-digital*;
- *ServoBoard* (placa de ligação entre o *MicroPilot* e os servo-comandos);
- Cablagens eléctricas.



Figura 1: Componentes do *MicroPilot*

## 2.2 Requisitos da integração do sistema *MicroPilot*

Dadas as diferentes aeronaves utilizadas no projecto PITVANT, decidiu-se projectar duas unidades de suporte para integrar o sistema *MicroPilot*, uma para a Asa Voadora e a outra a instalar na aeronave ANTEX-M X02.

Depois de identificados os limites geométricos em ambas as aeronaves, que condicionam a implantação da unidade suporte, concluiu-se que para a asa voadora os limites são a própria estrutura da aeronave (figura 2), enquanto para a versão ANTEX-M X02 os limites são a TATUI (elemento estrutural onde se encontram todos os componentes electrónicos de bordo - figura 3).

Um dos principais critérios para o projecto do dimensionamento das células para acomodarem todos os componentes do *MicroPilot* necessários ao voo foi as dimensões do piloto automático *Piccolo SL* (para a Asa Voadora) e o piloto automático *Piccolo II* [1] (para o ANTEX-M X02).

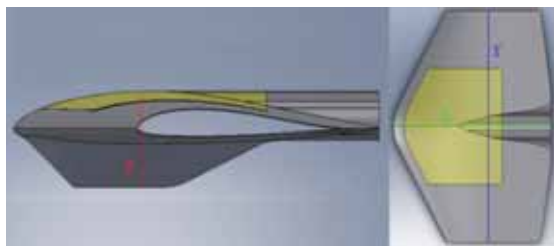


Figura 2: Estrutura da Asa Voadora



Figura 3: TATUI

### 2.3 Diagramas eléctricos (*wiring diagrams*)

Para se fixar os componentes do sistema *MicroPilot* na unidade de suporte optou-se por se integrar uma ficha de 50 pinos, de modo a obter-se para o exterior todas as ligações dos diversos componentes. Para facilitar a integração dos componentes do *MicroPilot* na caixa de suporte, optou-se por eliminar toda a cablagem do sistema substituindo-a por circuitos impressos. Para tal, foi necessário fazer o levantamento dos diagramas eléctricos do sistema e desenhar os respectivos circuitos impressos, tendo em conta as limitações dimensionais dos mesmos (secção 2.4).

### 2.4 Projecto em Ambiente Virtual – Unidades de Suporte e Circuitos Impressos

As unidades de suporte do sistema *MicroPilot* foram projectadas com recurso ao *software SOLIDWORKS 2010*, sendo constituídas em três componentes principais, a saber, estrutura (caixa), tampa e o circuito impresso.

Cada um dos suportes do sistema *MicroPilot* adoptou designação individualizada conforme o UAV de destino, i.e., MPII (figura 4) para ANTEX-M X02; e MPFW (figura 5) para a Asa Voadora.



Figura 4: Concepção virtual MPII

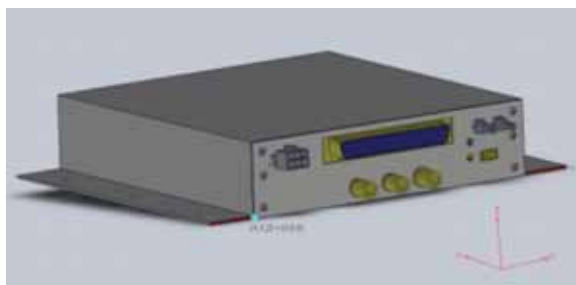


Figura 5: Concepção virtual MPFW

Os desenhos dos circuitos impressos foram realizados recorrendo ao *software PROTEL DXP trial version* [2]. Nos circuitos impressos projectados foram ainda integrados três sistemas:

- Uma unidade de Comunicação USB 2.0 através da integração de um circuito conversor USB-RS232;
- Um comutador com a finalidade de seleccionar o tipo de comunicação que está a ser realizada com o *MicroPilot*: modem ou USB;
- Uma unidade *ServoBoard* destinada a reduzir o volume das caixas de suporte.

No projecto dos circuitos impressos utilizaram-se técnicas específicas com a finalidade de reduzir as interferências electromagnéticas, tais como, criando ligações à terra.

Depois de realizados testes de verificação, os circuitos impressos projectados foram acoplados dentro da caixa construída MPII, fabricada em fibra de vidro-E (figura 6).

A montagem experimental da versão MPII incluiu a soldadura dos componentes electrónicos nos circuitos impressos, a inserção dos componentes do *MicroPilot* nos circuitos impressos (figura 7) e integração dos circuitos impressos dentro da caixa (figura 8).



Figura 6: Caixas construídas



Figura 7: Circuitos impressos montados



Figura 8: Sistema integrado MPII

## 2.5 Validação do Sistema Projectado

Os testes realizados tiveram por objectivo submeter os componentes a um ambiente aproximado à realidade do voo, para que os resultados obtidos permitissem assegurar o correcto funcionamento do sistema *MicroPilot*.

Neste sentido, duas características foram avaliadas, a saber, o sistema eléctrico (com especial ênfase na identificação de possíveis interferências electromagnéticas) e a temperatura.

No que respeita à verificação eléctrica do sistema do suporte MPII, os componentes foram testados na sua forma isolada, sendo depois testados com os circuitos impressos, de modo a permitir a realização de um teste integrado.

Os testes consistiram em realizar comunicações com o piloto automático, via cabo USB e por modem. O sistema integrado comunicou com sucesso com o PC, o que permitiu realizar o perfil de testes para comparação das respostas da unidade MPII com a versão original adquirida pela AFA.

O teste de monitorização a temperatura no interior da unidade de suporte do sistema *MicroPilot* teve por finalidade verificar se a temperatura de operação do sistema integrado se mantinha dentro dos limites máximos da temperatura de operação. Para tanto, utilizaram-se dois termopares do tipo K, um colocado no interior e outro para o exterior.

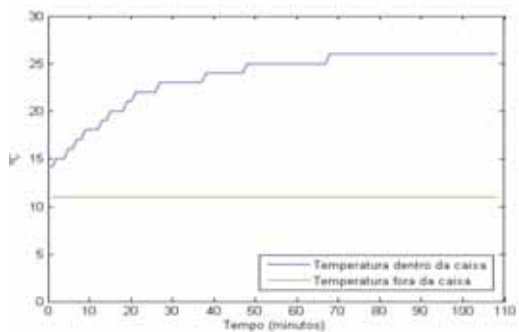


Figura 9: Gráfico da monitorização da temperatura

O resultado do teste está espelhado na figura 9, observando-se que a temperatura exterior (linha verde) se manteve constante ao longo do tempo (11°C); enquanto a temperatura interior (linha azul) do suporte atingiu 26°C.

Os valores das temperaturas representados neste ensaio estão dentro dos valores limite de operação do sistema (-25°C e +85°C).

Seguidamente avaliou-se o sistema *MicroPilot* de modo a verificar o comportamento do piloto automático MP11 quando sujeito a um perfil de testes específicos, os quais foram realizados comparando o *MicroPilot* modificado com uma unidade *MicroPilot* que funcionou como referência. O *MicroPilot* testado encontrava-se instalado na unidade de suporte (*encapsulado*), enquanto a unidade de referência estava no exterior, desta forma isenta de quaisquer interferências.

Cada Piloto Automático foi ligado a todos os componentes necessários ao voo, ou seja, a baterias, altímetro ultra-sónico, GPS, modem, servo-comandos e receptor.

O teste incluiu 4 fases durante 5 minutos, a saber:

- No 1<sup>a</sup> minuto realizou-se o teste ao altímetro ultra-sónico;
- O teste seguinte foi à unidade de giroscópios, ou seja, a partir do 3<sup>o</sup> minuto e em intervalos de 15 segundos rodou-se o piloto automático nos seus três eixos.
- No teste seguinte verificou-se o funcionamento dos servo-comandos, também em intervalos de 15 segundos e durante 2 minutos tendo-se actuado sobre os servo-comandos da aeronave através do emissor de controlo remoto;
- Por fim realizou-se o teste à tomada de pressão total para se verificar se existia medição de velocidade.

O perfil de testes realizado está representado na figura 10, tendo a duração de cinco minutos.

A aquisição dos dados dos testes foi feita por cabo através do *software HYPERTERMINAL* [3], o que permitiu comparar os resultados alcançados com o *MicroPilot* na versão integrada com o equipamento de referência.

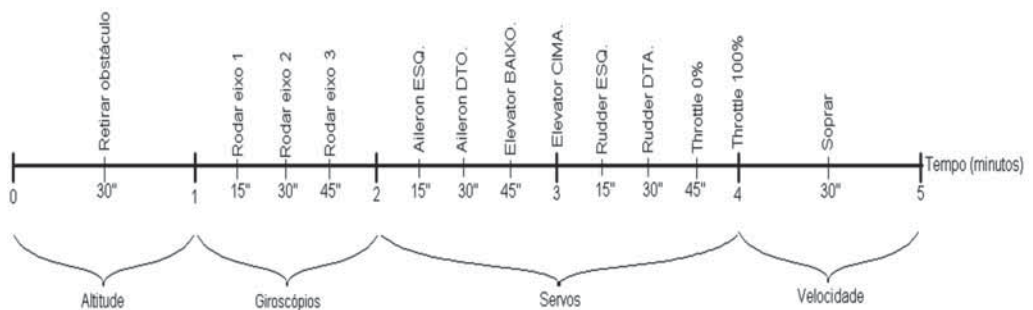


Figura 10: Perfil de testes

Quanto ao tratamento dos dados, recorreu-se ao *software MATLAB* em conjunto com o *HYPERTERMINAL* permitindo assim comparar ambas as monitorizações.

Uma vez concluídos os vários perfis de teste, foi ainda necessário validar os sinais recebidos pelo receptor GPS e as comunicações por modem.

O teste realizado recorreu ao software *LOGVIEW* [4], tendo consistido na realização de deslocação ao nível do solo com o piloto automático completamente instalado. A comunicação com o PC foi estabelecida por modem. A aquisição de dados provenientes do GPS confirmou o seu correcto funcionamento.

Os resultados alcançados com o sistema *MicroPilot* integrado na unidade MP11 permitiram confirmar o seu correcto funcionamento, validando o trabalho desenvolvido.

### 3. SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO DA DEFLEXÃO DAS SUPERFÍCIES DE CONTROLO

Para além do piloto automático *MicroPilot* (sobre o qual incidiu a primeira parte deste projecto) a AFA possui também uma unidade equivalente, denominada *Piccolo*, caracterizando--se como sendo um piloto automático mais recente e avançado, sendo sobretudo vocacionado para missões com complexidade.

Até ao momento a configuração dos pilotos automáticos usados nas aeronaves incluía um processo que passava pelo registo manual e iterativo das diferentes ângulos de deflexão das várias superfícies de controlo (flaps, aileron, leme de direcção (*rudder*) e de profundidade (*elevator*)).

Como tal, o objectivo desta segunda parte do projecto consistiu no desenvolvimento de sub-sistema que realizasse a aquisição e tratamento de dados, permitindo recolher automaticamente informação da configuração (ler deflexão) das superfícies controlo.

Neste âmbito, as secções seguintes apresentam as diferentes fases deste trabalho, as quais incluíram, a selecção dos sensores de inclinação adequados às várias plataformas UAV utilizadas no projecto PITVANT; a concepção e a integração electrónica de circuitos impressos; o desenvolvimento de algoritmos de leitura e visualização do posicionamento das superfícies de controlo; e, finalmente, a validação experimental do sistema desenvolvido.

#### 3.1 Escolha do Sensor de Deflexão

Efectuada a pesquisa sobre quais os tipos de sensores capazes de recolher a deflexão em causa, a escolha recaiu sobre 3 tipos de sensores, i.e., "*Linear Variable Differential Transformer (LVDT)*" [5], o "*Rotary Variable Differential Transformer (RVDT)*" [6] e o "*Resolver*", tendo a escolha incidido sobre o *Resolver*, R11X-L10/6 da ACMI - *Advanced Micro Controls Inc* [7], devido ter mais baixo custo. Foi este último sensor o utilizado no desenvolvimento deste trabalho.



### 3.2 Diagrama de Blocos

O sistema instalado para determinação da deflexão da superfícies de controlo permite ler até 16 sensores - ver figura 11. O sistema desenvolvido divide-se em dois circuitos impressos, o principal e o secundário, tendo capacidade para redundância através da comunicação série.

O circuito principal engloba todos os componentes necessários para a monitorização no solo e em voo. Por sua vez o circuito secundário representa o circuito de interface entre os respectivos sensores e o circuito principal. O princípio de funcionamento dos diagrama de blocos, está descrito na secção 3.3 e 3.4.

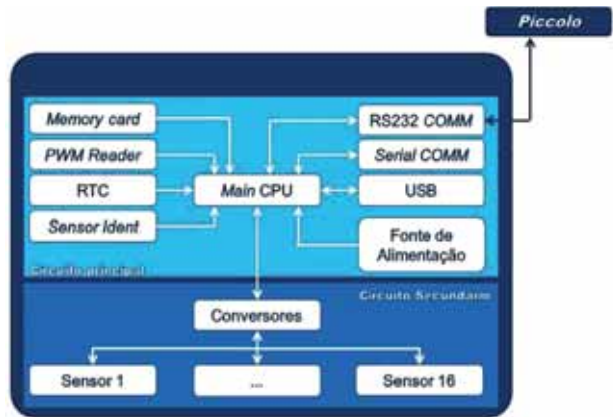


Figura 11: Diagrama de blocos

### 3.3 Integração da Unidade de Controlo da deflexão

As figuras 12 e 13 esquematizam os mecanismos de deflexão das superfícies de controlo, tendo sido designados de “aplicação directa” e “indirecta” (figura 12); e de transmissão por corrente/correia (figura 13). Para os vários tipos de movimento de deflexão foram deduzidas expressões matemáticas de modo a estabelecer a relação entre o movimento das superfícies de controlo do UAV e o movimento do servo-comandos actuadores.

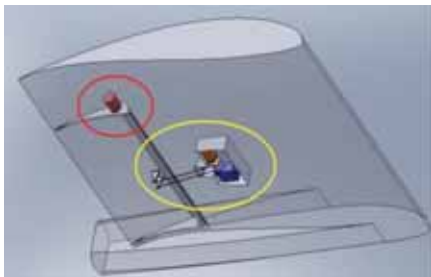


Figura 12: Aplicação directa (vermelho) e indirecta (amarelo)

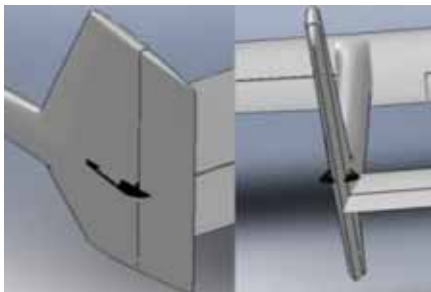


Figura 13: Transmissão por corrente/correia

De modo a implementar a unidade de recolha da deflexão das superfícies de controlo inclui o projecto e a manufactura de um circuito impresso capaz de integrar 16 portas digitais de entrada/saída para comunicação bi-direccional com os sensores colocados nas superfícies actuadoras (16) que captam o movimento, que interligam com o piloto automático *Piccolo* (este processo inclui uma unidade de conversão analógico-digital que permite a comunicação por porta tipo USB com um computador).

Uma vez que tal sistema vai operar em voo, a unidade de recolha de dados integra também uma fonte de alimentação, leitor PWM (*Pulse Width Modulation*) e RTC (*Real Time Clock*) e ainda 2 portas de comunicação de tipo RS232 com o piloto automático *Piccolo*.

O circuito impresso projectado tem dupla face com componentes implantados em modo SMD

- *Surface Mounted Devices* e em PTH - *Pin Through Hole*. A figura 14 representa o circuito principal e a figura 15 secundário.



Figura 14: Circuito principal

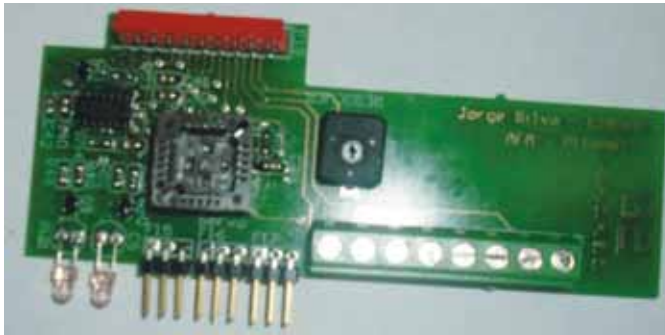


Figura 15: Circuito secundário

### 3.4 Modos de Funcionamento

A unidade tem 2 modos de funcionamento, i.e., o modo “solo” e modo de “voo”. Estes modos diferem entre si devido à forma operam no UAV, ou seja, no *modo solo* o sistema de controlo das superfícies “espera” por uma ordem para iniciar a monitorização dos diversos sensores; em *modo voo* monitoriza continuamente a posição das superfícies as quais são actuadas a partir de piloto automático ou de comando manual.

### 3.5 Teste do sistema de controlo da deflexão das superfícies

Os testes realizados validaram em laboratório o sistema desenvolvido. Para tanto, recorreu-se a uma Consola Virtual, a uma unidade geração de sinais; a um osciloscópio digital; a própria unidade desenvolvida (no fundo o sistema integrado); a uma fonte de alimentação; ao um gerador de PWM; e ao sensor *Resolver*.

Para melhor visualizar as ligações realizadas entre os diversos componentes, a figura 16 representa o diagrama de ligações enquanto a figura 17 representa a transmissão mecânica (que interliga o *Resolver* e os servo-comandos).

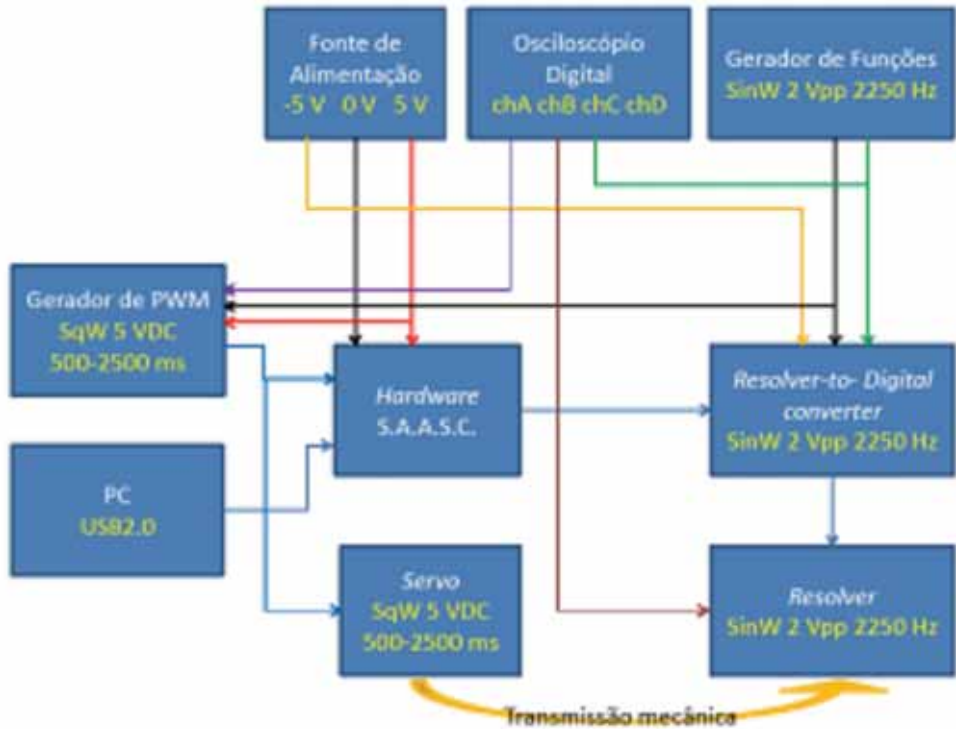


Figura 16: Diagrama de ligações para a realização do teste em laboratório

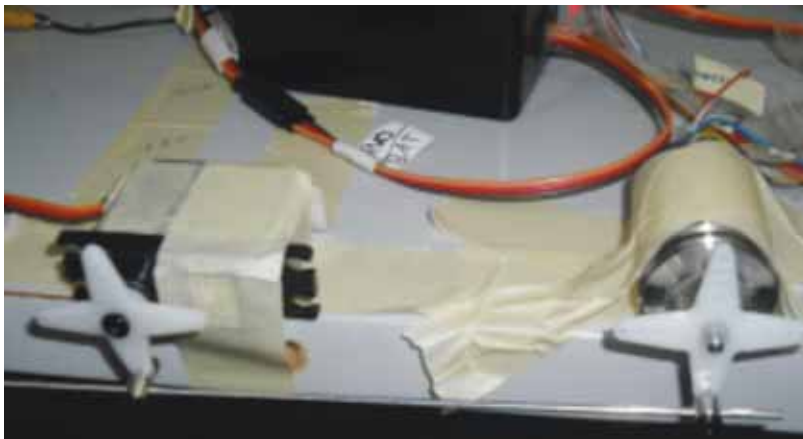


Figura 17: Transmissão mecânica

Através da Consola Virtual (denominada Consola UAV), criada para o efeito em programação C-SHARP, (ver aspecto na figura 18), monitorizou-se o teste em laboratório com o qual se pretendeu verificar a capacidade medição da posição do sensor *Resolver* e ainda o protocolo de comunicação entre o *hardware* e a Consola Virtual.

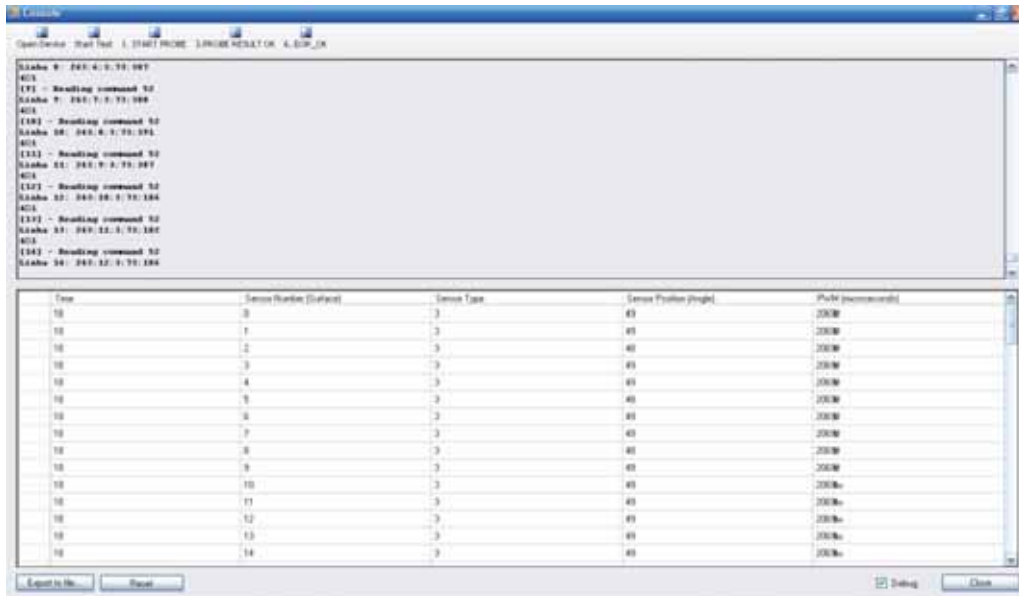


Figura 18: Resultados do teste em laboratório no software “Consola UAV”

O resultado do teste laboratorial permitiu validar os algoritmos desenvolvidos os quais permitiram verificar que a leitura dos ângulos de deflexão das superfícies de controlo dos UAV eram correctas, em ambas os sentidos de comunicação, ou seja, quando deflectidas autonomamente e quando actuadas pelos servo-comandos.

#### 4. CONCLUSÃO

Inserido no âmbito do PITVANT o presente artigo descreve os projectos de integração do sistema de piloto automático denominado *MicroPilot* e de uma unidade de configuração e monitorização dos ângulos de deflexão de superfícies de controlo de UAV.

Estes dois sistemas, embora aparentemente independentes, constituem-se como avanços essenciais que irão permitir aos UAV que resultarão do projecto PITVANT continuar a operar de forma mais eficaz com o piloto automático *MicroPilot*.

Paralelamente, o sistema de aquisição de dados desenvolvido irá facilitar o processo de parametrização do piloto automático *Piccolo*, permitindo a introdução de dados relativos à configuração das superfícies de voo de forma expedita e precisa, ficando assim com capacidade para monitorizar em voo a deflexão de *flaps*, *ailerons* e lemes de direcção e de profundidade.

O passo seguinte que decorre deste projecto é naturalmente a realização de ensaios voo, os quais permitirão validar a capacidade do piloto automático integrado (e do sistema de monitorização da deflexão das superfícies de controlo) e assim realizar de forma correcta a respectiva missão, e dessa maneira consolidar a possibilidade de homologação dos UAV como plataforma aérea eficaz.

## 5. BIBLIOGRAFIA E SITIOS INTERNET

- [1] CLOUD CAP TECHNOLOGY – “**Piccolo User’s Guide**”. Cloud Cap: Hood River, 2009.
- [2] **SOFTWARE INFORMER**, “Protel DXP - 30 Days Trial Version”. SOFTWARE INFORMER. <http://protel-dxp-30-day-trial-version.software.informer.com/>  
Consultado em 30 de Agosto de 2010, 16h00.
- [3] *MicroPilot* – “**MicroPilot Reports in HyperTerminal**”. Canada: *MicroPilot*, 2007.
- [4] *MicroPilot* – “**MP LogViewer User’s Guide**”. Canada: *MicroPilot*, 2007.
- [5] Macro Sensors, “**Tutorial - What is an LVDT?**”. Macro Sensors Division of Howard A. Schaevitz Technologies, INC. [http://macrosensors.net/ms-lvdt{\\\_}faq-tutorial.html](http://macrosensors.net/ms-lvdt{\_}faq-tutorial.html) Consultado em 15 de Junho de 2010, 15h30.
- [6] ACTIVE SENSORS, “**How does a RVDT work**”. Active Sensors. <http://www.activesensors.com/rvdtworkings> Consultado em 10 de Abril de 2010, 17h00.
- [7] ACMI, “**R11 - size 11 Brushless Resolver Sensors**”. ACMI, <http://www.amci.com/resolvers/size-11-brushless-resolvers.asp> Consultado em 16 Fevereiro de 2010.

# Identificação e Reconhecimento de Objectos em Imagens de Vídeo Aéreas



Autor: Ricardo Pagaimo, Alferes Aluno do Mestrado Integrado na especialidade de Engenharia Electrotécnica  
Academia da Força Aérea, Sintra

Orientador: Professor Doutor André Marçal  
Faculdade de Ciências, Departamento de Matemática, Universidade do Porto, Porto

**Resumo.** *Este artigo descreve um método de detecção de alvos em movimento tendo por base uma sequência de imagens capturadas por uma câmara instalada a bordo de uma aeronave UAV. A detecção de alvo móvel é uma fase importante para ser posteriormente seguido pela identificação e reconhecimento de destino ou pelo rastreamento de alvos.*

*Em termos gerais, este trabalho inclui transformações geométricas inerentes à transição de uma imagem a outra e depois associado a um processo de subtração de objectos entre imagem transformada, a fim de extrair os objectos que não são eliminados pela diferença entre as imagens.*

*Os vários processos para a resolução deste método não são triviais, devido fundamentalmente à má qualidade de imagens capturadas, e à possível presença de ruído, entre outros factores. Neste contexto, é fundamental a realização de um adequado pré-processamento para que a detecção possa ser feita de uma maneira eficiente e computacionalmente rápida, para assim implementar o seguimento de alvos em tempo-real. Actualmente, existem vários métodos para detecção de alvos móveis com base no fluxo óptico, mas tem algumas limitações, em particular, só operam com tons de cinza, sendo incapazes de calcular de forma eficaz e em pouco tempo o fluxo em todos os pontos e numa sequência de vídeo.*

**Palavras chave:** alvos, reconhecimento,

## 1. INTRODUÇÃO

O processamento de imagem é a forma de processamento de sinal para o qual a entrada é uma imagem, como por exemplo uma fotografia, e a saída tanto pode ser uma imagem como um conjunto de características ou parâmetros relacionados com a imagem. A maioria das técnicas de processamento de imagem envolve o tratamento da imagem como um sinal bidimensional e a aplicação das técnicas padrão de processamento de sinais, mas adaptadas ao mundo a duas dimensões.

O processamento de imagens digitais está primariamente relacionado com a extracção da informação útil das imagens. Idealmente, este trabalho é feito pelos computadores, com pouca ou nenhuma intervenção humana. O conhecimento a nível de conceitos como imagem ([1], [2] e [3]); ruído ([4] e [5]); pontos de interesse ([6]); correlação ([7]); transformações geométricas ([2] e [8]); operações morfológicas ([9]) e movimento relativo ([10] e [11]) são importantes para o entendimento deste trabalho.

A detecção de entidades activas em cenas de vídeo tem sido um dos temas mais estudados na visão computadorizada. Entidades activas são as regiões em primeiro plano numa situação de fundo estável. Normalmente correspondem a pessoas, veículos ou objectos que se movem sobre elementos estáticos do ambiente. Assim, as áreas de actividade concordam com as regiões de interesse em várias aplicações, tais como vigilância automática, seguimento dum alvo, modelagem do comportamento humano, vídeo-conferência imersiva, detecção e reconhecimento de objectos, entre outros. Um grande número de aplicações tem motivado um elevado número de trabalhos de pesquisa, que conseqüentemente conduziu a muitas conquistas significativas.

## 2. OBJECTIVO

Desenvolver um algoritmo para aplicação num sistema UAV que utilize a informação fornecida pela câmara a bordo da aeronave e faça um pré-processamento das imagens adquiridas de modo a fazer a detecção de objectos em movimento.

## 3. METODOLOGIA

### a) Visão Global

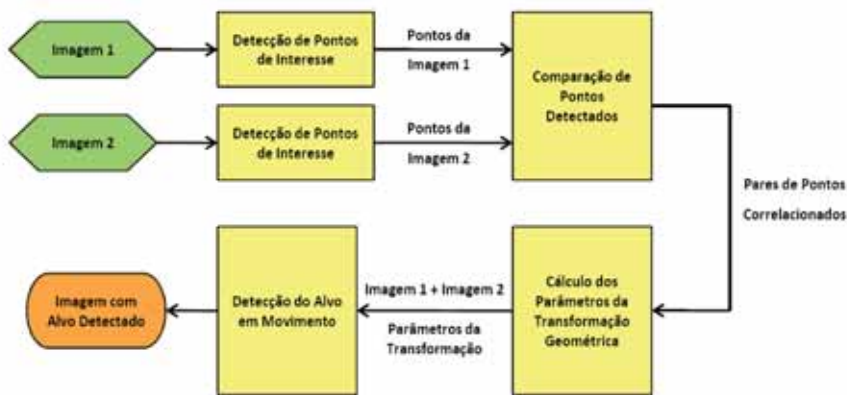


Figura 1: Esquema geral do funcionamento do projecto

É importante fazer uma abordagem inicial, dando uma visão geral do desenvolvimento deste projecto, enumerando as várias fases, antes de partir para uma análise mais detalhada de cada um dos métodos adoptados ao longo do trabalho, de modo a obter uma melhor compreensão do mesmo. A divisão, quer conceptual quer a nível do algoritmo, em várias fases permite não só uma melhor organização e procedimento na execução, como também facilita nas correcções das anomalias que possam surgir.

Na figura 1 são visíveis as várias fases em que foi dividido o projecto.

O projecto está estruturado da seguinte forma:

1. Extração de pontos de interesse nas duas imagens. São analisadas duas imagens, captadas uma a seguir à outra e com um curto intervalo de tempo entre elas. Uma vez que a taxa de aquisição de vídeo é alta, existe uma elevada percentagem de área comum entre imagens consecutivas, e portanto, se o método utilizado para a extração de pontos de interesse for igual para as duas então haverá muitos pontos detectados em comum nas duas imagens;
2. Comparação entre pontos detectados através da correlação em 2D. Os pontos de interesse detectados nas duas imagens são comparados com o intuito de encontrar vários pontos de interesse comuns às duas imagens. Os pontos admitidos para a fase seguinte são os que têm um coeficiente de correlação maior que um determinado limiar;



3. Cálculo dos parâmetros da transformação geométrica entre as duas imagens. Uma vez que a câmara tem velocidade relativa, é necessário fazer uma transformação geométrica que corrige a alteração duma imagem relativamente à outra. Este cálculo é feito através dos pontos comuns às duas imagens;
4. Detecção do alvo em movimento. Conhecida a transformação entre as imagens, segue-se a identificação das zonas da imagem que não estejam em conformidade com a transformação. A câmara tem uma determinada velocidade, que vai fazer com que o cenário tenha uma velocidade aparente na sequência de imagens e, portanto, estará sujeito a uma transformação de imagem para imagem. Mas os objectos em movimento não se vão reger pela mesma lei de transformação, uma vez que estes têm uma velocidade relativamente à câmara diferente do resto do cenário e, conseqüentemente, vão ter um comportamento diferente do fundo na transformação entre as imagens. Através da transformação geométrica entre as duas imagens e de algumas operações de processamento morfológico é extraído o alvo em movimento e devidamente marcado.

## b) Processos

### (1) Detecção de Pontos

O programa de extracção de pontos de interesse teve por ponto de partida trabalho intitulado “*Corner Detector Based on Global and Local Curvature Properties*”, elaborado por Xiao Chen He do Departamento de Ciência Computacional e Nelson H. C. Yung da Universidade de Hong Kong [6].

Não foi elaborado um detector de cantos de origem uma vez que não houve necessidade, nem era o objectivo deste trabalho, portanto optou-se por aproveitar um, já concebido e integrá-lo no restante projecto. Os algoritmos tradicionais de uma única escala detectam cantos, considerando as suas propriedades locais e tanto podem falhar bons traços como podem detectar ruído ou cantos falsos. A filosofia do método proposto é utilizar propriedades de curvatura globais e locais, e equilibrar a sua influência na extracção de cantos. Com esta filosofia e com os problemas dos detectores de cantos tradicionais em mente, o detector de cantos foi proposto da seguinte maneira:

1. Detectar contornos usando os princípios do detector de contornos Canny para obter um mapa de contornos binário;
2. Extrair contornos como no método CSS (*Curvature Scale Spaces*);
3. Depois da extracção de contornos, calcular a curvatura a uma escala baixa para cada contorno de modo a manter os verdadeiros contornos, e considerar os máximos locais da curvatura absoluta como candidatos a cantos;
4. Calcular um limite adaptativamente de acordo com a curvatura média dentro de uma região. Os cantos redondos são removidos por comparação da curvatura dos cantos candidatos com o limiar de adaptação;
5. Com base numa região recalculada dinamicamente, avaliar os ângulos dos candidatos a cantos restantes para eliminar qualquer canto falso;
6. Finalmente, considerar os pontos terminais de contornos abertos e marcá-los como cantos, a não ser que estejam demasiado perto de outro canto.

## (2) Correlação de Pontos

Após a detecção dos pontos de interesse em cada uma das imagens, é preciso fazer a correspondência dos pontos entre as imagens. A finalidade é encontrar vários pontos comuns às duas imagens para, posteriormente, ser calculada a transformação entre eles. A correspondência é feita com base na correlação em 2D entre janelas de vários pixels. Estas janelas envolvem os pixels que estão associados aos pontos detectados.

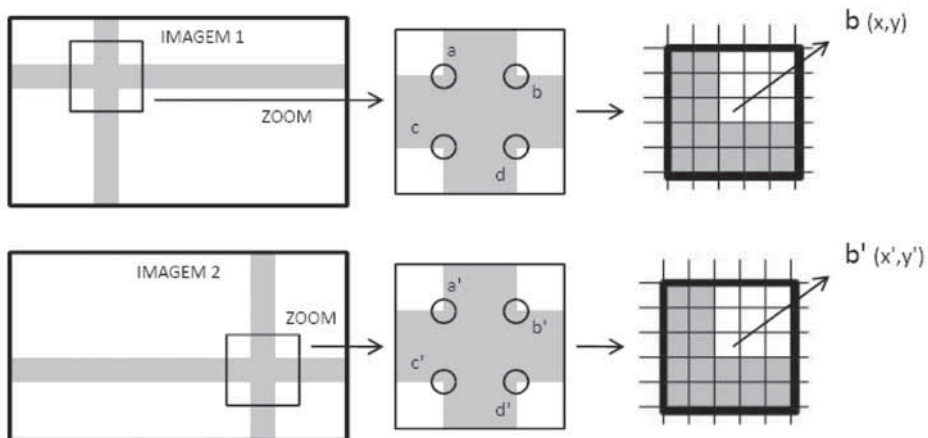


Figura 2: Grelha utilizada na correlação 2D

O passo inicial é comparar o primeiro ponto detectado da primeira imagem com o primeiro ponto detectado da segunda imagem. Estabelece-se uma janela de  $N \times N$  pixels, em que  $N$  é ímpar, centrada no pixel correspondente ao ponto detectado da primeira imagem e outra com igual resolução centrada no pixel correspondente ao ponto detectado na segunda imagem. Com as duas janelas de igual resolução é feita a correlação em 2D entre estes dois sinais. Desta operação matemática resulta um determinado coeficiente de correlação. Quanto mais próximo estiver o coeficiente de correlação de 1 mais correlacionados estarão os sinais, logo será predefinido um valor ligeiramente abaixo de 1 para que se garanta uma certa semelhança nos pontos bem correlacionados. O valor resultante da operação feita será comparado com este valor predefinido. Se o valor obtido for maior do que o valor predefinido, os pontos comparados, um de cada imagem, são aceites como um par de pontos válido. Se o valor do coeficiente de correlação for menor que o predefinido é admitido que não existe ligação entre o ponto da primeira imagem e o ponto da segunda imagem.

O passo seguinte será manter o primeiro ponto da primeira imagem e saltar para o segundo ponto detectado da segunda imagem e assim sucessivamente, até ao último ponto da segunda imagem. Após a comparação entre o primeiro ponto detectado da primeira imagem e todos os outros pontos detectados da segunda imagem, irá comparar-se o segundo ponto detectado da primeira imagem com todos os pontos detectados da segunda imagem e assim sucessivamente até todos os pontos terem sido comparados. Cada ponto detectado na primeira imagem é comparado com todos os pontos detectados da segunda imagem uma vez que um bom correspondente dum

ponto na primeira imagem pode ser qualquer um dos detectados na segunda, daí a necessidade de comparar todos os pontos da primeira imagem com os da segunda.

Estes pares de pontos, um de cada imagem, foram submetidos a um determinado critério de avaliação para serem admitidos como pontos bem correlacionados. Mas bem correlacionados não significa que sejam bem correspondidos. Isto é, apesar de o coeficiente de correlação obtido da correlação dos dois sinais ser elevado, o ponto da primeira imagem pode não ser o mesmo ponto na segunda imagem. Pode dar-se o caso de os pontos serem muito parecidos por serem os cantos de objectos iguais. Se existir o mesmo objecto repetido várias vezes na mesma imagem é normal que haja vários pontos mal correspondidos mas bem correlacionados.

Isto não se deve só à repetição do mesmo objecto numa imagem, mas também às imagens com muito ruído. Estes pontos bem correlacionados, mas mal correspondidos, designar-se-ão por falsos positivos, uma vez que o critério do coeficiente de correlação pode dar positivo e serem bem correlacionados mas serem falsamente correspondidos.

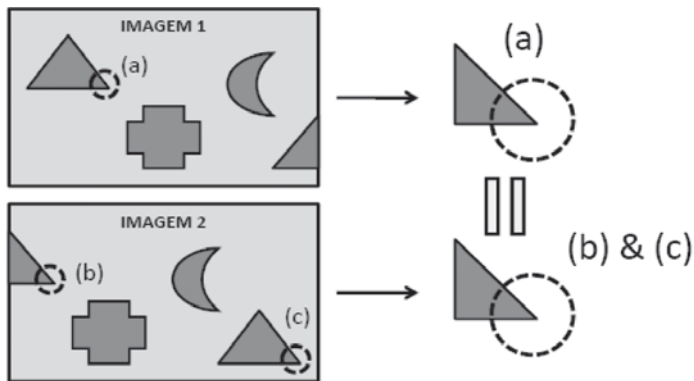


Figura 3: Representação de um falso positivo

Na figura 3 pode-se verificar esta situação, ou seja o canto circunscrito pela circunferência a tracejado do triângulo na imagem 1, pode ser bem correlacionado com qualquer um dos cantos circunscritos na imagem 2, embora o ponto correspondente do ponto (a) na imagem 2 seja o ponto (b). Na situação em que o ponto (a) é correlacionado com o ponto (c) este par de pontos é considerado como falso positivo.

Assim como podem existir estes pontos no conjunto de pontos que foram bem correlacionados também se pode dar o contrário, isto é, existirem pontos bem correspondidos mas serem mal correlacionados e por isso refutados. Este fenómeno pode ocorrer devido à presença de ruído, à diferença de luminosidade ou a um elevado grau de rotação num objecto da primeira para a segunda imagem.

### (3) Cálculo dos Parâmetros da Transformação

O cálculo dos parâmetros da transformação geométrica entre as duas imagens é uma fase importante do processo. O conhecimento da transformação que reflecte a passagem duma imagem para a outra permite ter controlo da lei de transformação entre imagens.

Nesta fase, já com os pontos correlacionados e com alguma álgebra matricial, são determinados os parâmetros que definem a transformação geométrica inerente às imagens em análise. Devido à aerodinâmica e instabilidade de voo do UAV pode acontecer que a câmara sofra alguma turbulência ou algum desvio e em vez de a transformação entre imagens ser uma simples transformação linear como uma translação, esta possa admitir rotações e outras deformações. Trata-se de um ponto considerável devido ao número de pontos precisos para calcular determinadas transformações. Enquanto para uma simples translação de imagem chegaria um único ponto de ligação, para determinar o deslocamento em  $x$  e em  $y$  numa transformação afim são necessários três pontos de ligação que não podem ser colineares.

Cada ponto de ligação será representado pelas suas coordenadas na primeira imagem por  $(x, y)$  e pelas suas coordenadas na segunda imagem  $(x', y')$ . Os parâmetros da transformação a serem calculados são seis, uma vez que a transformação afim tem seis graus de liberdade e são designados por  $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ . Os parâmetros  $a_0$  e  $a_3$ , estão associados à translação enquanto  $a_1, a_2, a_4$  e  $a_5$  estão associados à rotação e a um factor de escala. Assim sendo, pode-se fazer corresponder cada ponto da primeira imagem a um ponto na segunda através do seguinte sistema de equações:

$$\begin{cases} x' = a_0 + a_1x + a_2y \\ y' = a_3 + a_4x + a_5y \end{cases}$$

Como são seis incógnitas,  $a_0$  a  $a_5$ , a serem desvendadas, será preciso um sistema com seis equações para que haja uma única solução para as seis incógnitas. Isto é possível com três pontos uma vez que cada ponto origina duas equações devido às suas coordenadas, portanto três pontos permitirão um sistema de seis equações do seguinte modo:

$$\begin{cases} x'_1 = a_0 + a_1x_1 + a_2y_1 \\ y'_1 = a_3 + a_4x_1 + a_5y_1 \\ x'_2 = a_0 + a_1x_2 + a_2y_2 \\ y'_2 = a_3 + a_4x_2 + a_5y_2 \\ x'_3 = a_0 + a_1x_3 + a_2y_3 \\ y'_3 = a_3 + a_4x_3 + a_5y_3 \end{cases}$$

Para facilitar a compreensão e os cálculos será adoptada a notação matricial. Se admitirmos a matriz  $\mathbf{A}$  como a matriz dos pontos da primeira imagem, a matriz  $\mathbf{B}$  como a matriz dos pontos da segunda imagem e a matriz  $\mathbf{X}$  como a matriz das incógnitas, ou seja, dos parâmetros da transformada tem-se:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x_3 & y_3 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} x'_1 \\ y'_1 \\ x'_2 \\ y'_2 \\ x'_3 \\ y'_3 \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{bmatrix}$$

Desta notação resulta:  $\mathbf{B} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{X}$

Para calcular os parâmetros é preciso isolar as incógnitas, ou seja, a matriz  $\mathbf{X}$ , de modo a ser possível resolver a equação matricial:  $\mathbf{X} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{B}$

Como já visto anteriormente, existe a possibilidade de haver nos pontos considerados como bem correlacionados a presença de pontos mal correspondidos, os designados por falsos positivos. Estes são um potencial problema se um ou mais entrarem no conjunto de três pontos escolhidos para o cálculo dos parâmetros da transformação. Para eliminar este problema, e uma vez que são detectados mais do que três pontos, o método utilizado baseia-se em considerar todos os pontos detectados e bem correlacionados e utilizá-los na totalidade para obter os parâmetros da transformação. Assim sendo, apesar da elevada percentagem de pontos bem correspondidos, como existem alguns pontos falsos positivos o resultado do cálculo dos parâmetros vai ser uma aproximação aos parâmetros reais porque estes pontos mal correspondidos vão criar desvios nos parâmetros originais.

O equacionar deste método passa pela colocação de todas as coordenadas dos pontos correlacionados da primeira imagem e preencher a matriz  $\mathbf{A}$ . A matriz  $\mathbf{B}$  é preenchida com as coordenadas de todos os pontos da segunda imagem correspondentes à primeira, ordenadamente, a saber:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x_2 & y_2 \\ \vdots & & \ddots & & \vdots & \\ 1 & x_n & y_n & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x_n & y_n \end{bmatrix} \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} x'_1 \\ y'_1 \\ x'_2 \\ y'_2 \\ \vdots \\ x'_3 \\ y'_3 \end{bmatrix}$$

Em que  $\mathbf{n}$  é o número de pontos correlacionados,  $(\mathbf{x}, \mathbf{y})$  as coordenadas dum ponto da primeira imagem e  $(\mathbf{x}', \mathbf{y}')$  as coordenadas dum ponto da segunda imagem. Tem-se portanto uma matriz  $\mathbf{A}$  com dimensões  $\mathbf{n} \times \mathbf{6}$  e uma matriz  $\mathbf{B}$  com dimensões  $\mathbf{n} \times \mathbf{1}$ . Uma vez que a maioria dos pontos bem correlacionados estão bem correspondidos, ou seja, as coordenadas  $(\mathbf{x}_p, \mathbf{y}_p)$  e  $(\mathbf{x}'_p, \mathbf{y}'_p)$  são as coordenadas dum ponto  $\mathbf{p}$  na primeira e na segunda imagem respectivamente, então o resultado da operação para determinar  $\mathbf{X}$  será um vector  $\mathbf{1} \times \mathbf{6}$  com os parâmetros de  $\mathbf{a}_0$  a  $\mathbf{a}_5$  e que representam os parâmetros correspondentes à transformação da primeira para a segunda imagem. Estes parâmetros vão ter algum desvio dos parâmetros reais da transformação e algum grau de incerteza devido à presença dos falsos positivos.

#### (4) Selecção de Pontos

Devido aos pontos designados como falsos positivos, os parâmetros da transformação entre as imagens poderão não ser os mais exactos. É preciso conhecer os valores dos parâmetros da transformação o mais rigorosamente possível para, aquando da aplicação da transformação à primeira imagem, o resultado ser, como esperado, o mais parecido possível com a segunda imagem com excepção das zonas da imagem que têm movimento. Se não existir nenhum

objecto em movimento e se aplicarmos a transformação à primeira imagem o resultado será uma imagem exactamente igual à segunda, mas se existirem objectos em movimento na imagem eles não vão estar no mesmo sitio na imagem aquando da transformação e sofrerão a transformação mais o desvio feito pelo movimento próprio.

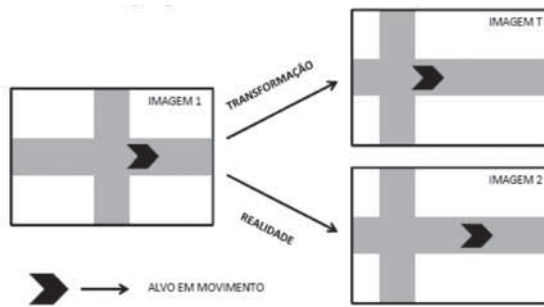


Figura 4: Visualização da transformação aplicada à primeira imagem e da situação real

Pode-se constatar na figura acima que se soubermos os parâmetros reais e aplicarmos a transformação à imagem 1 obtém-se a imagem transformada, imagem T, que é diferente da imagem 2. Esta não é exactamente a imagem 1 transformada porque o alvo em movimento deslocou-se. Foi preciso encontrar um método que permitisse achar os parâmetros da transformação o mais exactos possível para não perder detalhes na transformação entre as imagens.

Como esta falta de precisão dos parâmetros passa pelos pontos falsos positivos, o método consiste na eliminação destes pontos bem correlacionados mas mal correspondidos de modo a não serem criados os tais desvios e incertezas nos parâmetros da transformação.

O método baseia-se então em, uma vez calculados os parâmetros com todos os pontos bem correlacionados, proceder-se à análise destes mesmos pontos com a transformação obtida. Como a maioria dos pontos estão bem correspondidos, a transformação calculada estará muito próxima da real, portanto se todos os pontos forem analisados alguns deles, nomeadamente os falsos positivos, não irão satisfazer a lei de transformação porque estão mal correspondidos. Em termos matemáticos, uma vez obtidos os valores dos parâmetros  $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4$  e  $a_5$ , vão-se submeter todos os pontos correlacionados à condição:

$$\begin{cases} x' = a_0 + a_1x + a_2y \\ y' = a_3 + a_4x + a_5y \end{cases}$$

Os pontos que não satisfazem a condição, tolerados por um determinado desvio, são pontos que estão mal correspondidos, embora possa haver alguns que consigam satisfazer a condição. Apesar de estarem mal correspondidos, podem consegui-lo devido ao grau de incerteza do primeiro cálculo dos parâmetros e do desvio permitido para que o ponto seja admitido após analisado.

Com a nova selecção de pontos bem correlacionados e mais bem correspondidos, será feito novamente o cálculo dos parâmetros da transformação. Uma vez que já existem menos pontos falsos positivos e uma percentagem muito maior de pontos bem correspondidos estes novos parâmetros serão mais exactos e mais realistas quanto à transformação entre as imagens. Após

algumas iterações, em que em cada iteração a margem de tolerância para a aceitação dos pontos é reduzida, os parâmetros são os pretendidos para estabelecer a transformação exacta, uma vez que os pontos considerados para o cálculo dos parâmetros vão sendo mais bem seleccionados face à transformação obtida.

Este processo iterativo permite que os pontos bem correlacionados mas mal correspondidos sejam gradualmente retirados do conjunto de pontos bem correspondidos, para posteriormente serem determinados os parâmetros mais exactos.

### (5) Detecção do Alvo em Movimento

Após determinados os parâmetros da transformação, é aplicada à primeira imagem a transformação de modo a obter uma imagem semelhante à segunda. As imagens poderão não ser completamente iguais uma vez que a transformação pode não retratar realmente a transição entre imagens, mas mais do que isso, existe o movimento próprio do alvo a detectar que não se coaduna com a transformação entre imagens. O objecto em movimento não se rege pela mesma lei de transformação entre imagens uma vez que tem movimento próprio.

Seguidamente, com a primeira imagem transformada e com a segunda imagem, é determinada a imagem da diferença absoluta entre estas imagens. Nesta operação, as zonas comuns às duas imagens que estão bem sobrepostas serão anuladas enquanto as regiões que têm valores diferentes numa imagem para a outra vão obter valores diferentes de zero, correspondentes à diferença absoluta dos valores das imagens iniciais.

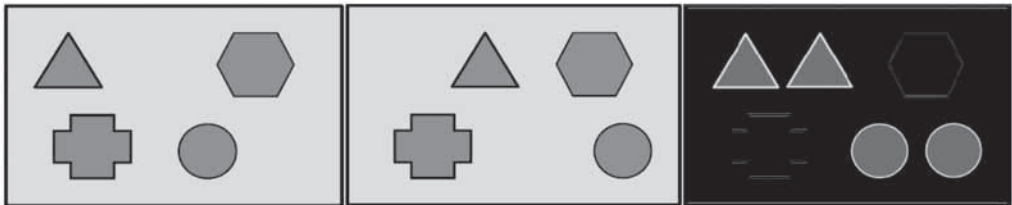


Figura 5: Diferença Absoluta

Os valores diferentes de zero na imagem correspondente à diferença absoluta, que não pertencem ao objecto em movimento mas sim ao mau alinhamento das imagens, são um potencial problema nesta fase do programa. Como em qualquer trabalho os *outliers* precisam de ser removidos ou atenuados para que não impeçam o bom desempenho do algoritmo.

Na operação retratada na figura acima é visível como até num simples exemplo existem estes *outliers*. Não só os pixéis do triângulo e do círculo têm valor diferente de zero como os das fronteiras das outras figuras também têm vários valores não nulos. O método utilizado para atenuar ou remover esta ocorrência é recorrer ao uso de operações morfológicas. O tratamento das imagens realiza-se através de operações morfológicas como dilatações, erosões, remoção de pixéis isolados entre outras, depois de se ter binarizado a imagem das diferenças absolutas. O procedimento para o tratamento morfológico é o seguinte:

1. É definido um determinado número de erosões, preferencialmente alto, de modo a remover todos os objectos da imagem binária;

2. Procede-se às erosões na imagem binária para remover as zonas com menor área;
3. Após algumas erosões utiliza-se uma operação para remover os pixéis isolados que possam estar espalhados pela imagem binária;
4. São feitas duas dilatações para expandir o tamanho das zonas não removidas;
5. É analisada a imagem binária, se esta não possuir nenhum objecto volta-se ao início do processo e redefine-se o número de erosões para um valor ligeiramente menor, repetindo-se o processo até que a imagem binária contenha um objecto não removido.

Este método permite garantir que só haja um objecto na imagem e que as restantes zonas sejam removidas. A extracção do objecto é feita através da determinação do centróide (centro geométrico) dos *labels* da imagem a preto e branco. Determinado o centróide na imagem das diferenças absolutas efectua-se a devida transformação do ponto para que se possam obter as coordenadas deste na primeira imagem transformada. Sabendo as coordenadas do centro geométrico da figura a detectar é construída uma janela envolvendo o objecto para fazer de máscara. Com uma máscara do alvo procede-se à procura do mesmo na primeira e na segunda imagem através da correlação cruzada normalizada em 2D.

#### 4. RESULTADOS

Numa missão teste do UAV foi instalada uma câmara para adquirir imagens aéreas e foi feito o seguimento dum alvo em movimento, com controlo humano e remoto da aeronave.

O vídeo, formado pela sequência de imagens, foi captado por uma câmara com pouca definição. Para além da falta de definição e focagem das imagens, existem muitos *frames* no vídeo que, devido ao movimento da aeronave e à sensibilidade dos circuitos eléctricos, estão de certa forma danificados, isto é, devido à sua má qualidade e ruído inerente não é conseguido qualquer tipo de processamento para se poder atingir o objectivo final que é a detecção do objecto em movimento.

Frames 250 e 260



Figura 6: Imagens originais

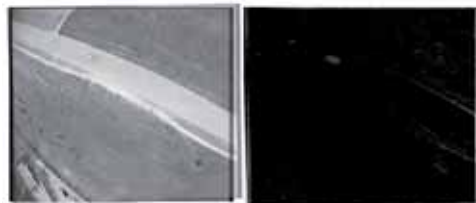


Figura 7: Pontos de interesse detectados



Figura 8: Saída da função visreg e diferença absoluta



Figura 9: Alvo detectado



## Frames 550 e 560



Figura 10: Imagens originais

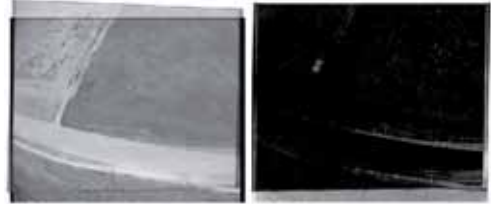


Figura 11: Pontos de interesse detectados



Figura 12: Saída da função visreg e diferença absoluta



Figura 13: Alvo detectado

## Frames 1255 e 1265



Figura 14: Imagens originais

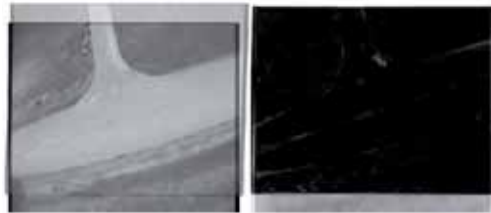


Figura 15: Pontos de interesse detectados



Figura 16: Saída da função visreg e diferença absoluta



Figura 17: Alvo detectado

Para além das imagens originais extraídas do vídeo é também possível visualizar as imagens com os pontos de interesse detectados, a saída da função *visreg* com outras sobrepostas, a diferença absoluta entre a primeira e segunda imagem e as imagens com o alvo em movimento detectado e assinalado.

## 5. CONCLUSÃO

O algoritmo deste trabalho está preparado para um determinado tipo de imagens, isto é, o tipo de fundo e a qualidade da imagem vídeo constituem dois factores determinantes no desempenho do algoritmo. Poder-se-ia optar por se tentar conceber um programa mais geral e que aceitasse

qualquer tipo de imagem, em qualquer tipo de cenário, mas assim perdia-se objectividade e eficácia no trabalho. Seria inconcebível construir um programa de detecção dum objecto em movimento para qualquer cenário e para qualquer tipo de qualidade das imagens de vídeo.

Quanto mais as dificuldades e os factores forem restringidos e limitados mais eficiente e objectiva se pode tornar a detecção. Este programa em particular foi simulado e estruturado em torno duma sequência de imagens captadas por uma câmara instalada a bordo de um UAV.

Os resultados das simulações feitas são satisfatórios, mas nem todos os frames do vídeo utilizado para testar o programa tiveram o mesmo sucesso. Em muitos deles, ou por falta de definição ou pela existência da forte componente da desfocagem devido ao movimento (*motion blur*) ou ao ruído, não foi possível a detecção do alvo em movimento. Existem alguns factores que condicionam a boa detecção nalgumas imagens e onde se poderia investir mais com o propósito de tornar a detecção mais eficaz e mais eficiente.

Exemplos destes factores são: o número de pontos de interesse detectados, o tipo de transformação utilizada para representação da transição duma imagem para a outra e o tratamento morfológico utilizado nas imagens das diferenças absolutas, de modo a eliminar os *outliers* e a destacar o alvo em movimento.

Quanto ao número de pontos detectados, estes estão em bom número em qualquer uma das imagens testadas. O problema coloca-se na fase de extracção dos pontos bem correspondidos: apesar de terem sido detectados alguns pontos, devido à falta de definição e da qualidade das imagens aquando da correlação entre pontos em alguns casos, não vão existir muitos pontos bem correspondidos como se pretenderia.

Quanto mais pontos bem correspondidos houver mais dispersos estarão pelas duas imagens e mais realista e precisa seria a transformação inerente à transição entre imagens. Relativamente ao tipo de transformação, a utilizada é a transformação afim. Esta desfruta do facto de possuir seis graus de liberdade e, por isso, serem precisos três pontos não colineares comuns às duas imagens para determinar os parâmetros da transformação.

O tipo de transformação constitui um importante factor devido ao mau alinhamento das imagens que se pode estabelecer, aquando da diferença absoluta entre estas. A transformação projectiva poderia melhorar a performance do algoritmo apesar de não ser a melhor de todas as transformações para esta situação.

O recurso a transformações polinomiais e mais complexas resolveria, possivelmente, o problema e proporcionaria uma transformação entre imagens de tal modo eficaz que ao proceder-se ao alinhamento das mesmas, através da transformação inerente à transição entre as duas imagens, estas perfariam na integra a sua boa sobreposição. Isto é fruto do elevado número de graus de liberdade destas transformações que resultam das várias distorções que a imagem pode ter, provocadas pelo movimento da aeronave.

A opção não foi adoptada uma vez que não se justificaria o emprego de tão elaborados métodos devido aos requisitos a nível de processamento que seriam necessários e dos requisitos a nível de pontos de ligação para satisfazer a determinação de tais transformações. Fica a observação dum aspecto onde se poderia melhorar, para uma maior eficiência do algoritmo e do programa da detecção, mas que não se justifica devido ao elevado nível de processamento implícito. Finalmente, o processamento morfológico é um dos casos mais problemáticos e

discutíveis do programa que pode ser feito de várias maneiras. O tratamento adoptado não é o melhor, mas foi o mais adequado por causa das simulações e experiências para as imagens testadas. Se for alterado o tipo de imagens para análise é esta a etapa que mais tem que ser revista e adaptada pela sua complexidade na detecção.

A mudança do tipo de imagens ou de cenários poderá não proporcionar os resultados pretendidos. Para que este potencial problema possa ser ultrapassado basta apenas alterar alguns parâmetros no próprio algoritmo que dizem respeito ao grau de exigência no número de pontos de interesse detectados e posteriormente a mudança de alguns parâmetros na etapa do tratamento morfológico da diferença absoluta entre imagens.

Mais importante do que a alteração dos parâmetros na parte dos pontos de interesse, será a mudança e escolha das funções no tratamento morfológico, pois este é determinante na eliminação ou aceitação de objectos para posteriormente ser feita a detecção do alvo pretendido. O tratamento morfológico é uma área mais sensível uma vez que precisa, previamente, duma análise humana do tipo de imagens a abordar para serem escolhidas as funções a utilizar no tratamento da imagem. Qualquer um dos outros processos está preparado para se adaptar aos vários tipos de imagens e cenários.

## 6. BIBLIOGRAFIA E SITIOS INTERNET

- [1] TORIWAKI, Junichiro; YOSHIDA, Hiroyuki - **Fundamentals of Three-Dimensional Digital Image Processing**. Springer, 2009.
- [2] MARQUES, Jorge S. - **Image Processing and Vision**. Instituto Superior Técnico / Instituto de Sistemas e Robótica, 2007. Disponível em: <http://users.isr.ist.utl.pt/~jsm/teaching/piv/folhas0708.pdf>
- [3] SEEMAN, Torsten - **Digital Image Processing using Local Segmentation**. School of Computer Science and Software Engineering – Monash University, 2002. Tese de Doutouramento
- [4] BOVIK, Alan C. - **The Essential Guide to Image Processing**. Elsevier, 2009.
- [5] QURESHI, Shehrzad - **Embedded Image Processing on the TMS320C6000™ DSP**. Springer, 2005.
- [6] HE, Xiao Chen; YUNG, Nelson H. C. - **Corner detector based on global and local curvature properties**. Optical Engineering, 47 (5), p. 057008-1 / 057008-12, 2008.
- [7] WEEKS, Michael - **Digital Signal Processing Using MATLAB and Wavelets**. Infinity Science Press, p. 115-117, 2007.
- [8] SZELISKI, Richard - **Computer Vision: Algorithms and Applications**. Springer, 2008.
- [9] SHIH, Frank Y. - **Image Processing and Pattern Recognition: Fundamentals and Techniques**. Wiley-IEEE Press 2010.
- [10] SERWAY, Raymond A.; MOSES, Clement J.; MOYER, Curt A. - **Modern Physics**. Thomson, 2005.
- [11] YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. - **University Physics with Modern Physics with Mastering Physics**. Addison-Wesley, 2008.
- [12] HE, Xiao Chen; YUNG, Nelson H. C. - **Curvature scale space corner detector with adaptive threshold and dynamic region of support**. Proceedings of International Conference on Pattern Recognition, p. 791-794, 2004.

**Stop Drill Technique  
on a Plate of C-130 Aircraft Skin:  
*A Computational and Experimental Study  
to Improve Fatigue Life***



Author: José Cardoso, Second Lieutenant, Student of the Aeronautical Engineering MSc course  
Portuguese Air Force Academy, Sintra, Portugal

Supervisor: Associate Professor Virginia Isabel Monteiro Nabais Infante  
Instituto Superior Técnico, Lisbon, Portugal

Co-supervisor: Bruno Serrano, First Lieutenant, Aeronautical Engineer, MSc  
Portuguese Air Force

**Abstract.** A simple and economic way to delay crack propagation is achieved by using the stop-drilling technique which involves drilling a hole on the crack tip to reduce stress concentration. This article presents the propagation of cracks and provides information on how the increasing of the diameter of the stop-drill improves crack initiation life in 2024-T3 aluminium alloy specimens used on C-130H aircraft skin. This was done with 2 different analyses: numerical and experimental. The simulation of the automatic crack propagation was done using a numerical method by combining ANSYS® and MATLAB®, together with several experimental fatigue tests, to validate the computational results. With the intention of predict the fatigue life of the stop-drill a Morrow relation was used. Results show good agreement between numerical and experimental results. Results indicate that fatigue life increases if the stop drill diameter is increased. When compared to the 2mm diameter stop-drill the results showed an improvement of 189% and 464% to 4mm and 6mm diameter stop-drill fatigue life, and the numerical results of 333% and 952%, respectively.

**Keywords:** fatigue, 2024-T3 aluminium, stop-drilling technique

## 1. INTRODUCTION

In aircraft companies in general and in the Portuguese Air Force (PtAF) some economical and expeditious methods can be applied to safely extend the component's fatigue life when a fatigue crack is observed in a component that cannot be replaced or repaired immediately. Among other fatigue life improvement methods, the stop-drilling technique (SDT) is a simple and economic way of retarding crack propagation by drilling a hole on the crack tip thus reducing the stress concentration. Despite the concept above, apparently simple to implement, information on SDT in terms of 2024-T3 aluminum alloy specimens, largely used on aircraft skin, needs further knowledge, namely in terms of the C-130 H, an aircraft intensively operated by the Portuguese Air Force.

### 1.1 Objective

The objective is to perform a study about crack propagation and the stop drilling method on 2024-T3 aluminum used on C130H aircraft, and improve the PtAF knowledge on crack repair methods.

In more detail, the purpose of the present document is to provide the results of the research conducted in terms of the crack propagation and how the increase the stop drill diameter improves crack initiation and propagation on the specimen.

To this end, a numerical method was applied to simulate automatic crack propagation by combining ANSYS® and MATLAB®, complemented with experimental fatigue tests to compare the results.

### 1.2 Fatigue overview

According to the American Society for Testing and Materials (ASTM) [1], fatigue is a local, permanent and progressive structural change that occurs in a material under a dynamic load in a specific location where cracks appear. Fatigue is the main cause of failure (80% to 90%) of all structural components under mechanical stresses, Branco [2].

Studies on Fatigue began in the early 19th century by Albert who published the first fatigue data namely on mine railways in 1837, Schutz [3]. The term fatigue was used for the first time in 1854 by Braithwaite. In 1858 and 1860, a German Railway Engineer, Wöhler, developed the fatigue life concept after dedicated studies done in train wagon axles. The fatigue was clearly born on the industrial revolution of the 19th century, Schutz [3]. Until the end of World War II the fatigue concept was mostly studied by English, Americans and Germans. In 1962, Paris put forward an contribution to fatigue study by suggesting a relation between propagation rate and stress intensity factor range, known as Paris's law.

In terms of fatigue, until the beginning of 1955 two different design concepts were applied in the aircraft design: the safe-life and fail-safe.

The *safe-life* design means that for a certain period of time, the component is safe to use without failing being repaired or replaced once it has reached the defined limit.

The *fail-safe* design means that the aircraft is not allowed to fly with a component fully "destroyed" (inoperative), but it can still fly safely with a cracked component. As a consequence of this method, it is then necessary to implement maintenance and inspection programmes applicable to cracked components.

In 1974 a new design concept was implemented by the United States Air Force, called *damage tolerance*, being developed due to the increase in aircraft accidents. This concept, still in use, assumes that the structural components always exhibit defects since manufacturing.

### 1.3 Parameters that influence fatigue

The fatigue process can be described in 4 phases: the nucleation of the crack, the microscopic growing of the crack, the propagation phase, and, in the end, the fracture of the material. Several parameters influence the fatigue process and the behaviour of the material:

- Component dimensions - The larger the component volume or area more probability of imperfections exist, thus more crack initiation points;
- Surface finishing - the crack initiation is more difficult with better surface finishing, meaning that the fatigue strength is larger;
- Load magnitude - It has a direct effect on material behaviour and on fatigue strength. An increase in the load magnitude causes the decrease of material fatigue strength;
- Stress concentration - The material fatigue strength is lesser in stress concentrated areas;
- Environment - Environmental conditions influence fatigue in a very significant way. Components operating in areas near the sea are prone to corrosion which, together stresses resulting from operation (inertial forces, aerodynamic forces. etc), may cause superficial crack and reduce fatigue strength. The temperature may also introduce thermal stresses in the material, which makes it an important consideration in material fatigue.

#### 1.4 Stop-drill and other fatigue crack retardation methods – review

According to Domazet [4] fatigue fracture is the cause of many structural failures. Fortunately, many fatigue failures exhibit a relatively long crack propagation period until final failure. Hence, the crack can be identified and one of these actions can be carried out:

- Replace the damaged structure or component;
- Reduce external loads and carefully control crack growth;
- Retard, stop or eliminate the crack.

Conventional repairs involving complete replacement can be time-consuming and expensive, and the reduction of service loads with existing cracks is questionable, so quick, simple and economical crack retardation methods seem to be the best option and the most used. Crack retardation, stop or elimination can be achieved by reducing crack tip stress intensity, by applying compressive residual stresses or by reducing crack tip stress concentration, Song [5]. The reduction of crack tip stress can occur by composite patches [6] and welding repair. The introduction of compressive residual stresses occurred by cold expansion [7]. The reduction of crack tip stress concentrations can be achieved by the stop drilling technique.

The stop drilling technique or SD is an “*emergency*” procedure fairly popular in aeronautical industry. It is a very simple, economical and quick way of extending fatigue life of cracked components and consists in performing a hole in the crack tip. There are some parameters that can affect SD fatigue life, namely, SD diameter, position and surface finish of the SD, crack length, geometry and mechanical properties of the component, load history, type and magnitude, and residual stresses around the SD.

Generally, increasing SD diameter means better fatigue strength due to the decreasing of stress concentrations in the crack tip, however it also increases the nominal stresses due to material loss. If the SD is too big, stress concentrations decrease may not be enough to overcome nominal stress increase, thereby compromising its utility.

Several authors have been studying SD technique in an attempt to understand how certain parameters can affect stop drill fatigue life. Hao Wu et al. [8] and Song et al. [5] have done experimental tests and computer simulations in order to study SD diameter influence. Some crack repair methods have been studied by Domazet [4] and Vulic et al. [9]. More recently, a great deal of research has been undertaken on increasing SD fatigue life by drilling adjacent holes near the crack tip SD by Murdani et al. [10] [11] and also experimental tests and computer simulations of the application of compressive stresses on SD vicinity by Amrouche et al. [12], Zhang et al. [7] and Nigrelli et al. [13].

The analysis of the studies developed until now shows that no research has been done in aluminium alloy 2024-T3 thin plates with SD, typical of C-130H aircraft skin. Hence, it is important

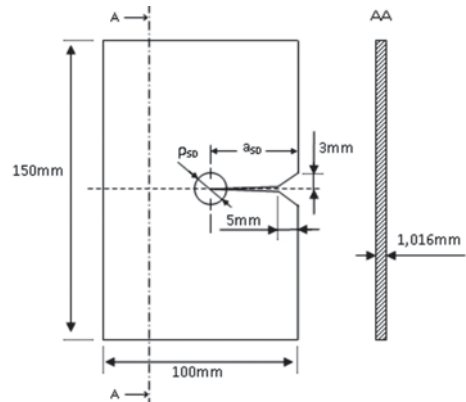
for the aeronautical industry and scientific knowledge to develop experimental data related to SD fatigue life on thin plates of Aluminium. As such, experimental tests and numerical analyses were done as an attempt to study crack propagation and the SD diameter increase influence in specimen fatigue life.

## 2. EXPERIMENTAL TESTS

The material studied was aluminium alloy 2024-T3 from C-130 “Hercules” aircraft skin. The chemical composition and mechanical properties of this material are presented in tables 1 and 2, respectively. The geometry of the specimen is rectangular, 150mm length by 100mm width by 1.016mm thickness, presented in figure 1. The triangular notch was made by electrical discharge machining and the dimensions are 6mm height by 5mm depth, centered on the specimen side. The rolling direction is the same as the applied force.

**Table 1:** Chemical composition of Al 2024 T3 [14] (weight%)

Al	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Ti	Zn	Others
90.7-94.7	0.10	3.8-4.9	0.50	1.2-1.8	0.30-0.9	0.50	0.15	0.25	0.15



**Figure 1:** Specimen geometry

**Table 2:** Mechanical properties of Al 2024 T3

$\sigma_y$ [11]	$\sigma_{UTS}$ [11]	E [15]	$\nu$
370MPa	460MPa	73.1GPa	0.33

### 2.1 Fatigue testing machine

The fatigue tests were carried out in a fatigue testing machine manufactured by Material Test Systems Corporation which can apply a maximum force of 100kN. The fatigue testing machine was recently calibrated and reactivated at the Portuguese Air Force Academy.

### 2.2 Experimental procedure

The specimens were tested under a constant amplitude cycling axial force of 7.2kN (100MPa), with zero stress ratio ( $R = 0$ ) and 11Hz of frequency. Five specimens were tested, two without any SD and



three with 2mm, 4mm and 6mm SD diameter, at 20mm of distance from specimen lateral. The crack length ( $a$ ) and the corresponding number of cycles ( $N$ ) were registered for posterior analyses. The SD was done by a drilling machine, and no stresses or material treatment were applied on SD boundaries. Stress intensity factor range ( $\Delta K$ ) was calculated using expression 1, where " $a$ " is the crack length, " $b$ " is the specimen width and " $Y$ " is the geometric factor that was obtained through expression 2, Branco [2].

$$\Delta K = Y \Delta \sigma \sqrt{\pi a} \quad (1)$$

$$Y = 1,12 - 0,012 \left( \frac{2a}{b} \right) + 2,64 \left( \frac{2a}{b} \right)^2 - 2,71 \left( \frac{2a}{b} \right)^3 + 1,90 \left( \frac{2a}{b} \right)^4 \quad (2)$$

The crack growth rate ( $da=dN$ ) can be calculated by correlating a polynomial expression to  $N$  VS  $a$  curve, and derive in order to a variable. Fifth and twelfth degree polynomials were used for specimens with and without SD, respectively, with reduced residual square errors.

### 3. NUMERICAL ANALYSIS

#### 3.1 Methodology

Two dimensional (2D) numerical analyses were performed in order to study crack propagation and crack initiation after SD. Numerical results were compared to experimental data values. An automatic crack propagation method was modified and applied from Serrano [16], by combining 2 commercial softwares ANSYS® and MATLAB®. In this study, a MATLAB® subroutine runs the ANSYS® software log files in batch mode, significantly decreasing the computational time of the simulation and fully automating crack propagation process without user's interference. The mesh is automatically defined depending on the size of the crack and allows the user to previously customize some mesh parameters, like the number of the divisions of certain lines, to refine the mesh. Through a one hundred cycle step ( $dN=100$ ), MATLAB® software sends values of crack length ( $a_i$ ) to ANSYS® software, and the latter one calculates the value of  $\Delta K$  and stresses at any location of the specimen, in an automatic process. Using Paris law, with experimental parameters  $C$  and  $m$ , a new crack length ( $a_{i+1}$ ) is found, through expression 3.

$$\frac{da}{dN} = C (\Delta K)^m \longrightarrow a_{i+1} = dNC (\Delta K)^m + a_i \quad (3)$$

In order to predict the fatigue life of the SD, a Morrow relation 4 was used, with the parameters obtained by Meggiolaro et al. [17].

$$\frac{\Delta \varepsilon}{2} = \frac{1,9 \sigma_R - \sigma_m}{E} (2N)^{-0,11} + 0,28 (2N)^{-0,66} \quad (4)$$

### 3.2 Element type and material model

The ANSYS® manual [18] suggests a quadratic 8-node element like PLANE183 for 2D fatigue problems. PLANE183 is a quadratic high order element that allows the collapse of two intermediate nodes, degenerating in a triangular-shape element to better retract the singularity on the crack tip.

### 3.3 Boundary conditions

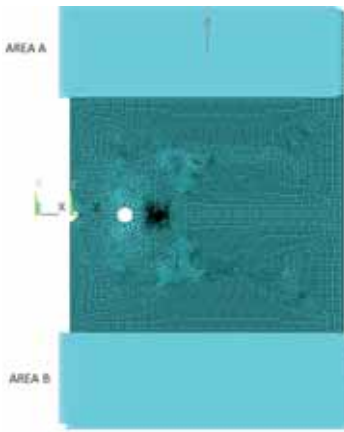


Figure 2: Specimen geometry

Serrano's suggestion [16] was firstly followed in order to approximate the numerical model to real conditions. Therefore, according to figure 2, constraints in all directions were applied on the nodes in the area corresponding to the static grip (AREA B), and x direction constraints only on the node of the moving grip area (AREA A)(model I). Another simulation (model II) had to be undertaken due to the unsatisfactory results of the first.

In a second situation, no constraints were applied to the nodes of the moving grip area (AREA A).

To approximate the load application to real conditions, the rigid element MPC184 was used.

A center node was defined on moving grip area (AREA A) and connected to all nodes of this area through the rigid element.

This technique equitably spreads the load by all nodes in AREA A. A 7.2kN load was applied to the model.

### 3.4 Specimen modeling

An automatic crack propagation simulation requires attention and caution in mesh design, to exclude user's interference in the whole process. According to figure 3, the model was symmetrically divided into six areas. Despite the geometry symmetry, the complete model was simulated due to the reduced computation time.

The mesh of areas 1 and 2 were the most critical and more refined. A singularity point was created on the crack tip through KSCON ANSYS® command. Areas 1 and 2 were being moved forward as the crack length increases.

Three different meshes were defined to study its influence on simulation, and the best mesh was chosen, figure 4. Figure 5 shows a close-up of the crack tip singularity



Figure 3: Specimen modeling

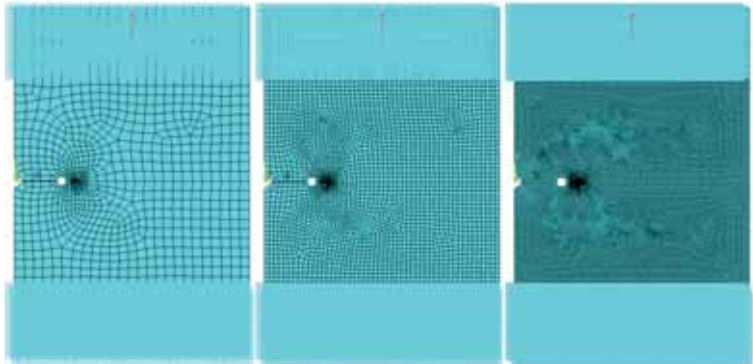


Figure 4: Mesh modeling

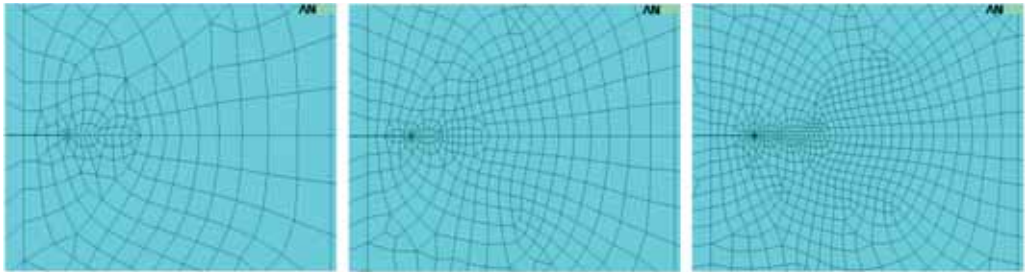


Figure 5: Mesh modeling - crack tip close-up

## 4. RESULTS AND DISCUSSION

### 4.1 Experimental results

The results of experimental tests are presented in table 3, where:  $a_{SD}$  is the SD diameter;  $a_{SD}$  is the SD distance 20mm;  $N_{SD}$  is the number of cycles of crack initiation after SD and  $N$  is the number of cycles. Figure 6 and 7 shows the number of cycles VS  $a$  [mm] curves and  $\Delta K$  [MPa $\sqrt{m}$ ] VS  $da/dN$  [mm/cycle] curves, respectively, of all the five experimental tests.

Table 3: Experimental results

Test	PSD	N		
		Up to $a_{SD}$	$N_{SD}$	Fracture
B4	2mm	121.193	20.807	188.304
B6	4mm	143.855	60.145	284.924
B7	6mm	167.671	117.329	335.756
B11	Without SD	-	-	228.846
B12	Without SD	-	-	262.082

The results show an improvement in number of cycles of about 189% and 464% when SD diameter is increased from 2mm, to 4 mm and 6mm, respectively. In order to calculate the Paris law parameters, a logarithmic plot of  $\Delta K$  [MPa $\sqrt{m}$ ] VS  $da/dN$  [mm/cycle] curves of the two tests without SD are shown in figure 8. Table 4 summarizes the calculated values of C and m.

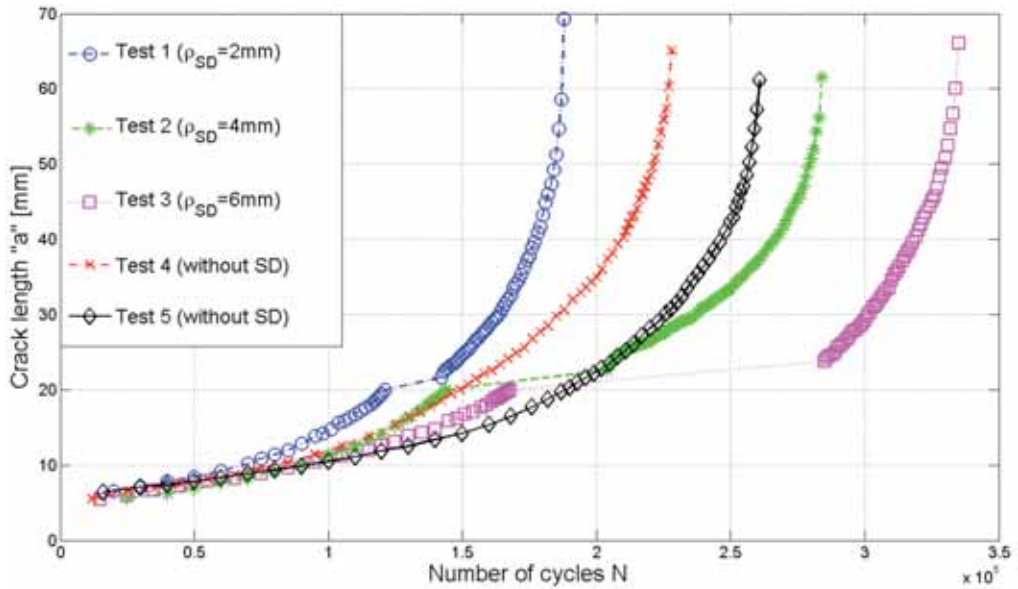


Figure 6: Experimental N VS a curves

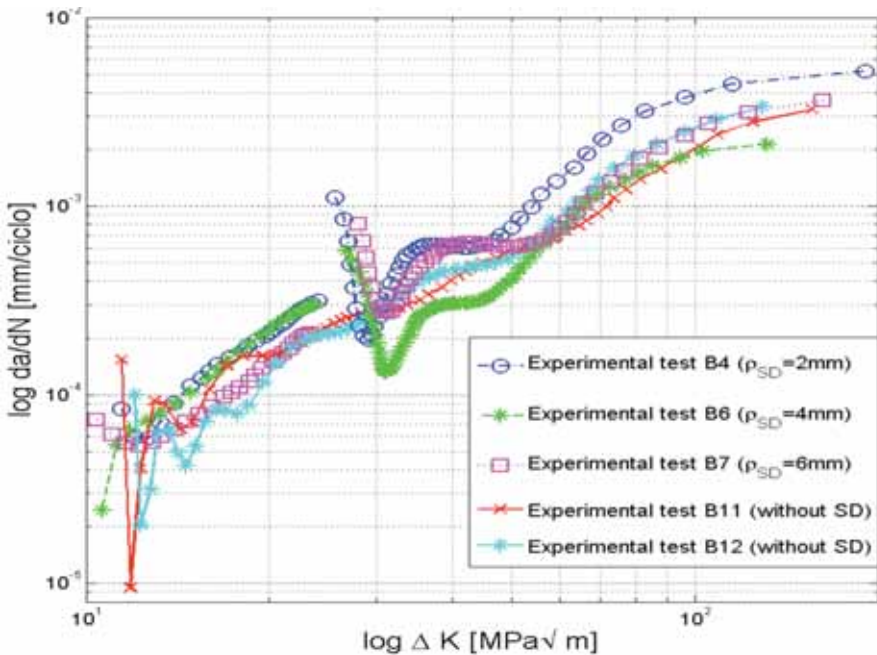


Figure 7: Experimental K VS da=dN curves

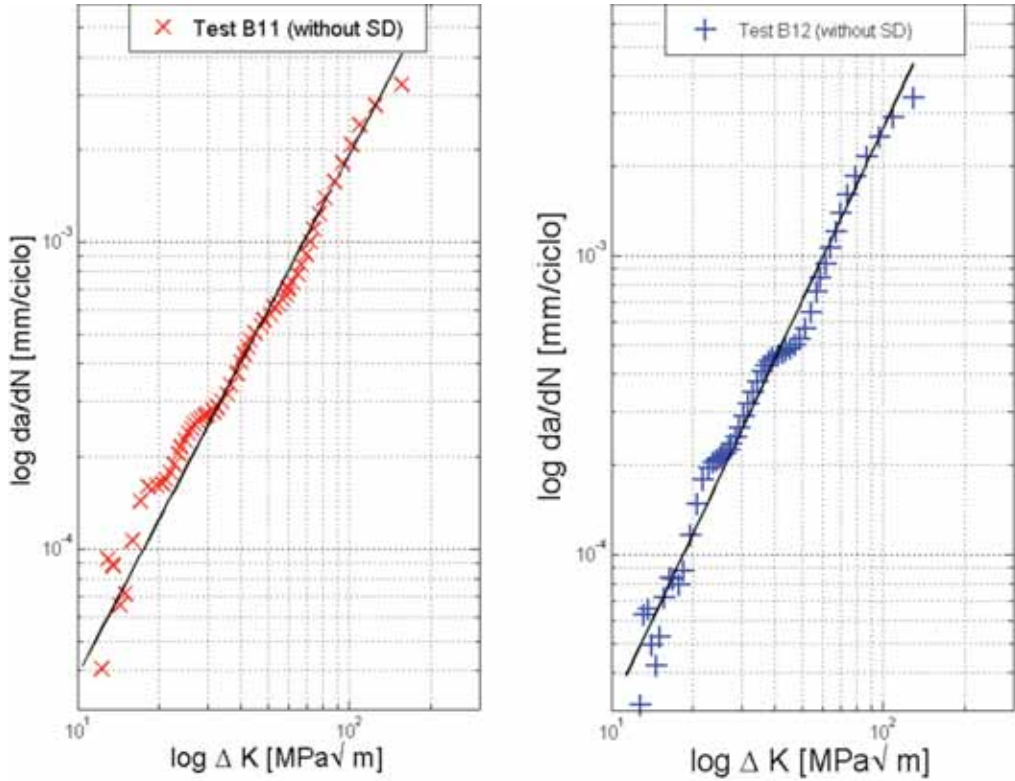


Figure 8: Experimental  $\Delta K$  VS  $da/dN$  curves

Table 4: Experimental Paris law parameters

Test number	C	m
B11	7,07E-7	1,7
B12	3,532E-7	1,9

#### 4.2 Numerical results

The  $N$  VS  $a$  curves are shown in figure 9, for both model I and II and experimental results with no SD. As can be seen in figure 9, model I results do not match with model II and experimental ones. In fact, a good agreement between model II and experimental  $N$  VS  $a$  curves can be observed, concluding that model I is inadequate.

This fact becomes more evident when a VS  $\Delta K$  curves are compared (figure 10) and when the theoretical value of  $Y$  is compared with the computational one (equation 5) along crack length (figure 11). Again and despite an initial error of about 19% that decreases as the crack length increases, model II and experimental results are close to each other, contrary to model I results.

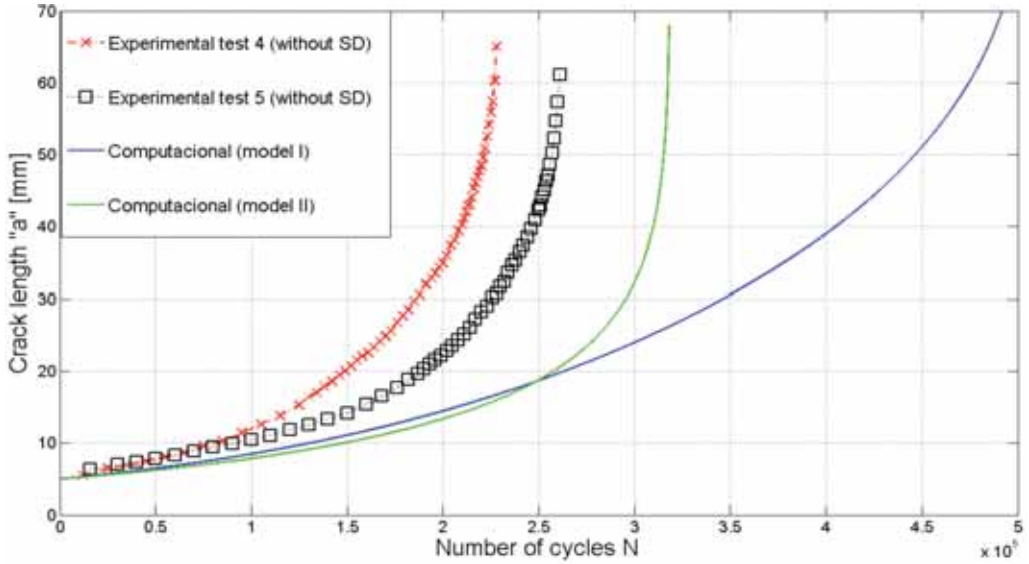


Figure 9: Numerical and experimental N VS a curves

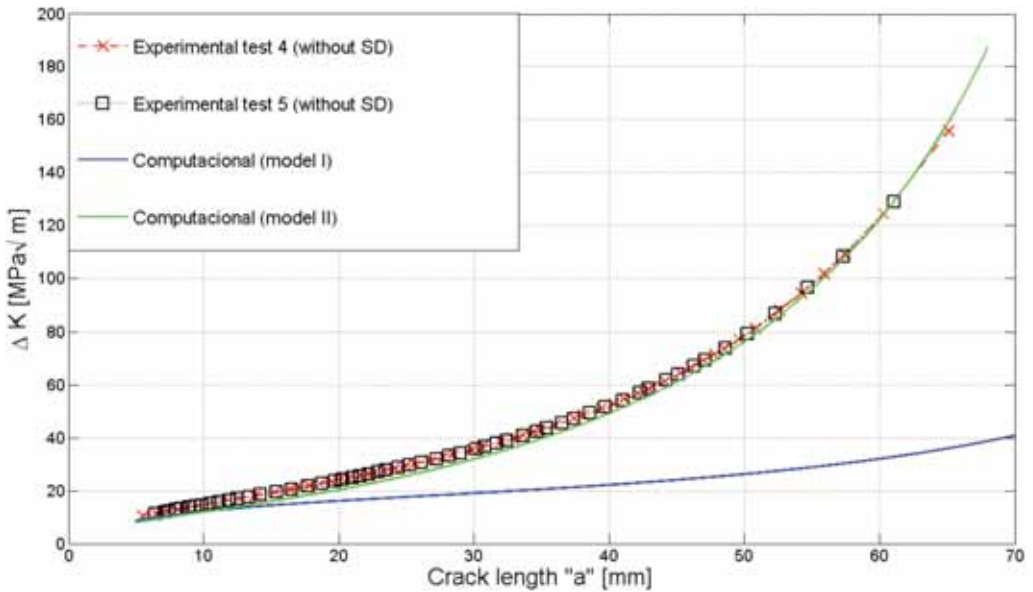


Figure 10: Numerical and experimental a VS  $\Delta K$  curves

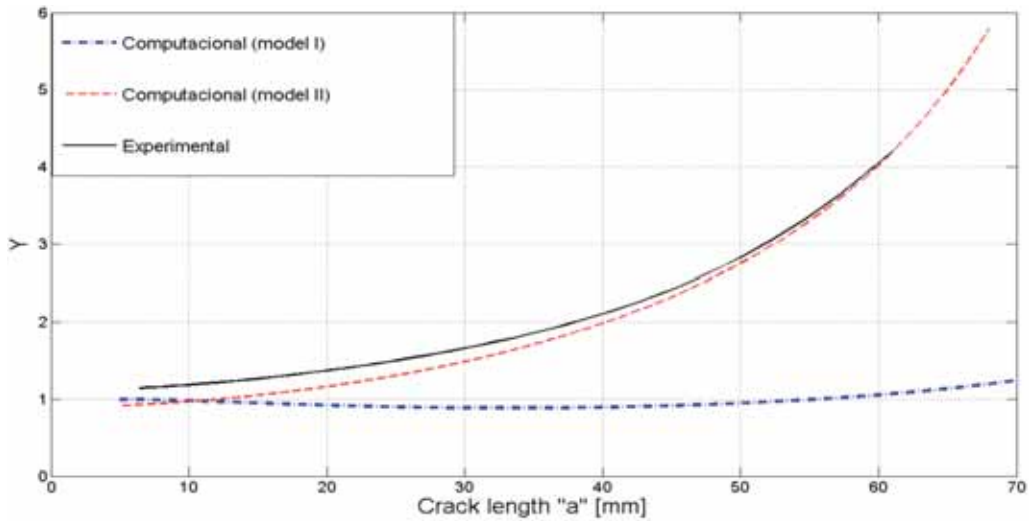


Figure 11: Numerical and experimental N VS a curves

$$Y = 6,3165 \times 10^{-9}a^5 - 6,4892 \times 10^{-7}a^4 + 2,9205 \times 10^{-5}a^3 - 2,5616 \times 10^{-5}a^2 + 0,0073828a + 0,8735 \quad (5)$$

The number of cycles of initiation after SD was calculated, through Morrow equation 4 and the value of  $\Delta \epsilon$  was obtained in ANSYS®. Table 5 resumes the values of  $\Delta \epsilon$  and  $N_{SD}$  for modal II and experimental values of  $N_{SD}$ .

Although not very significantly, the numerical results for  $N_{SD}$ , like experimental ones, indicate that fatigue life increases when stop drill diameter is bigger. In fact, compared to the 2mm diameter stop-drill, the numerical results show an improvement of 333% and 952% to 4mm and 6mm diameter stop-drill fatigue life, respectively. Figure 12 shows the evolution of the stress field in the crack tip edge.

## 5. CONCLUSION

The most important results of this work are described below:

- When SD diameter was bigger, both experimental and computational results revealed fatigue life increase. Indeed, great SD fatigue life augment was registered when SD diameter was increased from 2mm to 4mm and 6mm (table 6).
- The automatic crack propagation method applied through interaction between ANSYS® and MATLAB® revealed a very useful and less time-consuming way to simulate the propagation of fatigue cracks without any interference of the user.
- Two computational models were simulated, one with no x direction move of the nodes in the moving grip area, and another without any movement restrictions. The first one revealed bad results despite its boundary condition to be closer to reality. Good agreement between model II and experimental results was observed.

- Computational results showed a small number of cycles supported by SD due to its strong dependence on Morrow relation parameters and aluminium mechanical properties, which were obtained from literature.

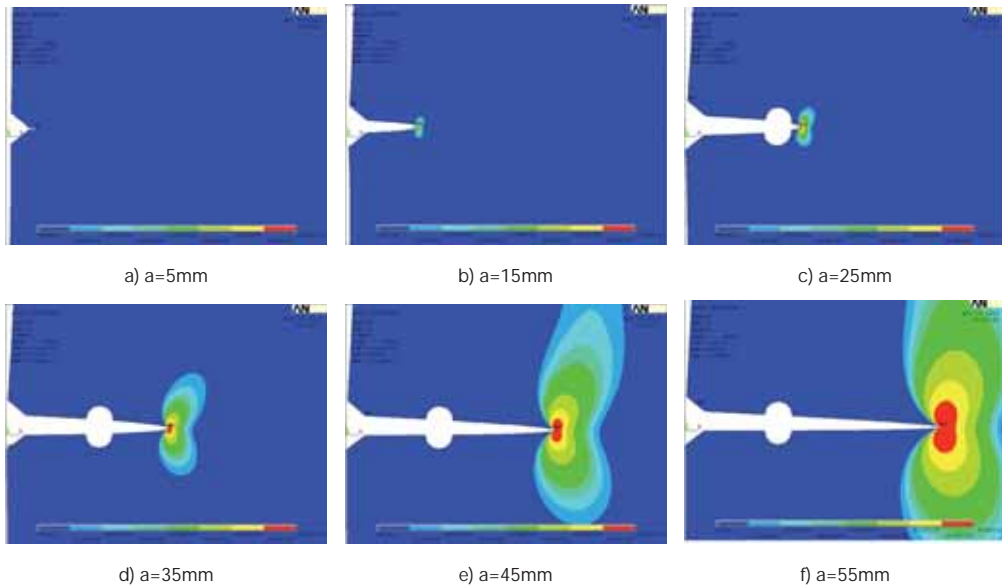


Figure 12: Evolution of the stress field in crack tip edge for  $5 \text{ mm} \leq a \leq 55 \text{ mm}$

Table 5: Numerical and experimental results for NSD

Numerical model II results			
	SD diameter		
	2mm	4mm	6mm
$\square \epsilon$	1.2662E-2	9.3447E-3	8.0719E-3
$N_{SD}$	1.353	5.863	14.230
Experimental results			
	SD diameter		
	2mm	4mm	6mm
$N_{SD}$	20.807	60.145	117.329

Table 6: Summary of the results

SD diameter	Experimental tests	Computational analysis
4mm	189%	333%
6mm	464%	952%



## 6. REFERENCES

- [1] **ASTM Standard Terminology Relating to Fatigue and Fracture Testing**, ASTM E 1823 M, 1997
- [2] Carlos Branco, **Mecânica dos Materiais**, Fundação Calouste Gulbenkian, 4<sup>th</sup>ed., 2006
- [3] Walter Schutz, A History of Fatigue, **Engineering Fracture Mechanics**, Vol.54, 263-300, 1996
- [4] Z. Domazet, Comparison of Fatigue Crack Retardation Methods, **Engineering Failure Analysis**, 1996, Vol.3, 137-147
- [5] P. S. Song and Y. L. Shieh, Stop drilling procedure for fatigue life improvement, **International Journal of Fatigue**, 2004, Vol.26, 1333-1333
- [6] V. Sabelkin, S. Mall and J. Avram, Fatigue crack growth analysis of stiffened cracked panel repaired with bonded composite patch, **Engineering Fracture Mechanics**, 2006, Vol.73, 1553-1567
- [7] X. Zhang and Z. Wang, Fatigue life improvement in fatigue-aged fastener holes using the cold expansion technique, **International Journal of Fatigue**, 2003, Vol.25, 1249-1257
- [8] Hao Wu, Abdellatif Imad, Nouredine Benseddiqu, Jaime Tupiassú Pinho de Castro and Marco Antonio Meggiolaro, On the prediction of the residual fatigue life of cracked structures repaired by the stop-hole method, **International Journal of Fatigue**, 2009
- [9] Naned Vulic, Stjepan Jecic and Vatroslav Grubicic, Validation of crack arrest technique by numerical modelling International, **Journal of Fatigue**, 1997, Vol.19, 283-29
- [10] Anggit Murdani, Chobin Makabe, Akihide Saimoto, Yoshiki Irei and Tatsujiro Miyazaki, Stress concentration at stop-drilled holes and additional holes, **Engineering Failure Analysis**, 2008, Vol.15, 810-819
- [11] Anggit Murdani, Chobin Makabe, Akihide Saimoto and Ryouji Kondou, A crack-growth arresting technique in aluminum alloy, **Engineering Failure Analysis**, 2008, Vol.15, 302-310
- [12] A. Amrouche G. Mesmacque S. Garcia and A. Talha, Cold expansion effect on the initiation and the propagation of the fatigue crack, **International Journal of Fatigue**, 2003, Vol.25, 949-954
- [13] V. Nigrelli and S. Pasta, Finite-element simulation of residual stress induced by split-sleeve cold-expansion process of holes, **Journal of Materials Processing Technology**, 2008, Vol.205, 290-296
- [14] **ASTM Standard Specification for Aluminum and Aluminum-Alloy Sheet and Plate [Metric]**, ASTM B 209 M, 2004
- [15] <http://www.matweb.com> (10/12/2010) (Information provided by The Aluminum Association, Inc. from Aluminum Standards and Data, 2000)
- [16] Bruno Serrano, **Previsão do tempo de vida de fadiga da aeronave épsilon TB-30 da FAP**. Master's thesis, Instituto Superior Técnico, 2009
- [17] Marco Antonio Meggiolaro and Jaime Tupiassú Pinho de Castro, A Critical Evaluation of Fatigue Crack Initiation Parameter Estimates, **Society of Automotive Engineers**, 2004
- [18] **ANSYS 11.0 manual**, 2007.

# Comportamento Hidro-mecânico de Solos Compactados com Diferente Teor em Água de Compactação



Barragem de Odelouca

Autor: André Reis, Alferes Aluno do Mestrado Integrado na especialidade de Engenharia de Aeródromos  
Academia da Força Aérea, Sintra

Orientadora: Professora Doutora Maria Rafaela Pinheiro Cardoso  
Departamento de Geotecnia, Instituto Superior Técnico, Lisboa

**Resumo.** São estudadas as características hidro-mecânicas de solos finos argilosos compactados com índices de vazios semelhantes. O comportamento do solo em termos de expansibilidade, compressibilidade, resistência e permeabilidade depende da sua estrutura, a qual é induzida pelo processo de compactação (energia e teor em água). Este comportamento é estudado através da análise de porosimetrias por intrusão de mercúrio e fotografias de microscópio electrónico de amostras compactadas em pontos próximos do teor em água óptimo acrescido ou reduzido de 2% (lado húmido e seco, respectivamente). Foram realizados também ensaios edométricos e triaxiais e mediu-se a curva de retenção de água nos dois tipos de amostras de forma a caracterizar o seu comportamento hidro-mecânico. Os dados experimentais obtidos permitiram determinar os parâmetros do Barcelona Basic Model (BBM), um modelo constitutivo elastoplástico para solos não saturados, que incorpora o efeito da sucção. As diferenças observadas na forma como o solo se comporta quando sujeito a variações de tensão ou de sucção são explicadas pelas diferentes estruturas induzidas pelo processo de compactação. Estas diferenças são explicadas demonstrando e confirmando as razões que levam um projectista a prescrever diferentes condições de compactação para aterros de vias de comunicação ou de barragens de terra.

**Palavras-chave:** solos argilosos, ensaios edométricos, ensaios triaxiais, Barcelona Basic Model (BBM)

## 1. INTRODUÇÃO

O processo construtivo adoptado para os aterros de barragens de terra ou de vias de comunicação requer cuidados especiais pois o material compactado tem que obedecer às especificações do caderno de encargos. O objectivo das especificações consiste essencialmente em garantir, indirectamente, que as características de resistência e compressibilidade necessárias ao bom desempenho do aterro são conseguidas. Deste modo a compactação é realizada num dado intervalo, com um dado teor em água e energia, que conferem ao solo um adequado peso volúmico seco (logo um dado índice de vazios), responsável pelas propriedades hidro-mecânicas do material.

Neste trabalho pretende-se caracterizar experimentalmente o comportamento hidro-mecânico do solo argiloso utilizado na construção do núcleo da barragem de Odelouca localizada no Algarve. Foram compactadas amostras do lado seco e húmido da curva de compactação de modo a estudar o efeito da estrutura induzida pelo processo de compactação no seu comportamento hidro-mecânico. Foram realizados vários ensaios tais como porosimetrias por intrusão de mercúrio, fotografias de microscópio electrónico, limites de Atterberg, difracção de raios x e curva de compactação leve (Proctor normal), de modo a caracterizar o material. Ensaio edométricos e triaxiais foram também realizados em amostras compactadas no lado seco e húmido do óptimo, logo preparadas com diferentes estruturas.

Os resultados obtidos a partir dos vários ensaios foram analisados considerando as diferentes estruturas induzidas pelo processo de compactação. Elas permitiram encontrar conclusões úteis que explicam e permitem uma abordagem mais racional sobre a importância da prescrição de um dado intervalo de compactação.

Na realidade, os aterros de barragens de terra são compactados do lado húmido enquanto os de vias de comunicação são compactados do lado seco e com uma energia de compactação elevada. A validade destas prescrições gerais apenas pode ser utilizada se os conceitos da mecânica dos solos não saturados forem utilizados em prol da Engenharia Civil.

As equações definidas considerando o comportamento não saturado dos solos são também importantes para a previsão de assentamentos na medida em que descrevem o comportamento do material sob variações de tensão e sucção.

## 2. ESTRUTURA INDUZIDA PELO PROCESSO DE COMPACTAÇÃO

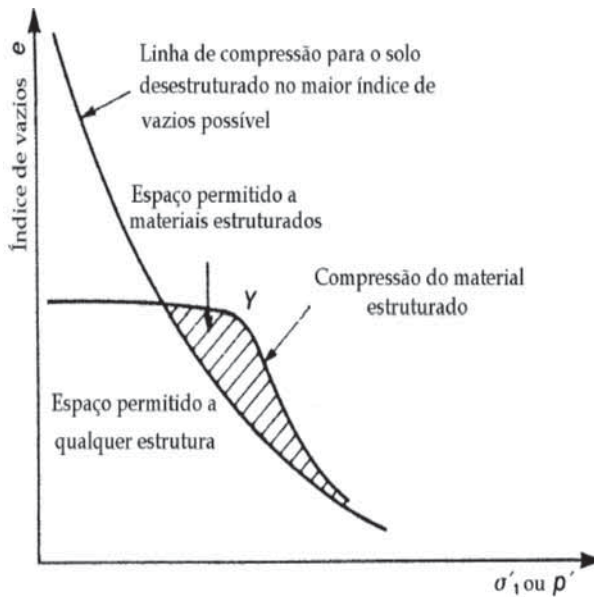


Figura 1: Comparação entre o comportamento do solo desestruturado ou com estrutura (Vaughan et al., 1988)

Para uma melhor compreensão do comportamento de solos argilosos compactados, é importante considerar a estrutura induzida pelo processo de compactação.

A presença de água tem influência no tamanho e disposição dos agregados de argila. A esta disposição dá-se o nome de fábrica. A estrutura consiste na fábrica e ainda nas eventuais ligações cimentícias que se formem entre agregados.

Como se observa na Figura 1, o comportamento do solo em condições edométricas é diferente consoante a sua estrutura.

Um solo no estado desestruturado tem geralmente um comportamento pior quer em termos de resistência como de deformabilidade que um solo com alguma estrutura. À medida que a desestruturação é maior essas características de resistência e de rigidez vão diminuindo.

De acordo com Alonso (2004) [1], os trabalhos de Proctor (1933) [6] e as interpretações microestruturais proporcionadas por Lambe (1958) [4] e Seed e Chan (1959) [9] contribuíram para a criação de um modelo básico de referência que permitisse uma interpretação do comportamento dos solos compactados.

Deste modo, na compactação do lado húmido alcançam-se estruturas “dispersas” caracterizadas pela disposição das partículas segundo uma orientação preferencial.

Por outro lado, do lado seco, as partículas de argilas apresentam uma orientação aleatória denominada de floculada com poros menores mas também poros relativamente maiores (Lambe, 1958). Os poros devidos à disposição dos agregados de argila formam a macroestrutura (poros maiores). A presença de agregados de argila consiste na microestrutura (poros menores).

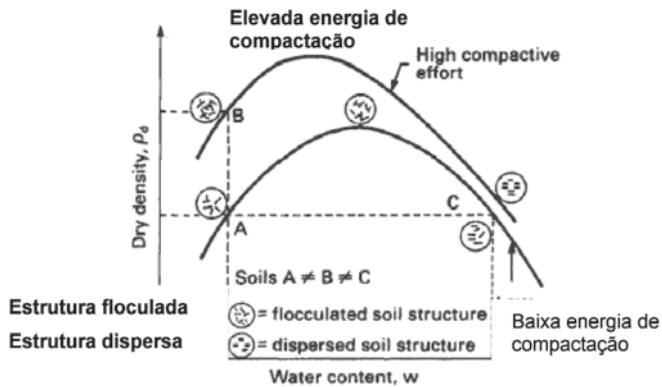


Figura 2: Efeito da compactação na estrutura do solo (Lambe, T. W., 1958)

O efeito do teor em água na disposição dos agregados é devido à interacção entre as cargas eléctricas da água e dos minerais do solo. O efeito da compactação na estrutura do solo descrito anteriormente está representado na Figura 2. De acordo com Mitchell e Soga (2005) [5], do ponto de vista da engenharia existem alguns princípios que relacionam a fábrica, a estrutura dos solos e as suas propriedades mecânicas. É a partir destas características dos solos argilosos compactados que se podem fazer comentários acerca do seu comportamento mecânico e hidráulico.

### 3. COMPORTAMENTO HIDRO-MECÂNICO DE SOLOS COMPACTADOS

A compressibilidade, resistência e permeabilidade, assim as características de retenção de água, são propriedades extremamente importantes e são os aspectos principais a considerar no dimensionamento de aterros construídos com solos finos. A previsão de assentamentos e o seu comportamento ao longo do tempo requerem o conhecimento das características expansivas do solo à medida que o teor em água varia quer seja devido à molhagem como a eventuais alterações climáticas.

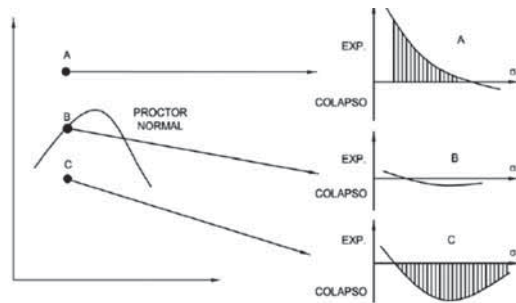
Começando pela resistência, as forças de origem capilar têm um papel importante e devem-se à sucção que é maior nos solos compactados do lado seco.

Relativamente à compressibilidade, de acordo com o referido acima, é fácil compreender que o solo compactado do lado seco terá uma maior rigidez, logo menor deformabilidade, do que o mesmo solo compactado do lado húmido. Além do mais, para a mesma sucção, a tensão de cedência é maior para o solo compactado do lado seco. Este comportamento é explicado em parte pelas diferentes estruturas.

Em termos de permeabilidade, este valor é ligeiramente maior para os solos compactados do lado seco devido à presença de maiores vazios induzidos pela compactação. A curva de retenção de água medida em amostras compactadas do lado seco ou húmido é também diferente devido às diferenças na estrutura. De facto, do lado seco, devido à maior quantidade de poros maiores, a curva geralmente fica acima da curva do lado húmido. Como a microestrutura é praticamente a mesma (pois está relacionada com os agregados de argila e não pela sua disposição), as curvas são praticamente idênticas nos teores em água baixos.

No que diz respeito ao potencial expansivo de solos argilosos, esta propriedade está relacionada com a natureza dos minerais de argila, assim como da superfície específica, capacidade de troca catiónica, natureza dos iões de troca, teor em matéria orgânica e presença de agentes de cimentação (Mitchell e Soga, 2005) [5]. Para materiais compactados também o grau de sobreconsolidação é importante, assim como o índice de vazios e a sucção imposta.

Mesmo os solos argilosos pouco expansivos tais como os usados na construção de aterros podem sofrer variações de volume. A amplitude dessas deformações depende das condições de compactação e da tensão aplicada, assim como da sucção instalada antes da molhagem. As variações volumétricas podem ser classificadas de empolamento (aumento de volume sob tensão baixa) ou de colapso (diminuição de volume sob tensão elevada).



**Figura 3:** Tendência da variação de volume ao saturar amostras compactadas do lado seco com diferentes densidades e tensões de confinamento (Alonso, 2004) [1]

Como se percebe, o empolamento e o colapso são denominações convenientes para um processo complexo que é controlado pelo peso volúmico seco (associado a um índice de vazios e a uma dada estrutura do solo), pela tensão aplicada e a sucção antes da molhagem. Para níveis elevados de teor em água a sucção inicial é muito pequena e a saturação não introduz variações significativas logo são esperadas pequenas deformações expansivas.

A Figura 3 mostra que as variações volumétricas dependem do peso volúmico seco induzido pelo processo de compactação e pela tensão aplicada tal como se observa comparando o comportamento volumétrico sob tensão crescente dos pontos A, B e C que têm o mesmo teor em água mas diferentes índices de vazios. Para um valor médio de uma mesma tensão de confinamento na qual ocorre molhagem, ocorre expansão no ponto mais denso (A) e colapso no menos denso (C).

## 4. CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL DO SOLO COMPACTADO

### 4.1 Caracterização física e preparação das amostras

O material estudado neste trabalho consiste na fracção passada no peneiro #4 do solo utilizado no núcleo da barragem de Odelouca. São apresentadas as características principais desse solo para uma melhor compreensão do seu comportamento quando compactado do lado seco ou do lado húmido da curva de compactação e sujeito a variações de tensão ou sucção.

Através de uma difracção de raios x foi possível observar que o mineral argiloso predominante é a Caulinite. É um mineral pouco expansivo e responsável pelas propriedades plásticas do material (LL=53%, IP=22%). De modo a obter o máximo peso volúmico seco e o correspondente teor em água óptimo, foi determinada a curva de compactação leve (Proctor normal). Apesar de todos os cuidados na montagem dos provetes os pontos obtidos para os ensaios edométricos não foram os inicialmente pretendidos (óptimo  $\pm$  2%). A justificação é dada por (Reis, 2010) [8].

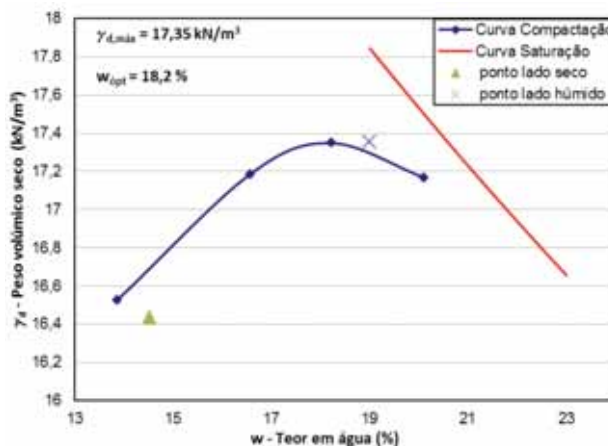


Figura 4: Curva de compactação do solo e pontos do lado seco e húmido estudados

### 4.2 Estrutura das amostras compactadas

Foram realizados vários ensaios laboratoriais de forma a analisar o efeito da estrutura induzida pelo processo de compactação no comportamento hidro-mecânico do material estudado. Como referido anteriormente, as amostras foram compactadas em pontos próximo do teor em água óptimo acrescido e reduzido de 2% (lado húmido e seco respectivamente). Realizaram-se então porosimetrias por intrusão de mercúrio (Figura 5), fotografias de microscópio electrónico (Figuras 6 e 7) e mediu-se a curva de retenção (Figura 8) de modo a obter informações importantes acerca da estrutura do solo.

Pela análise das porosimetrias (Figura 5), é possível observar que o solo compactado do lado húmido (estrutura dispersa) apenas possui um pico para os diâmetros pequenos. Por outro lado, o solo compactado do lado seco (estrutura floclada) tem dois picos, um para dimensões próximas das verificadas no lado húmido e outro para poros maiores. Este resultado

é consistente com um solo que possui dupla estrutura. Finalmente, a porosimetria realizada na amostra desestruturada (preparada com um teor em água  $w=1,5LL$ ), apenas apresenta um pico próximo das dimensões dos poros dos agregados de argila. Estas diferenças estruturais são evidentes na comparação entre as fotografias de microscópio electrónico das amostras compactadas do lado húmido (Figura 6) ou do lado seco (Figura 7).

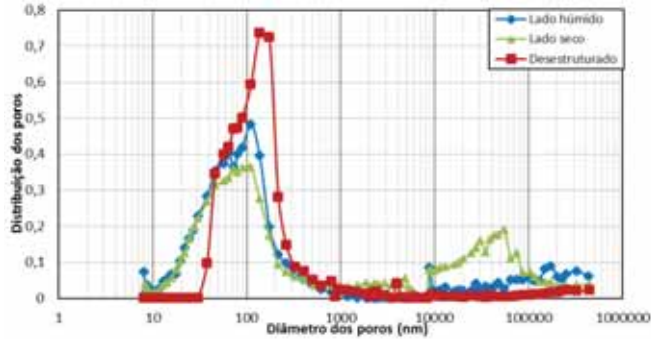


Figura 5: Análise comparativa das porosimetrias

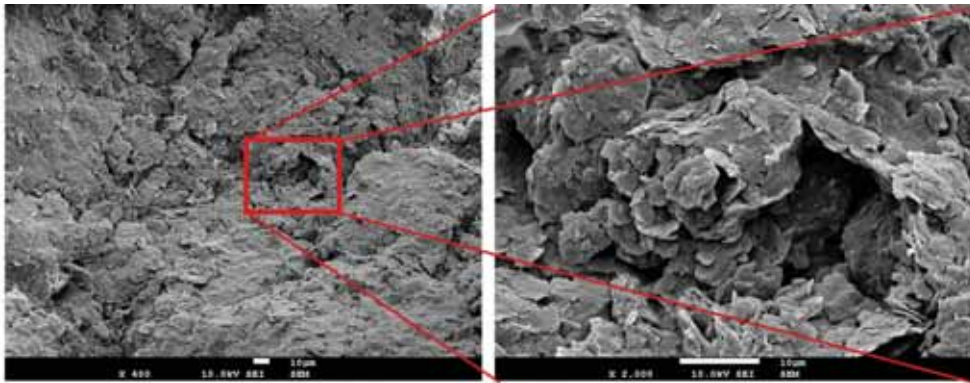


Figura 6: Fotografia de microscópio electrónico de uma amostra compactada do lado húmido

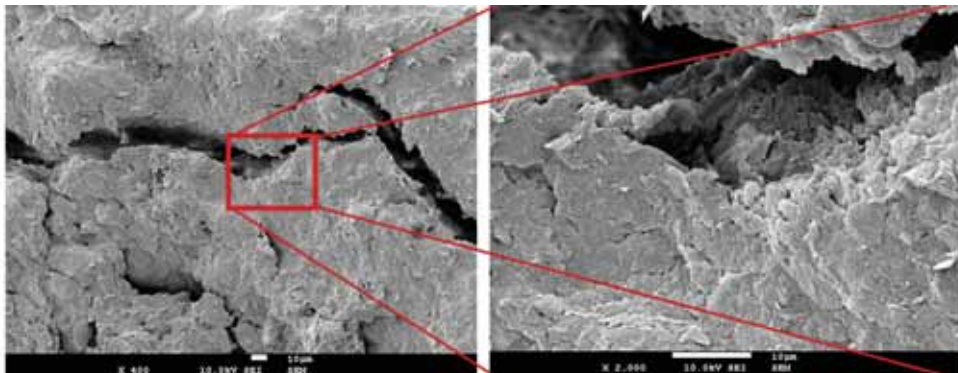


Figura 7: Fotografia de microscópio electrónico de uma amostra compactada do lado seco



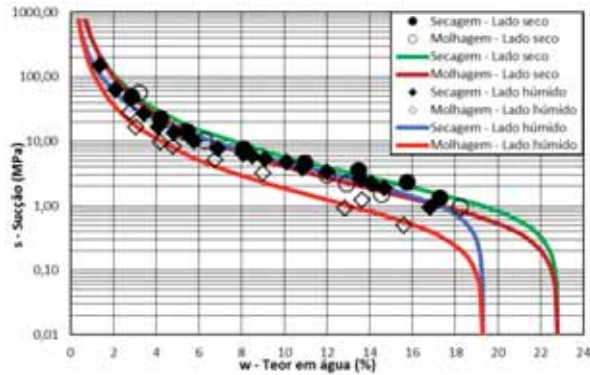


Figura 8: Curvas de retenção das amostras compactadas do lado seco e húmido

Finalmente, as diferenças nas curvas de retenção de água permitem concluir o estudo das diferentes estruturas do solo. Como se observa na Figura 8 a geometria é diferente para os dois casos. Como esperado, devido aos poros maiores, o teor em água de saturação é maior para a amostra compactada do lado seco (Tabela 1). Para teores em água baixos as curvas de retenção são semelhantes para ambos os casos. Isto deve-se ao facto de a forma da curva depender da água retida nos microporos para as sucções elevadas e para as baixas sucções depender da água retida nos macroporos (Romero et al., 1999) [7].

Foi utilizada a Equação (1) (Van Genuchten, 1980) [10] para ajustar as curvas de retenção, onde  $S_r$  é o grau de saturação,  $s$  a sucção e  $P$  e  $\lambda$  parâmetros de calibração (Tabela 1).

$$S_r = \left[ 1 + \left( \frac{s}{P} \right)^{\frac{1}{1-\lambda}} \right]^{-\lambda} \quad (1)$$

Tabela 1: Parâmetros adoptados para a curva de retenção

	Secagem		Molhagem		Teor em água saturado (%)
	P (MPa)	$\lambda$	P (MPa)	$\lambda$	
Lado húmido	1,99	0,40	0,65	0,36	19
Lado seco	1,40	0,36	0,87	0,34	23

### 4.3 Ensaio edométrico

O comportamento volumétrico e as constantes necessárias à calibração do BBM foram obtidos a partir dos dados dos ensaios edométricos realizados. A sucção foi controlada durante os testes através da técnica de equilíbrio de vapor (Reis, 2010) [8]. As amostras foram compactadas em pontos próximos do teor em água  $\pm 2\%$  (índice de vazios próximo de 0,53) mas, devido ao processo de preparação obtiveram-se índices de vazios maiores (Tabela 2). As Figuras 9 e 10 ilustram os resultados dos ensaios edométricos no plano ( $e, \log \sigma$ ) para o lado húmido e seco, respectivamente. Como explicado em (Reis, 2010) [8], provavelmente a sucção

intermédia de 39 MPa, correspondente a uma humidade relativa de 75%, é um valor já muito elevado e próximo do máximo aplicado para uma sucção de 85 MPa (humidade relativa de 55%). Para estas duas sucções o solo é muito rígido e eventualmente a tensão de cedência não foi atingida durante o carregamento. Simplificadamente assumiu-se que a superfície de cedência no plano (s,p) entre as sucções correspondentes a essas humidades relativas é vertical. Os valores do índice de compressibilidade ( $C_c$ ) do índice de expansibilidade ( $C_s$ ) e da tensão cedência encontram-se na Tabela 2.

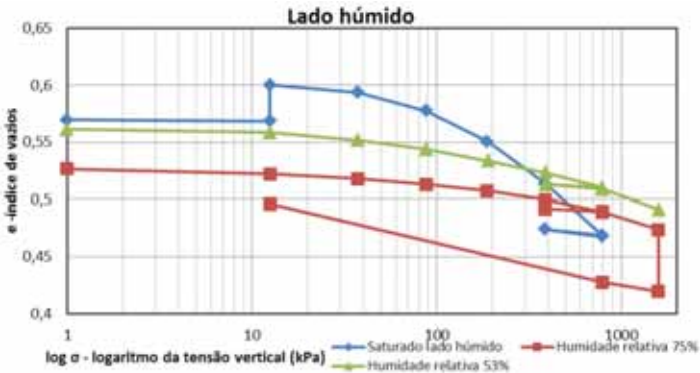


Figura 9: Ensaio edométrico no plano (e,log  $\sigma$ ) de amostras compactadas do lado húmido

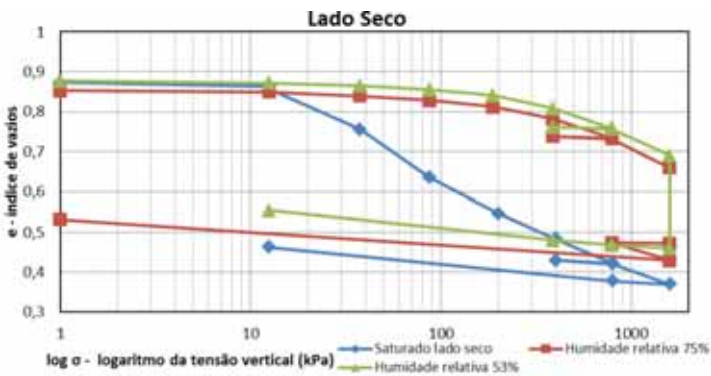


Figura 10: Ensaio edométrico no plano (e,log  $\sigma$ ) de amostras compactadas do lado seco

Tabela 2: Valores admitidos dos parâmetros obtidos nos ensaios edométricos

	Lado húmido (e=0,552)			Lado seco (e=0,867)		
	$C_s$	$C_c$	$\sigma_y$ (kPa)	$C_s$	$C_c$	$\sigma_y$ (kPa)
Solo saturado	0,020	0,15	121	0,030	0,24	14
Solo não saturados	0,010	0,05	203	0,015	0,22	270

Para cada lado da curva, como esperado, a compressibilidade aumenta com o aumento do teor em água já que foram medidos valores superiores para os provetes saturados quando comparados com os não saturados. A comparação dos resultados para os dois lados da curva não é directa já que é afectada pelos vazios das amostras preparadas de um e outro lado da curva. Deste modo, observou-se colapso na saturação sob tensão vertical baixa que é explicada pela destruição da disposição dos agregados. Este mecanismo explica a maior compressibilidade destas amostras quando comparadas com os valores medidos nas amostras compactadas do lado húmido. A perda de estrutura induzida pela saturação é confirmada pela comparação do comportamento de amostras saturadas com o de amostras desestruturadas (Reis, 2010) [8].

O maior índice de vazios das amostras compactadas do lado seco também explica a baixa tensão de cedência medida em condições saturadas. Para as amostras não saturadas os resultados são os esperados já que se obtêm maiores valores de tensão de cedência para os provetes compactados do lado seco. Deste modo o domínio elástico é maior do lado seco, o que se explica pelo facto de a estrutura ser floclada.

Finalmente foi medida indirectamente a permeabilidade (Reis, 2010) [8] a partir dos ensaios edométricos. Esta propriedade depende essencialmente da dimensão, geometria e quantidade de macroporos no solo percolado. Obtiveram-se valores menores nas amostras compactadas do lado húmido, o que é explicado pela sua estrutura dispersa (apenas microporos).

#### 4.4 Ensaios triaxiais

Os parâmetros de resistência ao corte saturada de amostras compactadas do lado seco e húmido da curva de compactação (ótimo  $\pm 2\%$ ) foram medidos a partir de ensaios triaxiais consolidados não drenados.

Como se observa na Figura 11 foi registado um comportamento dúctil na rotura. Desta forma, a superfície de corte das amostras foi corrigida de modo a obter valores mais realistas da tensão aplicada.



Figura 11: Amostra após ensaio triaxial consolidado não drenado

A Figura 12 mostra os resultados obtidos para as amostras compactadas do lado húmido (a)) ou seco (b)) do óptimo (Reis, 2010) [8]. O ângulo de resistência ao corte e a coesão aparente necessários para definir a envolvente de rotura Mohr Coulomb encontram-se na Tabela 3.

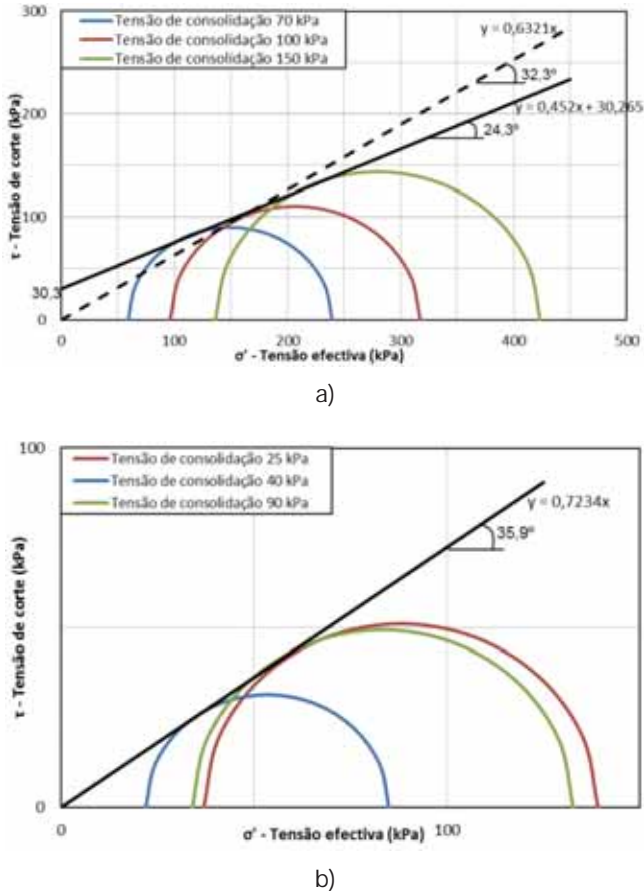


Figura 12: Envolvente de rotura Mohr-Coulomb para as amostras compactadas do lado húmido (a)) e seco (b))

Como se observa na Tabela 3, a coesão aparente das amostras do lado húmido é considerável. Na realidade, devido à teoria dos estados críticos deveria ser nula pois, no estado crítico, todas as ligações entre partículas são desfeitas. Por outras palavras, a teoria diz que na rotura ao corte a estrutura induzida pelo processo de compactação é destruída. Deste modo, esta coesão aparente corresponde ao erro do ensaio (mais detalhes em (Reis, 2010) [8]). Assumindo que a coesão aparente é nula, o ângulo de resistência ao corte tem um valor próximo do do lado seco.

Contudo, Wheeler e Sivakumar (2000) [11] referem que a estrutura afecta os parâmetros de resistência ao corte. Estes autores referem que a desestruturação poderá não ser completa ou diferente para amostras compactadas do lado húmido ou do lado seco da curva de compactação. Os mesmos autores dizem também que do lado seco, devido à sua estrutura (macro e micro estrutura) os macro poros são mais facilmente destruídos, enquanto os microporos poderão não atingir o estado crítico. Por outro lado, como no lado húmido apenas são destruídos micro pores,

deste modo explicam-se as diferenças observadas. Por esta razão, os autores afirmam que o mesmo solo compactado com diferentes teores em água devem ser estudado separadamente, ou seja, amostras compactadas do lado seco ou lado húmido comportam-se de forma diferente e como tal, devem ser considerados materiais diferentes. Para mais detalhes consultar (Reis, 2010) [8].

**Tabela 3:** Parâmetros de resistência ao corte das amostras compactadas do lado húmido e do lado seco

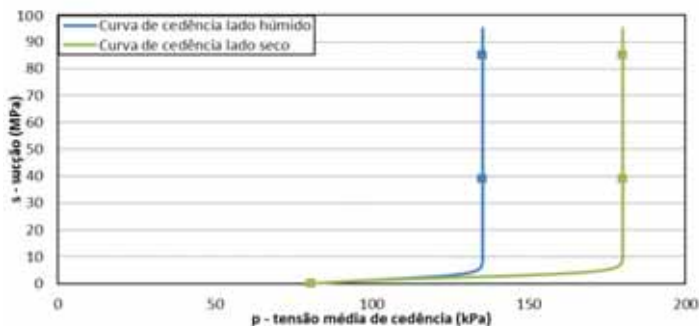
	Envolvente de rotura não passa na origem		Envolvente de rotura passa na origem
Correcção da área	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)	$\phi'$ (°)
Lado húmido	30,3	24,3	32,3
Lado seco	0,8	35,3	35,9

## 5. CALIBRAÇÃO DO BARCELONA BASIC MODEL

O Barcelona Basic Model é um modelo constitutivo elastoplástico, formulado para considerar o efeito da sucção no comportamento dos solos (Alonso, et al., 1990) [3].

Através dos ensaios edométricos realizados foi possível obter os parâmetros relativos à curva Loading Collapse (equação 2): tensão média de cedência saturada ( $p_0^*$ ) e não saturada ( $p_0$ ), tensão isotrópica de referência ( $p_c$ ), índice saturado ou não saturado de compressibilidade elastoplástica para variação isotrópica de tensão ( $\lambda$ ) (dado pela equação 3, em que  $r$  e  $B$  são constantes calibradas com os resultados dos ensaios edométricos) e índice de compressibilidade elástica para variação isotrópica de tensão ( $\kappa$ ). Os parâmetros encontram-se na Tabela 4 e as curvas na Figura 14.

$$\left(\frac{p_0}{p^c}\right) = \left(\frac{p_0^*}{p^c}\right)^{\frac{\lambda(0) - \kappa}{\lambda(s) - \kappa}} \quad (2) \quad \lambda(s) = \lambda(0)[(1-r)e^{-\beta s} + r] \quad (3)$$



**Figura 14:** Curvas de cedência obtidas para as amostras compactadas do lado húmido e seco

Como referido em (Reis, 2010) [8], adoptou-se para o lado seco a tensão média de cedência utilizada para o lado húmido, obtendo-se valores mais realistas e correspondentes aos apresentados na bibliografia (Alonso & Pinyol, 2008) [2].

Finalmente, os ensaios triaxiais saturados permitiram obter o declive na linha de estados críticos, que depende do ângulo de resistência ao corte ( $\phi'$ ). Não foram realizados ensaios de modo a obter a taxa de aumento da resistência à tracção com a sucção.

**Tabela 4:** Valores adoptados para a calibração do Barcelona Basic Model

	Lado húmido	Lado seco
$\kappa$	0,0044	0,0065
$\lambda(0)$	0,0652	0,1044
$p_0^*$ (kPa)	80,7	80,7
$p^c$ (kPa)	61,7	70,3
$r$	0,2988	0,1996
$\beta$	0,999	0,999
$\phi'$ (°)	32	36

## 6. CONCLUSÃO

Os ensaios laboratoriais realizados permitiram estudar o comportamento hidro-mecânico de um solo argiloso compactado com diferentes teores em água e mesmo índice de vazios, de forma a verificar as diferenças entre ambas quando sujeitas a variações de tensão ou sucção. Os resultados obtidos reflectem as diferentes estruturas induzidas pelo processo de compactação.

Com estas análises, é possível tecer alguns comentários relativamente ao que leva à prescrição de um intervalo de compactação para uma obra de aterro de vias de comunicação diferente do de uma barragem de terra. Assim, tendo em conta que num aterro de vias de comunicação se adoptam sistemas eficazes de drenagem assegura-se que o teor em água do solo se manterá praticamente constante. Adopta-se assim a prescrição de um intervalo de compactação do lado seco da curva de compactação, obtendo-se assim parâmetros de resistência e rigidez mais elevados. É de salientar no entanto que em caso de molhagem do solo do aterro, as suas características podem ser significativamente alteradas inclusive podendo conduzir ao colapso da estrutura geotécnica.

Para um aterro de uma barragem de terra o solo será saturado ou estará sujeito a ciclos de secagem-molhagem pelo que é prescrito um intervalo de compactação do lado húmido. Este garante as características de resistência e rigidez necessárias e ainda confere alguma ductilidade à estrutura. A compactação neste intervalo reduz as variações volumétricas na molhagem pois as variações na sucção imposta são menos significativas. Finalmente, do lado húmido o solo é também mais plástico, garantido mais flexibilidade permitindo que aterros zonados se possam deformar sem fendilhar.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Alonso, E. (2004). **Suelos Compactados en la Teoría y en la Práctica**. Revista Carreteras.
- [2] Alonso, E., & Pinyol, N. (2008). **Unsaturated Soil Mechanics in Earth and Rockfill Dam Engineering** - *Unsaturated Soils: Advances in Geo-Engineering*. Eds. Toll, DG, Augarde, C.E., Gallipoli, D. and Wheeler, S.J., pp. 3-32.~
- [3] Alonso, E., Gens, A., & Josa, A. (1990). **A Constitutive Model for Partially Saturated Soils**. *Géotechnique*, 40, 3: 405-430.
- [4] Lambe, T. W. (1958). **The Structure of Compacted Clay**. Journal Soil Mechechanics. Foundation Div., ASCE 84, No. SM2, paper 1654.
- [5] Mitchell, J., Soga, K. (2005). **Fundamentals of Soil Behavior**. John Wiley & Sons.
- [6] Proctor, R. R. (1933). **Fundamental Principles of Soil Compaction**. *Engineering News Record* 11, 245-248, 286-289, 348-351.
- [7] Romero, E., Gens, A. and Lloret, A. (1999). **Water permeability, water retention curve and microstructure of unsaturated compacted Boom clay**. *Engineering Geology*, 54, pp. 117-127.
- [8] Reis, A. (2010). **Comportamento Hidro-mecânico de um Solo Compactado com Diferente Teor em Água e mesmo Índice de Vazios**. Tese de Mestrado de Bolonha, Instituto Superior Técnico.
- [9] Seed, H., Chan, C. (1959). **Structure and Strength Characteristics of Compacted Clays**. *Journal of the SMFD, ASCE, 85 (SM1)*, 87-128.
- [10] Van Genuchten, M. T. (1980). **A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils**. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44, pp. 892-898.
- [11] Wheeler, S., & Sivakumar, V. (2000). **Influence of Compaction Procedure on the Mechanical Behaviour on an Unsaturated Compacted Clay. Part 2: Shearing and Constitutive Modelling**. *Géotechnique* 50, No. 4, 369-376.

# Actualização MLU da Aeronave F-16 Fighting Falcon – uma Arma para Novas Missões?



Autor: João Apóstolo, Aspirante Aluno do Mestrado Integrado  
na Especialidade de Pilotagem Aeronáutica  
Academia da Força Aérea, Sintra

Orientador: Professor Doutor Paulo Cardoso do Amaral  
Faculdade de Ciências Económicas e Empresariais  
Universidade Católica Portuguesa, Lisboa



**Resumo.** No contexto do novo conceito de guerra da informação, a necessidade de disseminação da informação para todo o espaço informacional transporta a capacidade de lutar das armas e plataformas para os sistemas de informações. É neste contexto que a Força Aérea Portuguesa, apostando na actualização das suas plataformas, surge com a operação do F-16 MLU (Middle Life Upgrade). Novas missões ISR, desenvolvimento de operações de informação e possíveis melhoramentos nas missões superiormente cometidas são analisados, no sentido de equacionar todo o potencial da plataforma. Pela envolvente transformacional e decorrente adaptação das Forças Armadas a cenários de conflitos actuais este caça actualizado, iguala o nível de sofisticação dos nossos Aliados, ficando assim preparado para fazer parte desta nova Era da Guerra da Informação. A necessidade de adopção de doutrina específica adequada a operações e missões num espectro alargado de conflitos conjectura-se como factor chave para o desenvolvimento de uma Força Aérea de excelência.

**Palavras-chave:** ISR, Guerra Centrada em Rede, Operações de Informação, Guerra de Informação, Actualizações MLU.

## 1. INTRODUÇÃO

Os conflitos do futuro, o modo de emprego dos sistemas de armas e a influência que exercem no campo de batalha são temas que ao longo do tempo têm sido levantados [1]. A revolução e evolução a que temos assistido no sector bélico fariam prever em conflitos actuais um poder de destruição e aniquilação que apenas confrontaria os estados através das suas forças armadas [2].

Contudo, os conflitos deste século caracterizam-se por um factor surpresa, onde a arma predominante é a informação, aliado a uma incerteza por parte dos actores envolvidos, que surgem de vários contextos e pontos do planeta. Desenvolvem-se num mundo assimétrico com fortes desequilíbrios quantitativos e qualitativos, onde tais actores recorrem cada vez menos à força e operações no terreno, optando por gerir o “*Situational Awareness*” e agir na superioridade informacional [3].

No actual ambiente operacional, o mais importante é o domínio da informação, mais precisamente o acesso, o controlo e o respectivo processamento desta. Transformada em conhecimento, resta a partilha e disseminação da informação em tempo útil [4]. O objectivo nos cenários de conflito começa a passar não pelo aniquilar, desaparecer ou destruir, mas imobilizar, controlar e moldar o comportamento do inimigo. Tudo, de forma a criar um ambiente favorável às nossas operações e ao desenrolar da missão, minimizando as perdas e evitando reacções negativas por parte da opinião pública [4]. Sujeitos a tal carga de informação, como podemos tirar partido das novas tecnologias que colocam à nossa disposição um volume cada vez maior de informações?

As novas tecnologias e a digitalização das unidades ditam novas doutrinas estratégicas, táticas e organizacionais. A tendência para a robotização e integração de novos sensores do campo de batalha vem facilitar o processo de obtenção de informações colocando-o ao alcance de todos.

A aeronave F-16 *Fighting Falcon* está actualmente a ser alvo de uma reestruturação e um conjunto de *updates*, ao nível de *software* e de *hardware*, fruto da necessária actualização no seu período de meia vida. Equipada com novos sensores e tecnologia de ponta, esta aeronave encontra-se ao nível dos melhores caças da actualidade, compatibilizada com uma sociedade em rede, conferindo novas capacidades e facilidades na execução da missão conferida as Esquadras que a operam. A questão fulcral que atinge o objectivo do trabalho e que é a base orientadora do mesmo está transposta na seguinte pergunta de investigação:

**“Quais as novas capacidades ISR permitidas pelas actualizações MLU num contexto da Guerra de Informação?”**

Para a investigação realizada, a hipótese subjacente, e que se assume como um pressuposto, é a seguinte:

“Se existe uma actualização da aeronave F-16 com sistemas ISR, são conferidas novas capacidades à plataforma, enquadradas nas a missões da Esquadra e nos requisitos operacionais superiormente cometidos”.

É no âmbito de perceber como está a ser explorada, nas Esquadras 201 e 301, toda esta envolvente da Guerra de informação que o trabalho está desenvolvido. Simultaneamente tenta perceber-se de que forma as actualizações MLU à aeronave F-16 contribuem para que esta se possa adaptar às novas realidades e exigências dos cenários de conflitos actuais.

O documento divide-se em quatro secções sendo a presente a primeira. A segunda secção apresenta literatura relevante sobre os conceitos mencionados. A terceira, e mais importante, foca-se na análise de toda a informação relativa à aeronave, interligada com conceitos de GI, operações de informação e guerra centrada em rede. A última secção é uma breve conclusão de todo o trabalho realizado.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

Nesta secção estão contidas as ideias, raciocínios, factos e a definição dos conceitos essenciais para o processo em estudo. São abordadas temáticas relevantes ao presente trabalho como a apresentação da aeronave F-16, actualizações MLU, missões a nível nacional e uma abordagem à Guerra da Informação, Guerra Centrada em Rede, sistemas ISR e Operações de informação.

### **2.1 A aeronave F-16 *Fighting Falcon***

O avião F-16 *Fighting Falcon* resulta, com efeito de um programa americano de construção de um caça ligeiro, cuja origem remonta a 1972 e cuja realização aparece como uma consequência da guerra no Vietname.

Capaz de suportar acelerações até 9G's esta aeronave permite desempenhar operações reais de defesa aérea e combate ar-ar. Possui um canhão de 20mm, com uma cadência de tiro de seis mil disparos por minuto, computador de tiro, radar, e mísseis ar-ar, que fazem desta aeronave um temível sistema de armas. O seu avançado sistema de controlo, os aviónicos, os sistemas de auto-protecção, a facilidade de manutenção e, de uma forma geral, a avançada tecnologia da sua construção, são outras das razões que tornam esta aeronave excelente para o combate aéreo.

Este é um caça que oferece brilhantes desempenhos em qualquer situação de voo, volta, acelerações e mesmo em velocidade ascendente. Dotado de estabilidade longitudinal negativa e com centro de gravidade atrás do ponto de centragem normal conferem a este avião uma instabilidade natural em voo subsónico e supersónico que permitem grande envelope de manobras e raio de acção

## 2.2 Missão Nacional Conferida as Esquadras

Segundo o Anexo A da directiva N.º 7/2007 do Chefe de Estado Maior da Força Aérea, a Esquadra de voo 301 dos “Jaguares”, e a 201 “Falcões”, sitas na BA5 em Monte Real, a operar estes modernizados caças têm como missão: a execução de operações de defesa aérea e de ataque convencional. Este tipo de missão incorpora:

- Operações de luta aérea defensiva;
- Operações de luta aérea ofensiva, excepto *Supression of Enemy Air Defenses* (SEAD);
- Operações de *Anti-surface Force Air Operations* (ASFAO) em todo o espectro AI (*Air Interseption*), CAS (*Close Air Suport*), ASuW (*Anti-surface Warfare*) – excepto ASW (*Anti-submarine Warfare*).

Com o desempenho destas missões visa-se o cumprimento da missão cometida superiormente à Força Aérea e manutenção de qualificações NATO permanentes. Neste âmbito, as Esquadras gerem o seu próprio sistema de armas tendo vindo a adaptar-se às novas modificações nas suas aeronaves.

Prova desta situação são os elementos colocados, responsáveis pela parte das informações, que gerem, analisam e tiram conclusões das informações dadas pela plataforma que a Esquadra opera - a aeronave F-16. Estas informações após recebidas e tratadas surgem como *inputs* para a Esquadra de voo, e até mesmo como dados essenciais para a actualização dos instrumentos da aeronave.

As Esquadras consideram-se assim compatibilizadas com uma sociedade em rede e mais especificamente inseridas num sistema de ISR. Auxilia deste modo as tomadas de decisão, no poder táctico, operacional e estratégico nacional.

## 2.3 Modificações MLU

Pelo Programa *Peace Atlantis I* Portugal recebeu vinte aeronaves F-16 bloco 15/OCU novas, das quais dezassete eram aeronaves monolugar e três bi-lugar. Posteriormente, segundo o programa *Peace Atlantis II*, Portugal recebeu sem custos, vinte aeronaves F-16 usadas e outras cinco para eventual reposição de peças.

Contudo começaram a desenvolver projectos para que as características operacionais para as quais a aeronave estava concebida não fossem perdidas. A solução foi ditada pelo desenvolvimento de um programa de actualizações, MLU.

Genericamente, estas modificações incluem novos mísseis ar-ar AIM-120 AMRAAM de médio alcance, armamento de precisão, novos capacetes JHMCS (*Joint Helmet Mounted Cueing System*), computador de voo sofisticado e consequente actualização do software de combate.

Redesenho do cockpit e do interface piloto-máquina, radar com melhores capacidades, quer no emprego ar-ar, quer em ar-solo, identificador electrónico de aeronaves, incorporação de GPS (*Ground Position System*), incorporação de *Data Modem* e de *Link16*. Inclui também capacidade de comunicação criptográfica, bem como capacidade de utilização de *Night Vision Goggles* e de sistemas de auto-protecção.

Esta transformação confere à aeronave novas capacidades, sendo as mais relevantes a detecção de alvos aéreos e terrestres a longa distância, operação em quaisquer condições meteorológicas e de luminosidade. Identificação de outras aeronaves através de meios de detecção electrónica, integração em redes de gestão do campo de batalha, emprego de mísseis anti-aéreos, armamento anti-navio e anti-terrestre de longo alcance e armamento de precisão com guiamento LASER ou GPS.

É também instalado um *pod* de designação de alvos *Litening AT (Advanced Targeting)* que permite detectar, reconhecer, identificar, localizar e marcar alvos no solo à luz do dia, de noite e em condições climatéricas adversas.

O programa MLU confere novas características e funcionalidades que compatibilizam as aeronaves com os requisitos da NATO, bem como as colocam no mesmo patamar de sofisticação dos nossos aliados.

## 2.4 Guerra de Informação

O conceito de Guerra de Informação pode ser definido como o conjunto de “acções desenvolvidas para obter a superioridade informacional, afectando entre outros, processos baseados em informação, sistemas de informação e redes baseadas em computadores”. Trata-se de utilizar a informação como um elemento de combate, sendo que a gestão da informação é um importante elemento na sincronização das operações.

O conceito de Guerra de Informação corresponde à análise da informação relevante sobre aspectos de conflitualidade entre actores de uma sociedade.

Vivemos na Era da Informação. Uma terceira vaga, apelidada de era da informação ou conhecimento, é caracterizada pela flexibilidade, centralizada nas tecnologias da informação [5].

Este tipo de guerra reveste-se de características peculiares, quando comparada a outros tipos de guerras convencionais. Os alvos, as origens e os tipos de ataque são agora bastante mais difíceis de identificar. A “Guerra da Informação” é uma forma de guerra que passou a existir desde o tempo de paz, sendo que não se declara e dificilmente se tem noção de quando esta a ser desencadeada. Esta, passa assim em sentido lato a enquadrar-se nos aspectos de segurança dos interesses dos cidadãos, estados, organizações nacionais e supranacionais

de interesse público, bem como no campo económico a agir no âmbito da competitividade, levando empresas à superioridade informacional.

Contudo, surge necessidade de desenvolver as qualidades exactas de obtenção de informação e das tecnologias de comunicação, bem como os tradicionais conceitos de operações, organizações militares e as diversas aproximações de comando e controlo [6].

O misticismo da guerra pode ter sido significativamente reduzido mas nunca desaparece, continuando a ser o principal inimigo das organizações. Aprender efectivamente a lidar com esta constante redução é o desafio fundamental da Era da Guerra de Informação [6].

## 2.5 Guerra Centrada em Rede

A *Guerra Centrada em Rede* é um conceito que visa o ajuste dos desenvolvimentos tecnológicos e organizacionais em aplicação no sector comercial, à realidade militar, retirando todos os proveitos do funcionamento em rede. A aplicação deste conceito baseia-se na capacidade de obter informação e utilizá-la como vantagem competitiva contra o adversário, passando assim uma das partes a possuir vantagem informacional [1].

A Guerra Centrada em Rede revela-se portanto uma resposta aos novos desafios militares e oportunidades criadas na Era da Informação. Reveste-se de características peculiares que passarão a afectar as capacidades disponíveis no campo de batalha, bem como a natureza do ambiente onde os conflitos decorrerão

O termo GCR é utilizado para descrever um conjunto de aproximações tecnológicas às Operações Militares. Este permite a interligação de Forças em Rede que pressupõe a facilitação no domínio físico, desenvolvimento da doutrina, da táctica, e novas técnicas de combate que permitam à força desenvolver uma vantagem informacional. Por outras palavras, a Guerra Centrada em Rede baseia-se no desenvolvimento e partilha da informação essencial na condução de operações, assegurando o nível de *awareness* a todos os níveis de acção. Esta diz-se *Centrada em Rede* pela possibilidade de, através da actual tecnologia digital ter-se acesso em rede a informações em vários locais distintos simultaneamente, e processar toda esta informação disseminando-a no imediato a quem dela precisar para a tomada de decisões

As forças ligadas em rede aumentam drasticamente a sua capacidade de acesso, partilha e troca de informações, comparativamente a forças que não dispõem de tal.

Em suma, ocorre uma transformação da Superioridade Informacional em Poder de Combate, fornecendo uma nova estrutura de trabalho através da qual se podem avaliar as operações militares e as organizações [1].

## 2.6 Conceito ISR

A guerra na Era da Informação vem requerendo um enorme e complexo planeamento, coordenação, capacidade de acção e improviso em curto espaço de tempo, reforçado pelo completo conhecimento do "*Situational Awareness*". O "conhecimento" intensivo do ambiente que nos rodeia bem como a capacidade de troca de informações amigas e inimigas é inteiramente necessário como meio de ensaio para a previsão dinâmica da batalha [6].

O conceito de *Intelligence* é visto como informação e conhecimento, obtido através da observação, investigação, análise e conhecimento de dados/factos.

*Surveillance and Reconnaissance* são termos que se referem ao modo como a informação é percebida. Isto é, o conceito de *Surveillance* pressupõe uma sistemática observação e recolha de informação disponível, enquanto o reconhecimento propriamente dito é um tipo de missão a executar da qual pretendemos informação e ou dados muito específicos [7].

Trata-se no fundo de um processo de identificação, recolha, exploração, processamento, análise e interpretação de informação para ajudar uma organização a atingir os seus objectivos - Estratégicos, Operacionais e Táticos.

Após a identificação de um alvo, as várias fontes de *Intelligence* devem fornecer informações precisas para empregar com sucesso a arma e proceder a uma avaliação dos danos causados. Esta é a chamada sequência "*sensor to shooter*", onde está patente uma mobilidade de dados que vai desde o sensor de identificação do alvo até à arma, passando pelo tratamento inicial da informação, análise e decisão final para com o alvo.

A componente ISR representa assim o sistema que faz a ponte entre os sensores/fontes de informação com os níveis de decisão sejam estes a nível estratégico, operacional ou tático, devolvendo uma resposta para a plataforma/sistema de armas de modo a que esta possa agir em conformidade com as decisões tomadas.

## 2.7 Operações de Informação

Cada vez mais as INFO OPS são referidas como "*operações baseadas em efeitos no domínio da informação*", destinadas a moldar, através de um conjunto coordenado de acções e efeitos, o ambiente de informação, produzindo uma vantagem operacional [8].

Estas são operações que passam pela afectação da informação adversária e dos seus sistemas de informação, enquanto é garantida a superioridade informacional e protecção da nossa própria informação. Passam por operações de influência que se caracterizam pelo emprego de comportamentos, protecção das operações e projecção activa de informação, que causem mudanças de comportamentos na estratégia do adversário de modo a ir ao encontro da nossa estratégia e objectivos da missão [8].

Constituem operações de informação as seguintes: operações psicológicas, decepção militar, operações de segurança e contra-inteligência, contra-propaganda, operações de assuntos públicos, operações de guerra electrónica e operações de guerra centrada em rede.

Este tipo de operações podem ser ofensivas ou defensivas, tratando-se de uma arma para a "protecção ou disrupção das massas", com equivalentes consequências, económicas e sociais, à posse de armas de destruição massiva por parte dos Estados. Tal importância leva a que o campo da política e estratégia da Informação devam ser cuidadosamente desenvolvidos, como forma de controlo de actividades e tecnologias no âmbito das Operações de Informação.

### 3. F-16 MLU E AS OPERAÇÕES DE INFORMAÇÃO: UMA DISCUSSÃO NO CONTEXTO DA GUERRA DE INFORMAÇÃO

Esta secção interliga e analisa o conceito de operações de informação no contexto de GI tendo em conta as actualizações MLU à plataforma F-16. Uma abordagem ao tema da superioridade informacional e a busca constante pela actualização da doutrina é também debatida no âmbito de GI.

#### 3.1 Aplicação das Info Ops num cenário de conflito

Operações realizadas nos cenários de conflito actuais assentam na utilização de sensores em busca de dados e informação que posteriormente é fornecida a centros de decisões. Analistas dessa *Intel* avaliam e analisam, sendo a informação usada para dissimulação, estratégias de decepção e como forma de negar informação ao inimigo.

Todas as operações passam pela constante busca de superioridade informacional. Esta, inclui técnicas militares tradicionais como destruição de infra-estruturas críticas ou passa mesmo pela negação/decepção de informações. Outras aproximações como técnicas de *jamming* e interceptação, técnicas computacionais (vírus e outros tipos de *malware*), assim como o uso da comunicação social, revelam-se eficazes sistemas de informação com o único objectivo da criação de uma decisiva vantagem informacional [6].

A aeronave F-16 MLU por sua vez é uma plataforma que através das suas actualizações permite o desempenhar algumas das missões como as supra mencionadas em qualquer cenário de combate. O sistema de guerra electrónica (*Electronic Warfare System*), por exemplo, é alvo de novas modificações ao nível do RWR (*Radar Warning Receiver*), do *pod* de guerra electrónica e de um sistema avançado de *chaff/flare*. Este permite todo um conjunto de operações que passam pela destruição redução ou neutralização da capacidade de combate inimiga. Fazendo uso do espectro electromagnético este tipo de operações reduz a capacidade de actuação e de resposta inimiga, revelando-se um elemento vital nas operações de combate.

O desenvolvimento destas operações revela-se mais fácil, eficiente, politicamente mais aceitável e muito menos agressivo aos olhos do público em geral quando comparadas com operações militares convencionais [8].

Com novas capacidades e técnicas, é de esperar um crescimento da Estratégia Militar que reflete a relação entre este tipo de operações e o domínio da informação, como fontes de potencial interesse para a condução das operações militares. Revela-se também de extrema importância o enquadramento, actualização ou mesmo desenvolvimento de tecnologia neste âmbito, como forma de inserção dos nossos sistemas de armas num novo contexto e ambiente operacional.

#### 3.2 As actualizações MLU integradas com as exigências da Guerra Moderna

O grande desafio a vencer será, sem dúvida, o de adquirir e operar sistemas de armas, de detecção C4ISTAR que sejam interoperáveis com os de seus aliados, no quadro da NATO ou da União Europeia [9].

A interoperabilidade revela-se um conceito de especial importância, uma vez que nenhum ramo das forças armadas consegue, de forma isolada, resolver um conflito a seu favor. Este conceito reveste-se ainda de maior importância quando consideramos forças de diferentes Estados envolvidos na resolução de um conflito [9]. A ideia da partilha de informação pela rede de comando e controlo, garantindo a interoperabilidade em ambiente conjunto e combinado, tem sido levada em conta na aquisição dos sistemas de armas pela FAP.

O sistema de armas F-16 *Fighting Falcon* vê assim melhoradas e actualizadas as suas características e capacidades pelo programa MLU. Fruto da exigências da “Guerra Moderna”, e de acordo com o programa de *updates*, esta sofisticada plataforma sofre principalmente modificações em 3 níveis: *Hardware*, *Software* e em equipamento específico para o piloto.

Imagens e informações de novos ecrãs e do HUD holográfico de grande ângulo, podem ser gravadas através de um sistema de gravação visual e de áudio em cassetes as quais podem ser acedidas posteriormente para *debriefings* de missões [10]. A informação passa a ser apresentada ao piloto de modo a que a sua consciência da situação táctica possa ser a mais elevada possível e o processo de decisão mais expedito. Tal facto é possível através da apresentação do “*battle space*” em sistema *data link*, possibilitando a comunicação sobre a situação táctica, entre sistemas de armas amigas [9]. O JTIDS (*Joint Tactical Information Distribution System*) por exemplo, permite que em missões defesa aérea, seja feito um rastreio muito mais rápido de alvos, partilhando a posição destes com outras plataformas possibilitando a sua intercepção e eliminação.

De referir, a instalação do *pod* de reconhecimento e seguimento táctico de alvos, que para além de fazer o rastreio táctico de alvos, permite a iluminação de alvos para uso de armamento de precisão. Este é um equipamento que confere à aeronave novas valências no combate ar-ar e ar-solo, bem como novas capacidades de navegação nocturna e avaliação de danos pós-batalha.

Estes são equipamentos que facilitam operações das Esquadras como, a intercepção de aeronaves não identificadas, e desenvolvimento de operações conjuntas e combinadas onde é estendido todo o “*Situational Awareness*” a todos os níveis de operação.

A aquisição do sistema JHMCS revela-se uma explosão nas capacidades e tecnologia da aeronave, constituindo o sistema mais avançado do género do mundo. Juntamente com mísseis e armamento de precisão como o AIM-9X, este avançado sistema de interface produz uma excelente vantagem no combate aéreo. O sistema permite ao piloto bloquear alvos durante manobras apertadas com elevada carga G, e uso directo de armamento contra estes. Para além de melhorado, o processo de decisão, este pode agora ser transportado para cenários operacionais e ser executado em tempo real, revelando-se um excepcional sistema para a operação da plataforma em campos de batalha actuais.

Um novo sistema de identificação, GPS, e outras modificações de software conferem actualmente um grau adequado de interoperabilidade com outras forças, condição essencial e fundamental para a operação em futuros conflitos.

Outras modificações, principalmente ao nível dos sistemas aviónicos foram também executadas ao abrigo do programa MLU, colocando esta plataforma num plano altamente eficaz e versátil no desempenho das suas missões.



### 3.3 Superioridade tecnológica e informacional permitida pelo MLU do F-16

Para além de todos os melhoramentos de sistemas de armas e interface soldado-armas, é através da tecnologia desenvolvida que num cenário de conflito actual, a informação é captada e disseminada para todo o espaço informacional.

Pela utilização de novos sensores e tecnologia num campo de batalha, a informação e todo o “*Situational Awareness*” pode ser conhecido ao segundo tanto pelo soldado no terreno, como pelas chefias nos centros de decisão.

Um dos principais sistemas que fornece todo o SA na dimensão-ar, é o sistema *link 16*, um *link* de dados melhorado e usado para trocar quase em tempo real informação (comunicação, navegação e identificação) útil a sistemas de C4I. Fornece ainda identificação positiva, transmitindo e trocando periodicamente dados encriptados com outras aeronaves, melhorando a efectividade e condução das operações.

Numa época de submissão do espaço de batalha à tecnologia, só uma capacidade operacional de processamento de informação permite atingir vantagem sobre o inimigo. A Guerra de Informação pode ser usada para influenciar ou atrasar o processo de decisão do inimigo, preparando o espaço de batalha e ditando as regras do conflito. Este tipo de guerra permite as forças explorarem novas tecnologias e armamentos, aumentando a velocidade da batalha, impedindo o inimigo de comunicar ao atacar os seus sensores e centros de comando e controlo.

A aeronave possui sensores de alta capacidade de recolha de informação, flexíveis e capazes de apoiar um amplo espectro de operações contra o terrorismo. Informações derivadas de operações de HUMINT, o método mais valioso de recolha de informações, sendo sigilosas e altamente sensíveis, não são passíveis de se compartilharem com outros países. Assim, as informações/imagens recolhidas por uma plataforma como o F-16 fornecem a vantagem da perspectiva - a terceira dimensão - necessária em muitos dos casos para as tomadas de decisão.

O desenvolvimento deste tipo de operações revela-se uma mais-valia podendo vir a tratar das deficiências de informações estatais bem como constituir uma barreira ou mesmo uma atrição para a fixação ou movimentação de grupos terroristas dentro da nação.

A recolha, análise e partilha de informações recolhidas por novos sensores de uma plataforma como o F-16, podem assim revelar-se dados essenciais para a consecução de operações de reconhecimento e vigilância integrados no combate ao terrorismo e ameaças para o país.

### 3.4 Doutrina FAP e os conceitos de GI para as actualizações MLU

Desde a sua criação, a FAP tem sofrido profundas alterações endógenas provocadas quer pela participação em diversos cenários de combate, quer pela necessidade de se adaptar à missão requerida pelo nível político [9].

Para a Força Aérea, a questão será sempre a da utilização de meios aéreos e de observação do espaço aéreo em arquitecturas de rede aos diversos níveis: estratégico, operacional e tático. Contudo, e considerando a Era da Informação, grande parte dos conceitos e pilares basilares

para a concepção e condução da guerra nos novos cenários de conflito, só agora começam a ser desenvolvidos.

A FAP, organização militar de um país membro da NATO, tem tentado seguir os seus aliados na constante tarefa da transformação, incorporando documentos e doutrina da Aliança.

Actualizações a plataformas como o F-16 revelam-se um banco de ensaio para o conceito de transformação e constante evolução da tecnologia, doutrina e "*modus operandi*" a que a FAP tem sido sujeita, representando uma mais-valia para NATO e para a UE [9].

A NATO pretende o desenvolvimento de capacidades como a detecção, avaliação, recuperação, prevenção e defesa da Aliança e dos seus membros, de qualquer tipo de ataque cibernético contra os seus sistemas de importância crítica.

É a consciência de que os perigos e ameaças se encontram em constante mutação, bem como se revestem de características muito peculiares nesta Era da Informação, que gera a necessidade de desenvolvimento de doutrina e capacidades, por parte da NATO e dos seus membros, para lidar com tais situações. A estreita colaboração com outros actores, como a ONU e a União Europeia revelam-se também medidas imprescindíveis para enfrentar os riscos de segurança decorrentes do ciberespaço.

Esta é a razão pela qual a Força Aérea prima por possuir e operar tecnologia de ponta conjugada com as missões a si superiormente cometidas.

#### 4. CONCLUSÃO

O futuro passa pela revolução do pensamento militar [9]. A introdução de novos sistemas de armas deve constituir um pilar no processo de evolução da FAP, surgindo como uma "perturbação" na dinâmica e no "*modus operandi*" tradicionais das estruturas militares.

Depois de analisada toda a informação e interligados todos os conceitos é agora possível responder à questão central ou pergunta de partida:

*Quais as novas capacidades ISR permitidas pelas actualizações MLU num contexto da Guerra de Informação?*

Tendo em conta toda a análise efectuada, podemos concluir que as referidas actualizações MLU na aeronave se revelam uma mais-valia para as exigências das missões desempenhadas pelas Esquadras. Toda a operação da aeronave F-16, foi amplamente facilitada devido a sistemas capazes de colocar o operador da máquina – o piloto – com um conjunto de capacidades no centro de todas as operações. Capacidade de recolha, partilha e análise de dados em tempo real, fazem desta aeronave um centro de informações munido da capacidade de aniquilação pelo armamento disponível. A segurança que oferece à informação, mais especificamente na encriptação de dados, bem como a rapidez e fiabilidade na transmissão de informações, favorecem este sistema de armas na sua capacidade de comunicação com plataformas e meios envolventes.

A panóplia de sensores (TGP, radar, JHMCS, IFF, GPS) facilita a percepção de todo o meio envolvente à operação da aeronave, facilitando o reconhecimento, aquisição, seguimento tático

de alvos e coordenação para operações conjuntas e combinadas com outros ramos das Forças Armadas. Por sua vez, o armamento disponível nesta plataforma torna fiável a decisão de abate de qualquer tipo de ameaça, se tivermos em conta o armamento de elevada precisão e alcance, conjugado com os sofisticados sensores de guiamento e reconhecimento de alvos. Analisada toda a capacidade de recolha e gestão de informação, capacidade de ataque e características da aeronave mencionadas ao longo de toda a dissertação, podemos concluir que este é um sistema de armas que na actualidade se revela capaz de operar e enfrentar qualquer tipo de ameaça que se apresente nos actuais cenários de conflito.

No que respeita às qualificações NATO e a interoperabilidade entre os Aliados vêm-se facilitadas, uma vez conjugadas todas as capacidades oferecidas pela plataforma.

A manutenção permanente de qualificações para operação em cenários de conflito actuais, bem como uma evolução e integração das missões cometidas às Esquadras de F-16 adaptadas à revolução tecnológica dos adversários, fazem desta plataforma um alvo-chave para as missões de defesa do país. A constante revolução no pensamento militar que afecta a visão da NATO sobre as operações de informação deve constituir também preocupação para a FAP. Numa tentativa de evolução e actualização de plataformas, deve ver-se igualada ao nível de desenvolvimento dos seus aliados, salvaguardando os interesses e requisitos nacionais que vierem a ser solicitados. A influência da Era da Informação nas ciências militares deve ser tomada como um desafio de reflexão para as FFAA e neste caso para a FAP. Formar, organizar e operar em função de capacidades e competências devem constituir um pilar para a formação de uma Força Aérea de excelência, capaz de responder a todas as ameaças emergentes no âmbito da sua missão.

## 5. BIBLIOGRAFIA E SITIOS INTERNET

- [1] Ribeiro, T. Cor. Carlos O. - **Guerra Centrada em Rede - Um conceito Operacional Emergente no século XXI**. Proellium - Revista da academia militar, 2008.
- [2] Cravino, Janete - **Revolução Militar em Curso - Os Novos Contextos**. Revista Militar. 2006.
- [3] Alberts, D. S. Information Age transformation - Getting to a 21s century military. CCRP Publication Series. Washington DC - EUA: CCRP Publication Series, 1996.
- [4] Garcia, Francisco Proença - **A transformação dos conflitos armados e as forças da Revolução nos Assuntos Militares**. Revista Militar, 2005.
- [5] Toffler, Alvin; Toffler, Heidi - **Guerra e Anti-Guerra**. Lisboa, Livros do Brasil, 1994
- [6] Alberts, David S.; Garstka John J.; Hayes, Richard E.; Signatori and David T. - **Understanding Information Age Warfare**. Washington DC - EUA: CCRP Publication Series, 2001.
- [7] Chizek, J.G. - **Military transformation: Intelligence, Surveillance and Reconnaissance**, 2003.
- [8] Nunes, Paulo F. - **Operações de Informação: Enquadramento e Impacto Nacional**. Revista Militar, 2006.
- [9] Pereira, S. R. - **A transformação na Força Aérea Portuguesa**, 2006. [Consult Jan 2011] Disponível em: <[www.airpower.maxwell.af.mil/apjinternational/apj-p/2006/3tri06/pereira.html](http://www.airpower.maxwell.af.mil/apjinternational/apj-p/2006/3tri06/pereira.html)>.
- [10] 10. Salvada, P. - F-16 MLU - A complexidade do programa. Revista Mais Alto, Junho 2003.

# Análise Multi-Critério MACBETH no Processo de Decisão para Substituição de Aeronave de Treino



Autor: Luís Rosa, Alferes Aluno do Mestrado Integrado na especialidade de Administração Aeronáutica  
Academia da Força Aérea, Sintra

Orientador: Professor Doutor Pedro Luís Pereira Verga Matos  
Instituto Superior de Economia e Gestão  
Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa

Co-orientador: Guilherme Lobão, Coronel de Administração Aeronáutica  
Direcção de Finanças  
Força Aérea

**Resumo.** O processo de substituição de uma Frota de Aeronaves é muito mais que um simples acto rotineiro de gestão. Trata-se de um investimento que tem que ser estrategicamente delineado e pautado pelo rigor, economia, eficácia e eficiência, cuja decisão tem impacto designadamente nas Operações, na Logística e na Gestão Orçamental das Forças Armadas. Sabendo que a prazo poderá haver necessidade de proceder à renovação das aeronaves onde decorre o treino avançado (Aerospatiale Epsilon-TB 30 e Dassault/Dornier Alpha-Jet), pois as actuais possuem significativo valor de horas voo acumuladas, o presente artigo descreve os resultados da aplicação da metodologia multi-critério MACBETH ao processo de selecção de uma nova aeronave.

Para tanto, tomou-se como ponto de partida as características e as condições de fornecimento de várias aeronaves existentes no mercado, e estudou-se a aplicação do referido método já que são inúmeras as variáveis e critérios a ter em conta no processo de avaliação, tendo considerado como essenciais, o Custo de ciclo de vida; o Prazo de Entrega, Especificações Gerais; Logísticas, Técnicas.

O resultado da aplicação do método MACBETH permitiu referenciar a aeronave cuja solução se apresenta como de referência para a eventual substituição dos meios aéreos na formação de pilotos aviadores.

**Palavras-Chave:** Força Aérea, Estratégia, Análise de Projectos de Investimento, Análise Multi-Critério, M-MACBETH

## 1. INTRODUÇÃO

A Força Aérea, criada em 1 de Julho de 1952, tem ao seu dispor um conjunto de sistemas de armas com características de elevada especialidade em relação aos outros Ramos, como sejam a velocidade, a mobilidade, o alcance e a flexibilidade de emprego, quer seja em operações com meios exclusivos, quer seja em operações conjuntas ou combinadas.

Nestes contextos várias aeronaves de instrução da Força Aérea encontram-se numa fase próxima do abate (*phase-out*) pelo que a sua substituição a prazo é algo que há que equacionar.

Dada a natureza da Força Aérea uma das suas principais linhas de actuação é a constante procura da optimização dos custos, como factor associado à tomada de decisão (Reis, 2001) [26].

Seleccionar um Sistema de Armas é uma tarefa complexa, pois envolve diversos factores, quase sempre vezes com elevado grau de dependência entre si, ao longo do seu ciclo de vida, o qual inclui 3 etapas, a saber, Investimento Inicial, Operação e por fim o Apoio e Abate (Chambel, 2003) [13].

Neste contexto, desde finais dos anos 70 Tom Saaty tem-se debruçado acerca de como as pessoas resolvem problemas de decisão, sejam de ordem pública ou privada.

Tom Saaty é um matemático egípcio que se tornou famoso devido, entre outras coisas, ao propor soluções para uma variedade de conflitos internacionais (Palmer, 1999) [25], como por exemplo a obtenção de soluções de paz para o conflito Israelo-palestiniano auxiliado por colaboradores de ambos os lados, retirada de tropas norte-americanas do Iraque em 2003, mas também pela forma pioneira como desenvolveu a sua metodologia de análise multi-critério Analythic Hierarchy Process (AHP). Esta metodologia na sua versão Expert Choice tem-se revelado um sucesso e foi alvo de análise detalhada assim como foi apresentado um método

alternativo, (M-MACBETH) mais robusto e que foi aplicado no desenvolvimento do presente artigo.

Após uma breve síntese comparativa das actuais soluções multi-critério para problemas complexos o presente artigo apresenta os resultados do estudo determinando a:

- I – viabilidade da aplicação do método de análise multi-critério M-MACBETH à substituição de meios aéreos de instrução ao serviço da Força Aérea,
- e
- II – se é possível adaptar critérios tipo das decisões clássicas de investimento a um problema no domínio da defesa.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA DE METODOLOGIAS MULTI-CRITÉRIO

A decisão nas organizações é afectada por um elevado grau de complexidade e de incerteza. Para a complexidade concorrem factores como: (1) o esforço financeiro, (2) a dicotomia entre custos e benefícios; (3) a dificuldade em identificar os factores-chave para a tomada de decisão. Para o nível de incerteza concorre a dificuldade em prever as consequências das decisões a tomar.

Para que a decisão nas organizações seja a adequada é fundamental uma definição clara dos objectivos a atingir, uma recolha de informação fidedigna, completa e organizada do processo.

Como fundamentos teóricos da Análise de Decisão, estes remontam à *Teoria da Probabilidade* de Pascal de De Fermat (1654) e ainda à *Teoria da Utilidade Esperada* de Bernoulli (1738) com fundamentos axiomáticos de von Neumann e Morgenstern (1947) e de Savage (1951).

Foi de resto a *Teoria da Utilidade Esperada* que originou a *Multiple Attribute Utility Theory* (MAUT). Trata-se de um método com base na corrente da Escola Americana e na qual o valor de um critério ou de uma alternativa para um decisor depende da sua utilidade na decisão (Weingartner, 1977) [36].

Quanto à Escola Europeia, esta desenvolveu o primeiro método multi-critério de análise de decisão (MCDA) comparando pares de alternativas, na qual se procura estabelecer relações de superioridade entre as mesmas (Belton, 1985) [8] (Belton, 1986) [9].

O MCDA recorre ao conceito de *Outranking*, classificando as diversas alternativas em categorias ou simplesmente ordena-as para obter a melhor alternativa segundo as preferências do decisor. Permite identificar a melhor opção, ordenar opções, distinguir as possibilidades viáveis das não viáveis. Relaciona conceitos analíticos e metodológicos do domínio da Engenharia, normalmente associados a uma equipa de trabalho, com a conversão de informação em acção através da tomada de decisão da gestão. O *Outranking* é possível pois as preferências de um indivíduo racional, o decisor, podem ser descritas por relações de preferência ou atractividade, respeitando para isso os axiomas da teoria da decisão.

O MCDA assenta em 2 axiomas fundamentais: o da Ordinalidade e o da Transitividade.

De acordo com o primeiro, considera-se que o indivíduo é sempre capaz de expressar a sua preferência entre duas opções de acções. De acordo com o segundo, o decisor deve ser consistente nos seus julgamentos, ainda que os problemas de decisão em geral envolvam a consideração de múltiplos objectivos, frequentemente conflitantes entre si, e raramente uma opção seja sempre

a mais atractiva ou preferível às demais, considerando todos os objectivos. Este método permite uma melhor compreensão do problema e apoio à decisão, quando inserido em contextos multidisciplinares, ajudando na comunicação entre departamentos para que a organização tenha a perfeita noção do que se pretende a nível estratégico na tomada de decisão, tendo em conta os seus objectivos primários. Permite, ainda, a transparência dos métodos, o que é considerado um factor crítico no sector público, pois torna inteligível a sua actualização sistemática.

O MCDA na essência da sua metodologia tem diversos modelos sendo mais abrangentes e difundidos os:

- (1) que envolvem ordenação lexicográfica;
- (2) que assentam em *outranking* e *fuzzy logic* (lógica difusa);
- (3) aditivos.

Os modelos aditivos são os mais conhecidos e utilizados em MCDM, (Stewart, 1992) [31] tanto pela sua relevância para problemas reais como pela sua simplicidade. Nesta opção, o problema pode ser estruturado de maneira a que a função-objectivo ocupe o nível mais alto, vindo a seguir os critérios e subcritérios. A função multi-critério é aditiva sendo necessário que os critérios sejam mutuamente independentes quanto à preferência. São modelos compensatórios pois um fraco desempenho num critério ou subcritério, ainda que seja considerado o mais importante de todos, não impossibilita que face ao somatório das ponderações de todos os outros factores de ponderação não venha a ser afectado ou beneficiado na sua classificação geral. O procedimento de definir os limites de ponderação é arbitrário permitindo apenas a eliminação das piores alternativas, aquelas que são sempre dominadas pelas restantes.

Se os *tradeoffs* entre os critérios forem constantes, (Fishburn, 1989) [20] (Roy e Vincke, 1981) [27] (Watson e Freeling, 1982) [34] pode-se utilizar pesos constantes para reflectir as importâncias relativas dos critérios. Os pesos dos critérios podem variar em função das suas escalas de medida.

Ainda no âmbito do conceito de multi-critério MAUT, a metodologia AHP é porventura o método mais famoso, considerado simples, (Crowe *et al*, 1998) [17] capaz de avaliar informação objectiva e subjectiva (Chen e Li, 2001) [15] (Forman e Gass, 2001) [21], bem como de carácter tangível ou intangível. Com estas características, adapta-se à utilização em diferentes contextos, como por exemplo no económico, político, social ou ambiental (Chen e Wang, 2005) [14] (Cheng *et al*, 1999) [16] (Huang *et al*, 2008) [22] (Tam e Tummala, 2001) [32].

O AHP tem, no entanto, sido alvo de diversas críticas (Bana e Costa *et al*, 2001) [3] (Dyer, 1990) [18]. O ponto central em debate deve-se à inserção de novas alternativas poderem modificar posições relativas de posições originais, isto é, há interferência de novas alternativas na ordenação gerada, também conhecida por reversão no *ranking* (Bana e Costa e Vansnick, 2008) [5]. Trata-se de uma discussão antiga (Belton e Gear, 1983) [7] (Smith e von Winterfeldt, 2004) [30]. Há autores que defendem a inexistência de reversão no ranking, outros que comprovam a sua existência (Saaty, 2003) [28] (Schoemaker e Waid, 1982) [29] (Vargas, 1990) [33]. No entanto, as tentativas para amenizar as críticas não têm sido suficientes para tornar o método robusto.

Finalmente, a metodologia MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique) desenvolvida por Carlos António Bana e Costa (IST-UTL), Jean Marie De Corte e Jean-Claude Vansnick, ambos da Universidade de Mons-Hainau Bélgica, apresenta uma escala nominal de julgamentos e um teste de consistência do decisor utilizando, contrariamente

à metodologia AHP (Borcherding *et al*, 1991) [11] (Eckenrode, 1965) [19] (Weber e Borcherding, 1993) [35], uma escala de diferenças ou intervalar.

Este método permite a comparação par a par entre critérios e segundo intervalos qualitativos de julgamentos representados através da expressão de julgamentos absolutos de diferença de valor (atractividade) entre duas acções.

MACBETH é uma metodologia de análise de decisão que permite a avaliação de opções comparando-as qualitativamente em termos das suas diferenças de atractividade em múltiplos critérios. Ao longo da sua abordagem de processo consultivo o método engloba 4 fases, (Browlow e Watson, 1987) [12] a saber:

- (1) Análise de contexto e estruturação do processo de ajuda à decisão,
- (2) Estruturação dos elementos de avaliação;
- (3) Desenvolvimento do modelo multi-critério de avaliação;
- (4) Análise de sensibilidade e elaboração de recomendações.

Esta metodologia inova pelo facto de introduzir a possibilidade de gerar escalas numéricas baseadas em comparações de atractividade importantes, quando estas são difíceis de traduzir (intervalos de valor podendo ser facilmente adaptados para um modelo de ponderação variável, contrariamente ao AHP).

Ao ser permitida a adaptação para um modelo de ponderação variável, o decisor pode definir intervalos percentuais de ponderação de cada critério, em vez de fixar uma percentagem a esse mesmo factor decisório permitindo assim que a decisão seja mais flexível e correcta.

Para um utilizador é mais simples distinguir opções através de dados qualitativos e, embora aparente ser um método de pesos fixos, como o AHP, possibilita que o decisor escolha um valor dentro de um intervalo, podendo ser facilmente adaptado para um modelo de pesos variáveis (Bana e Costa e Vansnick, 1997) [6].

Esta metodologia consome menos tempo a alcançar a melhor decisão e permite determinar níveis de consistência, fazer uma análise de robustez e posterior discussão dos resultados obtidos, permitindo uma aproximação ao utilizador mais agradável e uma representação gráfica da escala de valores MACBETH (Bana e Costa e Chagas, 2004) [2]. Considera-se uma decisão robusta quanto mais inequívoca esta for, relativamente à sua superioridade não apenas a nível de classificação geral na análise de decisão efectuada, mas a nível individual, critério a critério.

Uma vez feitos os julgamentos absolutos de valor para cada ponto de vista fundamental (PVF), é necessária a obtenção de informações de natureza inter-PVF, determinando a importância relativa entre eles.

A avaliação global de uma alternativa geralmente utiliza um modelo de agregação aditivo simples dos PVF. Este tipo de avaliação global (Kao e Hung, 2007) [23] é-nos dada por:

$$V(a) = \sum_{j=1}^n p_j v_j(a) \quad \text{com} \quad \sum_{j=1}^n p_j = 1 \quad \text{e} \quad 0 < p_j < 1$$

Onde:  $p_j$  é o peso do  $j$ -ésimo critério

$v_j(a)$  é o valor parcial da alternativa  $a$  no  $j$ -ésimo critério

$V(a)$  é o valor global da alternativa  $a$



Todos os procedimentos de ponderação baseiam o cálculo das taxas de substituição nas respostas dos avaliadores às questões, as quais requerem da parte destes a comparação entre as alternativas de referência.

O processo de determinação das taxas de substituição ocorre em duas etapas: a primeira envolve a colocação dos PVF numa ordem hierárquica de importância; a outra inclui a identificação do juízo de valores dos Decisores, de forma a obter a quantificação das taxas de substituição. Para proceder à ordenação hierárquica de importância dos PVF é necessário estabelecer alternativas de referência para comparação. Estas alternativas de referência são definidas com base nos níveis Bom e Neutro dentro dos vários níveis de impacto, para cada PVF. Definidas as alternativas de referência, solicita-se ao Avaliador que exprima julgamentos holísticos sobre os PVF respondendo a questões como: *“Tendo os pontos de vista fundamentais PVF1 e PVF2 ambos no nível neutro, seria mais atractivo passar para o nível bom no ponto de vista fundamental PVF1 ou no PVF2, mantendo um nível consistente em todos os restantes?”*

O questionário é repetido até que todos os PVF tenham sido comparados entre si. A partir das respostas obtidas preenche-se uma matriz onde cada elemento  $X_{ij}$  vai assumir o valor 1 se passar do nível bom no PVFi for considerado mais atractivo que no PVFj ou o valor 0, caso não seja tão atractivo. A ordenação dos PVF é obtida somando-se o valor dos elementos  $X_{ij}$  em cada linha. Quanto maior o somatório da linha mais atractivo é o PVF. Com a ordenação dos PVF é necessário identificar o juízo de valores dos Decisores de forma a obter a quantificação das taxas de substituição. A quantificação destas taxas de substituição obtém-se com a construção de uma matriz onde os elementos estão ordenados numa sequência decrescente de importância, com o PVF considerado mais importante situado na linha mais à esquerda. O princípio de preenchimento da matriz de juízos de valor para a determinação das taxas de substituição, ou coeficientes de ponderação, é similar àquele utilizado na construção das escalas de valor cardinais para os níveis de impacto de cada PVF.

O último passo num processo de apoio multi-critério à decisão, antes de passar à avaliação global propriamente dita, é a determinação do impacto de cada acção sobre cada um dos pontos de vista fundamentais, ou seja, a determinação do perfil de impacto das acções potenciais. Um indicador permite “projectar” uma alternativa de projecto sobre os descritores do modelo multi-critério, permitindo seleccionar um ou mais níveis de impacto de cada descritor que sejam considerados como representativos das características daquela acção. A partir destes valores, e conhecendo-se as taxas de substituição é possível obter a atractividade global da alternativa utilizando a função de agregação aditiva.

### 3. CARACTERIZAÇÃO DA ACTIVIDADE OBJECTO DO ESTUDO

#### 3.1. Da formação do Piloto Aviador

A Força Aérea é um ramo das Forças Armadas dotado de Autonomia Administrativa que se integra na administração directa do Estado, através do Ministério da Defesa Nacional parte integrante do sistema de forças nacional e tem por missão cooperar, de forma

integrada, na defesa militar da República, através da realização de operações aéreas, e na defesa aérea do espaço nacional. Compete-lhe, ainda, satisfazer missões no âmbito dos compromissos internacionais, bem como nas missões de interesse público que especificamente lhe forem consignadas. Para que a sua missão seja atingida com sucesso a formação dos seus recursos humanos é essencial, nomeadamente, a que respeita aos Pilotos Aviadores

Neste contexto, o ciclo de formação de pilotagem engloba 7 etapas: (1) Estágio de Selecção de Voo (ESV), (2) Actividade Aérea Curricular (AAC), (3) Fase Elementar da Instrução de Pilotagem (Fase I), (4) Fase Básica da Instrução de Pilotagem (Fase II), (5) Fase Avançada de Pilotagem (Fase III), (6) Fase Especializada de Pilotagem (Fase IV) e (7) Unidade de Conversão Operacional (Fase V).

A Fase II e Fase III encontram-se são actualmente realizadas na aeronave Aerospatiale Epsilon TB 30. Na Fase IV introduz-se o voo operacional, desenvolvendo e aplicando procedimentos e tácticas consonantes com a utilização da aeronave como um Sistema de Armas. Introduce-se o emprego, a geometria e tácticas aplicáveis ao Sistema de Armas e ainda os conhecimentos para a gestão da missão em ambientes reais. Esta fase encontra-se é realizada operando a aeronave anteriormente referida e ainda aeronave Dassault/Dornier Alpha-Jet. Na Fase V a aeronave Dassault/Dornier Alpha-Jet assegura o ensino dos procedimentos e técnicas básicas de emprego operacional de aeronaves de combate – ver fotos abaixo.



Figura 1: Aerospatiale Epsilon TB 30



Figura 2: Dassault/Dornier Alpha-Jet

Face à idade e tempo de operação acumulado nas aeronaves que realizam a formação avançada de pilotos aviadores, nos termos do n.º1 do art. 17.º da Lei n.º 31-A/2009, de 7 de Julho, a Força Aérea constituiu um grupo de trabalho multidisciplinar a quem foi atribuído como missão estudar as opções em termos da eventual possibilidade de se proceder à substituição e/ou manutenção das actuais frotas de aeronaves atribuídas à formação avançada

### 3.2. Enquadramento legislativo do processo aquisitivo da Força Aérea – generalidades

As aquisições de material no âmbito da Defesa, o qual consta da "*Military Weapons List*" do Tratado de Roma, art. 223.º, n.º1 b), agora art. 296.º do Tratado de Amesterdão, não estão sujeitas às normas portuguesas insitas no DL 197/99 de 8 de Junho, revogado, entretanto, pelo

DL 18/2008 de 29 de Janeiro, com excepção dos arts. 16º a 22º e 29º, que regulamenta os processos de aquisição, locação e de contratação de bens e serviços.

De forma a preencher este vazio legislativo, foi promulgado o DL 33/99, de 5 de Fevereiro, onde se detalham 2 tipos de procedimentos aquisitivos: Ajuste Directo e Concurso com Selecção de Propostas para Negociação. Neste contexto, o processo de aquisição desenrola-se 3 fases, i.e., a “Preparação da Aquisição”, o “Processo de Aquisição” e a “Contratação, Acompanhamento e Controlo da Execução Contratual” (Albuquerque, 2005) [1].

No que concerne às entidades envolvidas no processo de aquisição de sistemas de armas, essas são a Direcção de Armamento e Infra-Estruturas de Defesa do Ministério da Defesa Nacional, a própria Força Aérea, o Gabinete do Ministro da Defesa Nacional e a Assessoria Externa. Da Assessoria Externa fazem parte as Assessorias Jurídica e a Técnico/Científica. De modo a concretizar a aquisição de sistemas de armas, ao longo do respectivo processo diversas equipas comissões participam do mesmo, destacando-se: a Comissão do Concurso, a Comissão de Contrapartidas, A Equipa Técnica e a Equipa de Avaliação e Testes. No caso da Força Aérea os elementos participantes são nomeados pelo Chefe do Estado-Maior envolvendo um grupo multidisciplinar, englobando entre outro pessoal piloto aviador, engenheiros e de administração aeronáutica, representando vários órgãos e serviços.

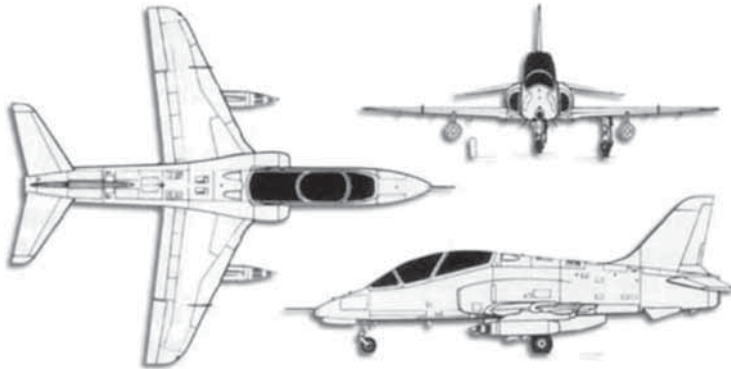
#### 4. METODOLOGIA E MÉTODO DE INVESTIGAÇÃO

A avaliação de soluções para a eventual introdução ao serviço da Força Aérea de um novo Sistema de Armas tem 2 vectores orientadores: (1) o que é Oferecido como Solução e (2) a Solução Face às Missões estipuladas para a aeronave (Bernardino, 2006) [10].

O que é Oferecido como Solução depende da resposta dos promitentes fornecedores ao requerido no Programa do Concurso e da capacidade para cumprirem os requisitos definidos no respectivo Caderno de Encargos. Tomando como referência as opções oferecidas como solução pelo mercado da aeronáutica militar, 5 das possíveis aeronaves estão referidas nas figuras 3 a 7.

Quanto à Solução Face às Missões Previstas a avaliação deve incidir nos aspectos em que a solução apresentada permite maximizar a execução das missões previstas, de acordo com o conceito de emprego delineado.

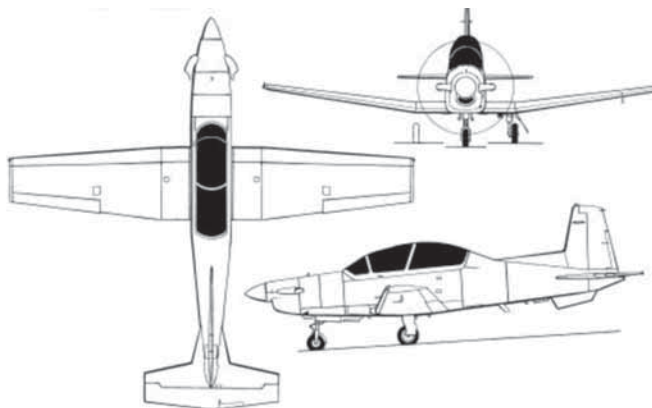
A sua validação requer análise muito criteriosa dos parâmetros de avaliação, assim como todos os procedimentos a efectuar, de modo a manter a avaliação uniforme ao longo das soluções. Considerou-se que concorreram *apenas* 4 modelos de denominadas aeronaves A, B, C e D. As fontes utilizadas na recolha dos dados foram do tipo primário, isto é, criadas à partida por meio de inquéritos e entrevistas. A recolha de dados realizou-se paralelamente com a instituição e a identidade dos elementos fornecedores da informação foi salvaguardada. Os dados recolhidos foram sujeitos a enviesamento estatístico (e por isso não corresponderam a dados de qualquer fabricante real). Os critérios adoptados também foram alvo de selecção minuciosa, não correspondendo à totalidade dos utilizados no concurso público em curso.



**Figura 3:** BAE Systems HAWK  
Fonte: [www.asiascalerc.com](http://www.asiascalerc.com)

Nas 2 primeiras etapas das 4 fases da metodologia MACBETH, definiram-se os critérios a utilizar para testar as soluções, i.e.:

- (C1) Custo de ciclo de vida;
- (C2) Prazo de Entrega;
- (C3) Especificações Gerais;
- (C4) Especificações Logísticas;
- (C5) Especificações Técnicas.



**Figura 4:** Beechcraft T-6 Texan II  
Fonte: <http://www.aero.pub.ro>

Da ordenação preferencial dos critérios estabeleceu-se  $C1 > C2 > C3 > C4 > C5$ . Na etapa seguinte, os critérios identificados e ordenados por ordem decrescente de atractividade foram referenciados em termos de ponderação, consoante a distinção atribuída a uma proposta de nível Bom e de nível Neutro. Após essa etapa, os critérios foram comparados para facilitar a compreensão entre os mesmos. De facto, simplificar o problema numa estrutura hierárquica descendente semelhante a uma árvore genealógica é fundamental.

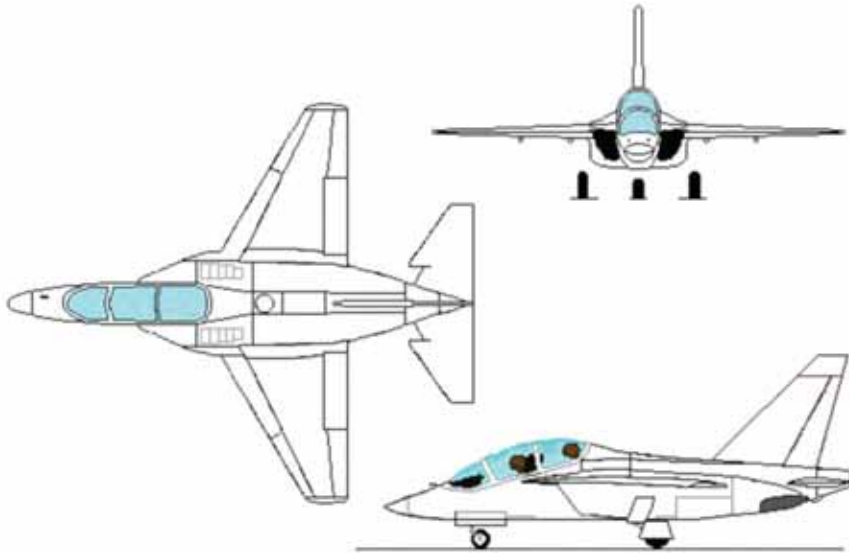


Figura 5: Alenia Aermacchi M-346 Master  
Fonte: <http://www.tayyareci.com>

A metodologia MACBETH não só permite o desenho da mesma como apresenta os resultados de uma forma tabular simples e de fácil interpretação (Bana e Costa e Oliveira, 2002) [4] (Oliveira e Lourenço, 2002) [24].

A árvore de decisão utilizada na avaliação de Custo/Benefício surge-nos representando o “Valor Global” em que cada proposta será avaliada. Para a geração desse valor concorreram os critérios (C1) a (C5) acima referidos, onde cada um teve pelo menos um ou mais sub-critérios que concorreram para a formação do valor do critério e, por conseguinte, do valor global de cada proposta de aeronave. Na 3ª fase da abordagem de processo consultivo efectuou-se o desenvolvimento do modelo multi-critério de avaliação.

Para efeitos de valorização de cada critério o Grupo de Trabalho definiu o seguinte: o critério C1 é o mais importante.

Em concreto, para C1 definiu-se que o total dos custos unitários de aquisição de aeronaves, simuladores e custo anual médio de sustentação da frota adquirida teria pontuação mínima (0 pontos) quando o preço máximo correspondesse a 13M€ e pontuação máxima (100 pontos) se correspondesse ao preço mínimo de 11M€. Quanto a C2, “Prazo de Entrega” (Calendarização do Projecto), houve um certo equilíbrio nas propostas com excepção da opção D, que se distanciou com uma entrega prevista de cerca de 18 meses, ano 2017. Este critério foi ponderado em 22% da classificação geral

No que concerne a C3 foi ponderado de acordo com os sub-critérios (1) Instrumentação do motor (60%), (2) Instrumentação de voo (30%) e (3) Instrumentação de Navegação-Rádio (10%). Dentro de cada sub-critério considerou-se “BOA” a proposta que confirmou a análise em conformidade com as especificações gerais, bem como outros aspectos relevantes. A proposta “NEUTRA2 confirmava a análise em conformidade com as especificações gerais.

No penúltimo critério, C4 foram valorizadas as propostas que apresentassem melhores características de acordo com os sub-critérios, no seguintes termos:

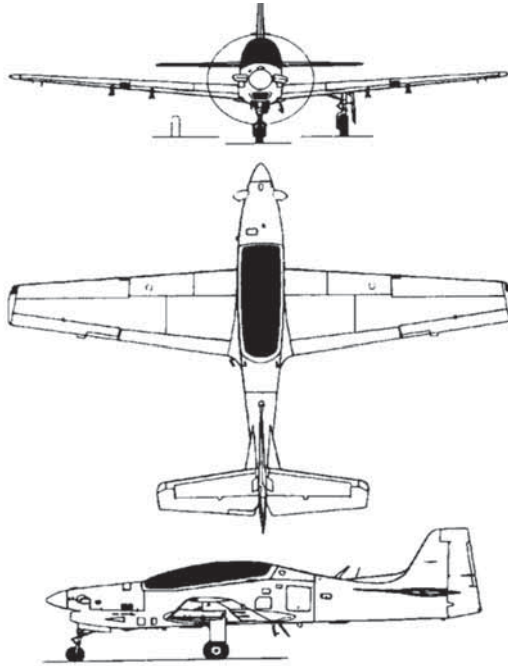


Figura 6: Embraer EMB 314 Super Tucano  
<http://www.aviastar.org>

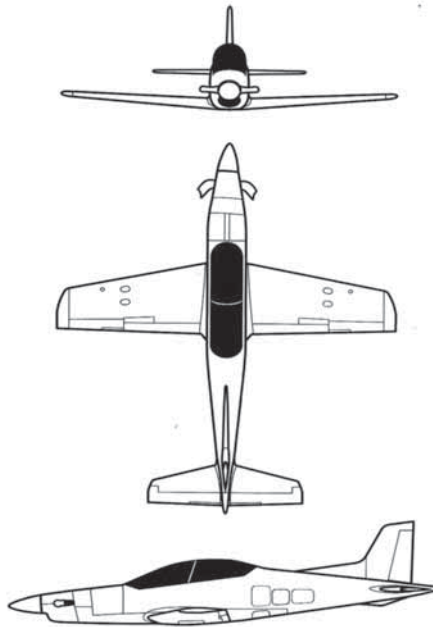


Figura 7: Pilatus PC-21  
Fonte: <http://www.rcuniverse.com>

- 58% com consumo de combustível médio inferior a 220kg por hora voo;
- 33% para a manutenção inferior ou igual a dois níveis.
- 9% tempos de imobilização para manutenções inferiores a 45 dias.

Quanto ao C5, o tipo de motor NEUTRO foi o *Fast Jet Trainer*. O tipo de motor considerado BOM foi *Advanced Turboprop Trainer*.

Relativamente aos resultados alcançados através da Metodologia de Análise de Decisão MACBETH, concluiu-se, quanto à análise de sensibilidade aos ponderadores, a prevalência da Aeronave D

No entanto, tendo em conta cada critério, no concreto, existem dois dos cinco critérios considerados em que a opção D não é a melhor opção como nos é transmitido na classificação geral.

No critério Custos, ponderado com 50%, a opção vencedora encontra-se em 4º lugar e mantém-se globalmente em 1º até que a importância dada a este factor se eleve para os 62,5%, quando se encontra em igualdade global com a opção B nos 75,9%. Se tivermos em linha de conta o critério C4 em que para a aeronave D também não é a mais vantajosa (Características Logísticas) podemos concluir que neste caso apenas um factor de ponderação de aproximadamente 45,6%, face aos 9% considerados, permitiriam inverter a pontuação global, sendo B preferível a D.

Na análise de robustez, com a informação ordinal (aquela que considera uma ordenação dos pesos dos critérios), para que o software tenha em conta não só a ordenação das propostas quanto a um determinado critério, mas também as diferenças de pontuação entre as mesmas, apurando a partir da pontuação global a melhor proposta, concluiu-se que a proposta fictícia considerada com 100 pontos (Bom) domina a proposta A em todos os critérios, assim como D, B e A dominam a proposta fictícia com 0 pontos (Neutra). C domina a mesma, mas aditivamente. De facto em termos de Características Técnicas verificou-se estar abaixo das expectativas, surgindo como a pior proposta. A ordenação das restantes propostas é feita por diferenças aditivas em que D é melhor que B e A, e B melhor que A globalmente.

## 5. CONCLUSÃO

A legislação nacional e internacional força o poder público, na aquisição de bens e serviços, a incluir uma avaliação regulamentada com garantias de rigor e transparência no processo de tomada de decisão (Albuquerque, 2005) [1]. Contudo, essa mesma premissa não impõe a metodologia a utilizar. O problema de selecção de um Sistema de Armas é estratégico e tem um impacto, significativo, no que concerne a um sistema de Defesa Nacional. Com a aplicação da análise multi-critério MACBETH foi alcançada a melhor opção de investimento para uma aeronave que possa substituir as actuais em uso na formação de pilotos aviadores. O resultado obtido revelou-se robusto e pouco sensível a variações de ponderadores.

Em termos futuras investigações, reforçando a validade da decisão a tomar, sugere-a inclusão de metodologia que inclua custos, nomeadamente, os inerentes ao concurso, ao abate e alienação das aeronaves a substituir. E ainda que inclua avaliação de contrapartidas (assumindo que este regime legal se manterá) para o caso das aeronaves não sejam fornecidas por empresas nacionais.

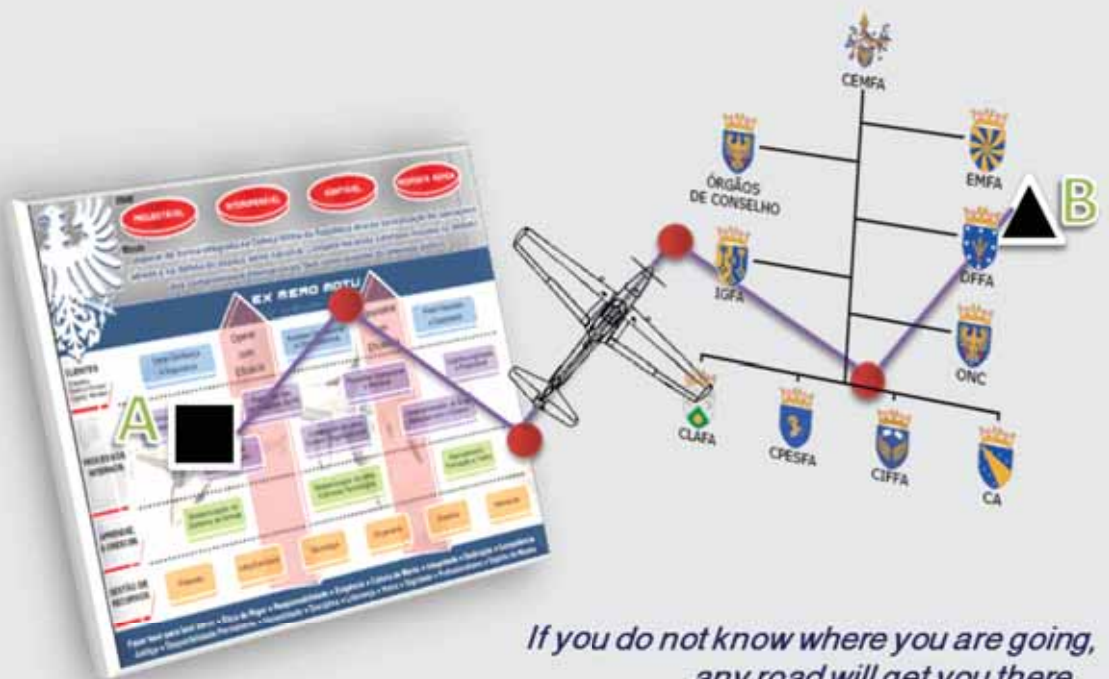
## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALBUQUERQUE, J. C. (Coronel) (2005), "Aquisição de Produtos Complexos de Defesa", DIAEFA, p. 420-17
- [2] BANA E COSTA, C. A., CHAGAS, M. P. (2004), "A career choice problem: An example of how to use MACBETH to build a quantitative value model based on qualitative value judgments", *European Journal of Operational Research*
- [3] BANA E COSTA, C. A., NUNES DA SILVA F., VANSNICK, J. C. (2001), "Conflict dissolution in the public sector: a case study", *European Journal of Operational Research*, 130(2): 388-401
- [4] BANA E COSTA, C. A., OLIVEIRA, R. C. (2002), "Assigning priorities for maintenance repair and refurbishment in managing housing stock", *European Journal of Operational Research*, 138 (2): 380-391
- [5] BANA E COSTA, C. A., VANSNICK, J. C. (2008), "A critical analysis of the eigenvalue method used to derive priorities in AHP", *European Journal of Operational Research*
- [6] BANA E COSTA, C. A., VANSNICK, J. C. (1997), "Applications of the MACBETH approach in the Framework of an additive aggregation model", *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 6(2): 107-114
- [7] BELTON, V., GEAR, T. (1983), "On a short-coming of Saaty's method of analytic hierarchies", *Omega*, 11, 228-130
- [8] BELTON, V. (1985), "The Use of a Simple Multiplecriteria Model to Assist in Selection from a Shortlist", *JORS*, v. 36, n. 4
- [9] BELTON, V. (1986), "A Comparison of the Analytic Hierarchy Process and a Simple Multiattribute Value Function", *European Journal of Operations Research*, v. 26
- [10] BERNARDINO, P. M. O. (Capitão) (2006), "Definição de requisitos no processo de aquisição de novos sistemas de armas", MDN, Instituto de Estudos Superiores Militares", Curso Geral de Guerra Aérea
- [11] BORCHERDING, K. et al. (1991), "Comparison of Weighting Judgments in Multiattribute Utility Measurement", *Management Science*, v. 37, n. 12
- [12] BROWLOW, S. A., WATSON, S. R. (1987), "Structuring Multiattribute Value Hierarchies", *JORS*, v. 38, n. 4
- [13] CHAMBEL, M. (General) (2003), "Gestão Logística dos Sistemas de Armas", IAEFA, Sintra
- [14] CHEN, Q., WANG, J. (2005), "Strategic Decision Making: Applying the Analytic Hierarchy Process", *Interfaces*, v. 35
- [15] CHEN, E. W., LI, H. (2001), "Information priority-setting for better resource allocation using Analytic Hierarchy Process", *Information Management and Computer Security*, v. 9, n. 2, pp 61-70
- [16] CHENG, C. H., YANG, K. L., HWANG, C. L. (1999), "Evaluating attack helicopters by AHP based on linguistic variable weight", *European Journal of Operational Research*
- [17] CROWE, T. J., NOBLE, J. S., MACHIMADA, J. S. (1998), "Multi-attribute analysis of ISO 9000 registration using AHP", *The International Journal of Quality & Reliability Management*
- [18] DYER, J. S. (1990), "Remarks on the analytic hierarchy process", *Journal of the Institute of Management Science*, v. 36
- [19] ECKENRODE, R. T. (1965), "Weighting Multiplecriteria", *Management Science*, v. 12, n. 3
- [20] FISHBURN, P. C. (1989), "Foundations of Decision Analysis: Along the Way", *Management Science*, v. 35, n. 4, pp 387-405
- [21] FORMAN, E. H., GASS, S. I. (2001), "The Analytic Hierarchy Process: An Exposition, *Operations Research* v. 49, n. 4
- [22] HUANG, C. C., CHU, P. Y., CHIANG, Y. H. (2008), "A fuzzy AHP application in government-sponsored R&D project selection", *Omega*, v. 36
- [23] KAO, C., HUNG, H. T. (2007), "Management performance: An empirical study of the manufacturing companies in Taiwan", *Omega*, v. 35
- [24] OLIVEIRA, R. C., LOURENÇO, J. C. (2002), "A multicriteria model for assigning new orders to service suppliers", *European Journal of Operational Research*, v. 139, n. 2, pp 390-399
- [25] PALMER, B. (1999), "Click here for decisions", *Fortune*
- [26] REIS, A. (Capitão) (2001), "Introdução de Sistemas de Armas nas Forças Armadas", IAEFA, FAP, Sintra



- [27] ROY, B., VINCKE, P. (1981), "**Multicriteria Analysis: Survey and New Tendencies**", EJOR, v. 8, n. 3, pp 207-218
- [28] SAATY, T. L. (2003), "**Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary?**", European Journal of Operational Research
- [29] SCHOEMAKER, P. J. H., WAID, C. C. (1982), "**An Experimental Comparison of Different Approaches to Determining Weights in Additive Utility Models**", Management Science, v. 28, n. 2
- [30] SMITH, J. E., VON WINTERFELDT, D. (2004), "**Decision Analysis in Management Science**", Management Science
- [31] STEWART, T. J. (1992), "**A Critical Survey on the Status of Multiplecriteria Decision Making Theory and Practice**", Omega, v. 20
- [32] TAM, M. C. Y., TUMMALA, V. M. R. (2001), "**An application of the Analytic of Capital Hierarchy Process in vendor solution of a telecommunication system**", Omega, v. 29, n. 2
- [33] VARGAS, L. G. (1990), "**An Overview of the Analytic Hierarchy Process and its Applications**", European Journal of Operations Research, v. 48
- [34] WATSON, S. R., FREELING, A. N. S. (1982), "**Assessing Attribute Weights by Ratios**", Omega, v. 10, n. 6
- [35] WEBER, M., BORCHERDING, K. (1993), "**Behavioral Influences on Weight Judgements in Multiattribute Decision Making**", EJOR, v. 67
- [36] WEINGARTNER, H. M. (1977), "**Capital Rationing: n Authors in Search of a Plot**", The Journal of Finance, v. 32, n. 5

# Construção de um Mapa de Estratégia para a Força Aérea



*If you do not know where you are going,  
any road will get you there...*

Autor: Tiago Oliveira, Aspirante Aluno do Mestrado Integrado  
na especialidade de Pilotagem Aeronáutica  
Academia da Força Aérea, Sintra

Orientador: Professor Doutor José Tribolet  
Departamento de Engenharia Informática, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa  
CODE – Center for Organizational Design and Engineering, INESC INOVAÇÃO, Lisboa, Portugal

Co-orientador: Carlos Páscoa, Tenente-Coronel Navegador  
Estado-Maior da Força Aérea, Divisão de Operações  
Força Aérea



**Resumo.** A história da Humanidade é uma história de evolução, uma história de crescente adaptação por parte do Homem em relação ao seu ambiente. A história da Humanidade é também a 'história das Organizações'. Tal como o Homem, também as Organizações necessitam de evoluir e de se adaptarem, procurando novas soluções para resolverem novos problemas e atingirem novos objectivos. A primeira resposta das Organizações aos desafios com que se deparam é a Estratégia: o 'plano de voo' que lhes permite 'navegar' de encontro ao futuro que 'projectam', a sua Visão. Observando os conhecimentos e princípios da área de Engenharia Organizacional – e outros saberes teórico-práticos – este artigo propõe a construção de um Mapa de Estratégia para a Força Aérea Portuguesa, um instrumento clarificador da estratégia que fornece um meio de comunicação transversal para o todo organizacional, capaz de gerar motivação e de criar foco e alinhamento, elementos essenciais para 'mover' a Organização de encontro à sua Visão.

**Palavras-Chave:** Balanced Scorecard, Business Motivation Model, Engenharia Organizacional, Estratégia, Gestão Estratégica, Mapas de Estratégia, Organizações Sem Fins Lucrativos.

## 1. INTRODUÇÃO

A Evolução acontece a todo e cada instante – sempre que mais um pouco de presente se transforma em passado, e um pouco de futuro se transforma em presente. Consequência da processo de Evolução, o mundo apresenta-se hoje mais complexo e 'global' do que nunca. Novos desafios se erguem às organizações, contudo, e igualmente, surgem também novas oportunidades disputadas por um sem número de organizações concorrentes, que levam a cabo a sua missão num campo de batalha instável e mutável onde a sua sobrevivência e sucesso depende em muito da sua adaptabilidade e flexibilidade, e, fundamentalmente, da sua capacidade de pensar e agir estrategicamente.

A Força Aérea Portuguesa (FA) é, simultaneamente, uma organização militar e uma organização 'governamental' sem fins lucrativos. Apesar da sua especificidade não deixa por isso de ser uma organização, e como tal, é passível de ser apensa e sujeita a conceitos e raciocínios aplicáveis a organizações ditas comuns, isto é, com fins lucrativos, desde que seja o âmbito dessa aplicação propriamente adaptado e logicamente desenvolvido sobre uma

base coerente de raciocínio. Assim sendo, e no âmbito da Engenharia Organizacional, importa desenvolver um trabalho que conclua acerca do pensamento estratégico da FA enquanto Organização tão particular que é.

## 1.1 Estratégia

O termo 'estratégia' encontra a sua origem no meio militar, na verdade, segundo o Dicionário Priberam da Língua Portuguesa, estratégia é definida como a "ciência das operações militares" [1]. Actualmente, contudo, tem-se vindo a verificar uma autêntica banalização da palavra estratégia, passando a ser utilizada nos mais diversos meios, o que levou a uma 'evolução' do seu sentido tornando-se mais lato, sem contudo perder valor. Segundo Sua Ex<sup>a</sup>. Sr. General Gil Fiévet, estratégia é "a conjugação do pensamento e da acção, a promoção da inteligência no domínio da acção" [2]. Ora esta definição é em si pouco concreta mas é, segundo Sua Ex<sup>a</sup>., a definição que melhor captura o seu sentido, isto é, que melhor traduz a sua essência. A posteriori podemos aplicar esta noção à área das organizações: Estratégia Empresarial. A definição de estratégia empresarial que irá ser adoptada neste trabalho será a proposta pelo Business Motivation Model que considera a estratégia como um "plano destinado a configurar aspectos da empresa e que envolve processos, locais, pessoas e tempo de forma a alcançar as metas da organização" [3].

Importa agora perceber qual a importância da estratégia para uma organização. Alvin Toffler manifestou a sua convicção: "Uma organização sem estratégia é como um avião à deriva pelos céus tempestuosos, arremessado para cima e para baixo, esbofeteado pelo vento, perdido no meio dos trovões. Se os relâmpagos ou ventos esmagadores não o destruírem, irá simplesmente ficar sem combustível" [4]. Pois daqui mesmo se depreende a importância da estratégia. Esta é o 'plano de voo' [5] que a organização tem para 'navegar' [5] de encontro à sua Visão, ao seu futuro. A estratégia é o instrumento de nível superior que tem primeiro de lidar com todos os desafios que se colocam à organização, com todos os factores que têm de ser conjecturados e considerados da melhor maneira de modo a determinar uma linha de acção ou várias, que permitam à organização 'voar' [5] no sentido pretendido.

É aqui que os mapas de estratégia vão ser introduzidos, levantando subtilmente o 'véu' que cobre este tema. Ao longo dos anos verificou-se que muitas organizações mesmo tendo uma estratégia definida estavam a ter dificuldades em obter os resultados desejados. Foi então que Kaplan e Norton sugeriram que esta situação muito se devia a dois factores: um deles era o modo como as diferentes organizações encaravam a estratégia, o que representava para elas, qual o seu âmbito; o outro factor era a sua própria implementação, que apresentava também problemas, muitos deles derivados da dificuldade de comunicação [6]. Os Mapas de Estratégia vêm ajudar na descrição e comunicação da estratégia, fornecendo "o elo perdido entre formulação e execução" [6], assim conjugando o "pensamento com a acção" [2].

## 2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

De modo a construir um Mapa de Estratégia, primeiro há que efectuar um sucinto enquadramento teórico, que visa não mais do que atribuir validade e coerência de fundo.

### 2.1 Engenharia Organizacional e Arquitectura Empresarial

A Engenharia e Organizacional (EO) é uma plataforma que aborda a organização numa perspectiva holística e *“que traz um contributo completamente inovador à forma de organizar e gerir organizações”* integrando *“o mundo dos seres humanos, com a sua individualidade e imprevisibilidade, e o mundo dos sistemas tecnológicos de tratamento da informação”* [7]. Num ambiente de competitividade, imprevisível, e em contínua mudança, a EO pretende responder à seguinte questão: *“Como desenhar e melhorar numa abordagem holística, todos os elementos associados a uma empresa, através do uso de métodos de análise e de ferramentas, para melhor se conseguir que esta cumpra os seus objectivos estratégicos”* [8].

A Arquitectura Empresarial (AE) traduz de que forma uma organização é vista sob o prisma da EO, considerada por esta como um sistema complexo de processos. A AE analisa e captura os elementos essenciais do negócio para desenvolver ‘mapas’ que assistem no design e gestão da organização. Neste âmbito a AE é todo o conjunto *“coerente de princípios, métodos e modelos que são usados no design e implementação da organização”* [9]. *“A AE é uma ‘planta’ que assiste no design e gestão da organização”* [10], identificando domínios nos quais esta deve estar ‘organizada’. Um desses domínios é quanto ao seu plano de negócio.

### 2.2 Business Motivation Model

O Business Motivation Model (BMM) consiste num *“esquema ou estrutura para o desenvolvimento, comunicação e gestão dos planos de negócio de uma forma organizada”* [3]. De acordo com The Business Rules Group (BRG), o BMM identifica duas áreas principais: a primeira, a dos ‘Fins’ e ‘Meios’; a segunda, a dos ‘Influenciadores’ e ‘Análise’ desses mesmos influenciadores nos ‘Fins’ e ‘Meios’. No âmbito deste trabalho apenas a primeira área será focada, dado que incorpora em si os conceitos *core* do modelo.

Os ‘Fins’, como a própria denominação sugere, remete para algo que o negócio aspira alcançar; contempla a Visão, Metas e Objectivos. A Visão descreve o estado futuro da organização sendo operacionalizada pela Missão e amplificada pelas Metas. As Metas e Objectivos correspondem aos Resultados Desejados que se procuram atingir e manter, e estes, ao contrário da Visão que é mais global, são mais específicos, mais atingíveis e alcançáveis. Metas e Objectivos são também diferentes, nomeadamente, uma Meta é algo que se procura atingir a longo prazo, tem um carácter mais qualitativo e geral, e é alcançada através das Estratégias, enquanto um Objectivo é algo que se procura atingir a curto prazo, tendo um carácter mais quantitativo e específico, e é alcançado através das Táticas [3].

Os 'Meios' são o modo de acção para alcançar os 'Fins'; contemplam a Missão, Linhas de Acção e Directivas. A Missão indica a intenção permanente da empresa descrevendo o negócio de uma maneira geral e operacionaliza a Visão dado que se foca em atingi-la. A Missão é planeada através da Estratégia, que a par com a Tática, constituem as Linhas de Acção que correspondem a um plano destinado a configurar aspectos da empresa de forma a alcançar os Resultados Desejados. As Tácticas são obtidas através do detalhe da Estratégia e têm como finalidade implementar estas. A Estratégia tende a ser mais longa no tempo e a ter mais abrangência do que a Tática. Para desenvolver as Linhas de Acção há que atender às Directivas pois estas servem de base à sua formulação, definindo limitações relativamente a certos aspectos da organização [3].

### 2.3 Balanced Scorecard

O Balanced Scorecard (BSC) é um sistema de avaliação de performance que pode ser definido como uma *framework* que permite a integração de indicadores financeiros e não financeiros derivados da estratégia em diferentes perspectivas que habilitam ao gestor uma visão compreensiva quanto ao desempenho da organização [11]. A ideia por trás do BSC é, como os seus autores, Kaplan e Norton, bem a expressaram, "*Obtemos aquilo que medimos*" [11], pelo que apenas uma medida de análise do negócio não é suficiente para concluir acerca do estado do negócio, da sua performance e evolução. O BSC permite aos gestores olhar para o negócio através de quatro perspectivas distintas [11]:

- **Perspectiva Financeira:** é a perspectiva central que determina a articulação do restante BSC; ligada à rentabilidade, procura estabelecer de que forma a organização está a produzir valor para os accionistas; indicadores respondem à questão: "*Como somos vistos pelos accionistas?*";
- **Perspectiva dos Clientes:** o que se pretende é olhar para a performance da organização segundo os olhos dos clientes; o primeiro passo é pois definir os clientes pois estes não são todos iguais assim como os seus interesses; indicadores respondem à questão: "*Como somos vistos pelos clientes?*";
- **Perspectiva dos Processos Internos:** deverá salientar a que deve a organização ser excelente, a que deve melhorar internamente para satisfazer as necessidades dos clientes; os indicadores reflectem: "*A que devemos ser excelentes?*";
- **Perspectiva da Aprendizagem e Crescimento:** ligada ao desenvolvimento dos activos intangíveis – capital humano, da informação e organizacional – espelha a capacidade da organização para produzir valor no futuro; indicadores respondem: "*Podemos continuar a melhorar e a criar valor no futuro?*".

### 2.4 Organizações Sem Fins Lucrativos

Organizações Sem Fins Lucrativos (OSFL) são organizações onde as pessoas se juntam voluntariamente para satisfazer necessidades pessoais e/ou sociais, necessidades essas que não são preenchidas completamente, ou não devem ser, ou não podem ser, preenchidas pelas

organizações dos sectores público e privado. A Missão é um elemento central nas OSFL, que define o seu propósito e identidade, sendo a ligação entre estas e a sociedade. Identidade também muito suportada pelos valores que as animam, por vezes aquilo que motiva um voluntário a juntar-se à sua missão.

A FA não pode ser considerada como uma OSFL ‘pura’, isto dado que é de facto uma Instituição estruturante do Estado, tendo um vínculo governamental. Deste modo será mais correcto enquadrar a FA como uma organização integrada no sector público, sendo contudo uma ‘organização sem fins lucrativos’.

## 2.5 Mapas de Estratégia

Um mapa de estratégia pode ser definido como a *“representação visual da estratégia numa única página, mostrando como esta se encontra articulada para criar valor e quais os objectivos e relações de causa-efeito que a motivam”* [6]. Na génese dos mapas de estratégia esteve o BSC, quando os gestores começaram a desenhar setas ligando os objectivos das perspectivas e explicitando o modo como estes se relacionavam entre si.

Por entre as vantagens oferecidas por esta ferramenta estratégica, há duas que se destacam particularmente bem. A primeira, o facto de colocar um traço claro na estratégia da organização, definindo como tenciona criar valor. A segunda, o facto da representação visual da estratégia facultar um modelo simples e organizado que é ideal para a comunicação; a combinação de foco (no que é importante para a organização) e alinhamento (dos esforços do todo em torno dos mesmos objectivos) gera motivação proporcionada por uma melhor compreensão do negócio e do papel individual no todo [6].

Antes de uma organização considerar a construção de um mapa de estratégia, Kaplan e Norton salientam a importância de definir a Missão, a Visão, os Valores e a Estratégia, elementos básicos que têm de ser definidos *a priori* – já conhecidos do BMM. Apenas após existir um correcto delineamento do plano de negócio no âmbito estratégico poderá uma organização avançar sobre o legado arquitectónico do BSC [6].

## 2.6 Plano de Negócio da FA

Depois de analisar os documentos matriciais que constituem a estratégia da FA e as suas orientações estratégicas, foi possível identificar pontos de contacto entre a arquitectura do plano de negócio da FA e a *framework* disponibilizada pelo BMM. Como sugerido pelo BMM, a FA também enuncia a sua Visão, Metas e Objectivos – “Meios” –, a sua Missão, Estratégia e Táticas – “Fins” –, e também de acordo com Kaplan e Norton, os seus Valores. Estes elementos encontram-se também articulados e dispostos de forma hierárquica de tal modo que os esforços para os quais concorrem têm um propósito semelhante ao sugerido pelo BMM.

Uma vez que descrever todos os elementos do plano de negócio da FA seria impraticável no presente trabalho, apenas os elementos Visão, Missão e Valores serão apresentados,

assegurando-se no entanto que a compreensão do leitor quanto ao desenvolvimento do mapa não será comprometida.

- **Visão:** emitida pelo Chefe de Estado-Maior da Força Aérea (CEMFA), e segundo a Directiva nº 01/11, a Visão da FA é a seguinte: *“Na multifacetada abrangência da Missão, visiono uma Força Aérea com carácter eminentemente projectável, com elevado grau de interoperabilidade com outras forças nacionais e multinacionais, sustentada na utilização de equipamentos que integram novas tecnologias, servida por um sistema de comando e controlo, também projectável, adequado aos diferentes ambientes operacionais, bem como uma logística agilizada, baseada numa estrutura modular que facilite processos de activação expeditos”* [12];
- **Missão:** a Missão da FA encontra-se descrita na Lei Orgânica da Força Aérea, no entanto, e para os efeitos deste trabalho, será considerada uma versão mais sintética da Missão, como apresentada no *website* da Organização: *“Cooperar, de forma integrada, na defesa militar da República, através da realização de operações aéreas, e na defesa aérea do espaço nacional. Compete-lhe, ainda, satisfazer missões no âmbito dos compromissos internacionais, bem como nas missões de interesse público que especificamente lhe forem consignadas”* [13]. Intimamente ligada à Missão da FA encontra-se a sua divisa *“Ex Mero Motu”* [13], que significa: à mais pequena solicitação – lema que traduz o mérito que a tem distinguido;
- **Valores:** enunciados pelo CEMFA nos seus discursos, os Valores da FA são: *“Fazer bem para bem servir”, “Ética de Rigor”, “Responsabilidade”, “Exigência”, “Cultura de Mérito”, “Integridade”, “Dedicação”, “Competência”, “Justiça”, “Disponibilidade Permanente”, “Honestidade”, “Disciplina”, “Liderança”, “Honra”, “Dignidade”, “Profissionalismo” e “Espírito de Missão”* [14].

### 3. CONSTRUÇÃO DO MAPA DE ESTRATÉGIA

De modo a desenvolver um mapa de estratégia para a FA tem primeiro de ser encontrada uma estrutura que se adequa ao negócio desta. Esta preocupação é partilhada por Person ao referir que as perspectivas do mapa de estratégia devem estar de acordo com a ‘cultura’ da organização [15]. Isto porque será a estrutura do mapa que salientará os elementos críticos a ser identificados, revelando sob que ‘vistas’ se irá olhar para a organização, o que é fundamental para colocar um traço claro na articulação da estratégia e habilitar ao gestor uma visão abrangente do negócio, assim como numa aeronave é fundamental ter os instrumentos adequados para monitorizar o voo.

#### 3.1 Meta-Modelo do Mapa de Estratégia da FA

O meta-modelo apresenta e descreve a estrutura que servirá de base ao desenvolvimento do mapa. Sendo a FA uma organização de elevada especificidade, dada a sua missão particular e o seu cariz militar, o meta-modelo será necessariamente diferente do meta-modelo *standard* para organizações comuns. Mesmo uma aproximação quanto às OSFL não é suficiente. Vale a



pena por isso analisar as soluções propostas por organizações semelhantes quanto aos seus mapas de estratégia.

Nomeadamente o caso das Forças Armadas da Nova Zelândia (NZDF). O primeiro aspecto a salientar quanto ao mapa da NZDF é que não identifica uma perspectiva Financeira, ao passo desta identifica uma perspectiva de Gestão de Recursos, que procura identificar quais os ‘tijolos’ que a estratégia necessita para ser executada, colocando a seguinte questão à organização: *“Quais os recursos que precisamos obter e gerir?”*. Outro aspecto é que no topo do mapa, antes das perspectivas, coloca a Visão e a Missão. Depois das perspectivas, e no final do mapa, apresenta também uma camada em que destaca os Fundamentos Base da organização. O mapa de estratégia da NZDF também reordena a ordem sob a qual as perspectivas estão dispostas. Esta alteração nas prioridades das perspectivas reflecte directamente o modo como a organização articula a sua estratégia para criar valor [16].

Após pesar vários *inputs*, o meta-modelo do mapa da estratégia da FA foi elaborado:

**Tabela 1: Meta-Modelo do Mapa de Estratégia da FA [17]**

Visão	
Missão	
Perspectivas	Clientes
	Processos Internos
	Aprendizagem e Crescimento
	Gestão de Recursos
Valores	

### 3.2 Selecção dos Objectivos

Neste ponto, as entrevistas efectuadas no contexto do trabalho deram uma contribuição importante, dado que permitiram não só colmatar a visão do autor sob a realidade da organização assim como tomar decisões concernentes à construção do mapa de estratégia.

- **Perspectiva dos Clientes.** Para descrever a perspectiva dos clientes é necessário primeiro que estes sejam identificados. As entidades entrevistadas reconheceram três clientes: i) Cidadãos; ii) Estado; iii) Países e Organizações Aliadas. Devemos procurar agora responder à seguinte questão: Quais as necessidades dos clientes? É ao satisfazer as necessidades dos seus clientes que a FA produz valor, contudo as suas necessidades não são todas iguais. Através da análise da Estratégia da FA – Directiva de Planeamento e Plano de Acção da FA como considerado neste trabalho – e restantes elementos do plano de negócio, assim como análise das entrevistas efectuadas, foram enumerados três objectivos: i) Cidadãos: Gerar Confiança e Segurança; ii) Estado:

Sucesso Operacional e Organizacional; iii) Países e Organizações Aliadas: Aliado Reputado e Cooperante.

- **Os objectivos da perspectiva dos Clientes**, a par com os níveis superiores do mapa, definem os resultados desejados da estratégia da organização. As perspectivas seguintes descrevem como executar a estratégia, materializando-a [6].
- **Perspectiva dos Processos Internos**. Articulada com a perspectiva anterior, esta perspectiva pretende responder à seguinte questão: A que devemos ser excelentes internamente para satisfazer as necessidades dos clientes? A análise da Estratégia da FA fornece a resposta, contudo, e dada a extensão e detalhe da mesma, é necessário filtrar os processos internos críticos. Através da análise das componentes em que se agrupam os Objectivos de Gestão para 2010 – componentes que as entidades entrevistadas consideraram que traduzem os aspectos críticos da estratégia –, foram identificados sete processos críticos: i) Afirmação do Poder Aéreo; ii) Execução das Capacidades da FA; iii) Prontidão Operacional e Residual; iv) Logística Agilizada e Projectável; v) Gestão da Organização; vi) Construção de uma Cultura Organizacional; vii) Desenvolvimento de Boas Relações com o Exterior.
- **Perspectiva de Aprendizagem e Crescimento**. Esta perspectiva procura assegurar que a organização pode continuar a melhorar e a criar valor no futuro, sendo a questão vigente: Como desenvolver os recursos humanos, infra-estrutura e tecnologia? Os activos intangíveis têm de ser alinhados com a perspectiva dos processos internos, o que implica especificar que capacidades e atributos são requeridos pelos processos internos críticos da estratégia. Os seguintes objectivos foram obtidos uma vez analisada a estratégia da FA e definem os investimentos necessários: i) Modernização do Sistema de Armas; ii) Modernização da Infra-Estrutura Tecnológica; iii) Recrutamento, Formação e Treino.
- **Perspectiva da Gestão de Recursos**. A perspectiva de gestão de recursos completa a perspectiva anterior perguntando: Quais os recursos que precisamos obter e gerir? Foram identificados os seguintes como os mais importantes: i) Pessoas; ii) Infra-Estrutura; iii) Tecnologia; iv) Orçamento; v) Doutrina; vi) Motivação.
- **Temas Estratégicos**. Cada organização percepção os temas estratégicos de maneira diferente, isto porque emergem dos processos internos críticos. Estes traduzem preocupações constantes da estratégia, sendo que a aproximação adoptada para o mapa de estratégia da FA considera os temas estratégicos como transversais a todas as perspectivas. As Metas da FA – Objectivos Estratégicos da FA como considerado neste trabalho – adequam-se ao efeito [18]: i) Administrar com Eficiência; ii) Operar com Eficácia.

### 3.3 Mapa de Estratégia da FA

Ilustrado na Figura 1, pode agora ser compilado pela integração de toda a informação:

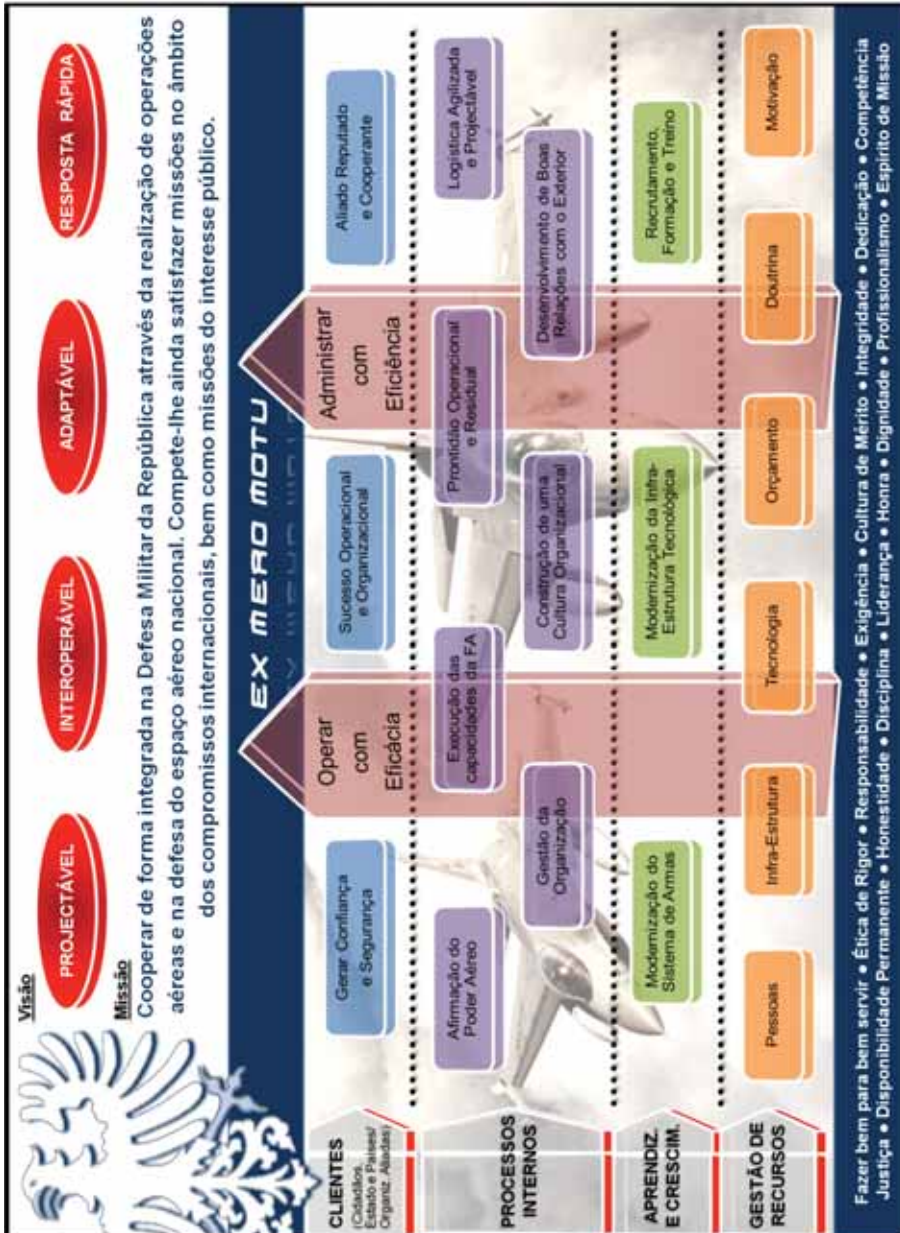


Figura 1: Mapa de Estratégia da FA [17]

Dado o âmbito do mapa apresentado – mapa da organização, situado ao nível estratégico sendo portanto mais geral – este pode ser interpretado por qualquer pessoa, que de acordo com as suas funções e área de responsabilidade terá mais afinidade com um conjunto de objectivos.

A Figura 2 apresenta uma leitura de uma 'personagem tipo':

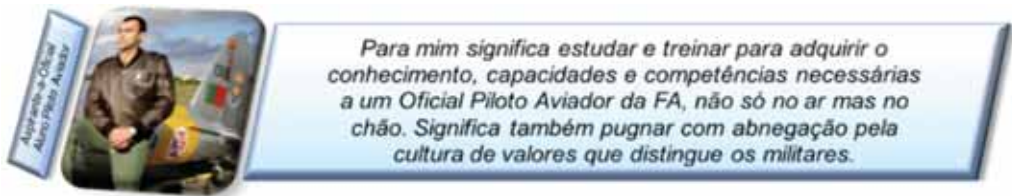


Figura 2: Interpretação do Mapa por um Aluno Piloto Aviador [17]

Contudo o ideal seria que esta ferramenta fosse implementada na organização de modo que um conjunto de mapas fosse desenvolvido numa perspectiva de desdobramento, de modo que cada entidade tivesse o seu mapa específico, com objectivos ajustados e alinhados com o mapa geral da organização, indicando de que forma contribui para a estratégia da organização e para o cumprimento da missão. Com o intuito de desbloquear ainda mais valor para a organização, um outro passo pode ser dado que envolve a exploração desta ferramenta segundo uma nova dinâmica, nomeadamente desenvolvendo um BSC.

O mapa de estratégia está ultimado, mas quão real é a geração de valor prometida? Infelizmente, sem implementação existem apenas opiniões, que dão contudo um parecer positivo, desde que a implementação seja bem executada.

Uma última nota para esclarecer que a ausência da cadeia de relações existente ao nível dos objectivos é intencional. Não é que esta não exista, pelo contrário, ao ser representada tornaria o mapa demasiado confuso e difícil de ler e comunicar. Esta decisão foi encorajada também após verificar este procedimento noutros mapas de estratégia.

#### 4. CONCLUSÃO

De modo a desenvolver um mapa de estratégia é primeiro necessário observar as características particulares do negócio da organização, uma vez que irão determinar a estrutura sob a qual o mapa será construído. Depois de ponderar alguns vectores, o meta-modelo adoptado para o mapa de estratégia da FA contempla a integração dos Valores e dos conceitos *core* do BMM, agrupados em "Fins" e "Meios", o que comprova a importância de uma organização deter uma visão clara e consensual em torno dos elementos do plano de negócio.

Uma vez finalizado o mapa, importa perceber que esta ferramenta não é um 'milagre' que vem 'salvar' a organização, resolvendo todos os problemas relacionados com a formulação e execução da estratégia – dá no entanto uma grande ajuda. O mapa de estratégia é um passo na estratégia da organização e é-lhe reconhecido imenso potencial que pode ser desbloqueado e traduzido em valor se a organização investir o tempo e esforço necessário para correctamente implementar esta ferramenta.

O mapa de estratégia da FA gera valor ao clarificar a estratégia e ao ser ele próprio uma ferramenta de comunicação comum para o 'cockpit organizacional', que explica a todas as pessoas *'esta é a Missão da FA, temos esta Visão, e esta é a nossa Estratégia, para a qual*

*são fundamentais porque fazem isto, e estes são os nossos Valores que nos guiam*. Gera valor porque gera Motivação nas pessoas, Foco no que é importante para a organização e Alinhamento entre os esforços do todo, dotando uma organização não apenas do ‘plano de voo’ mas também do ‘combustível’ necessário para ‘navegar’ de encontro à sua Visão. A conclusão última pode apenas ser a de que a Força Aérea tem muito a ganhar se apostar numa correcta implementação do mapa de estratégia, e mais ainda se explorar o seu potencial.

## 5. BIBLIOGRAFIA E SITIOS INTERNET

- [1] Dicionário Priberam; disponível em: <http://www.priberam.pt/dlpo/>; acedido em 01SET10
- [2] FIÉVET, Gil; **Da Estratégia Militar à Estratégia Empresarial**; Editora Inquérito; 1993
- [3] THE BUSINESS RULES GROUP; **The Business Model**; Versão 1.3; 2007
- [4] TOFFLER, Alvin; **The Adaptive Corporation**; McGraw-Hill; 1985
- [5] PÁSCOA, Carlos; **A AFA e a Engenharia Organizacional**; Lição Inaugural da Cerimónia de Abertura do Ano Lectivo 2010/2011; Academia da Força Aérea; 2010
- [6] KAPLAN, Robert; NORTON, David; **Strategy Maps: Converting Intangible Assets into Tangible Outcomes**; Harvard Business School Publishing Corporation; 2004
- [7] Magalhães, Rodrigo; TRIBOLET, José; **EO: das partes ao todo e do todo às partes na dialéctica entre pessoas e sistemas**; in **SI Organizacionais**; Edições Silabo; 2005
- [8] MACEDO, Patrícia; ZACARIAS, Marielba; TRIBOLET, José; **Técnicas e Métodos de Investigação em Engenharia Organizacional: Projecto de Investigação em Modelação de Processos de Produção**; 6ª Conferência da Associação Portuguesa de SI; 2005
- [9] LANKHORST, MARC; et al.; **Enterprise Architecture at Work – Modeling, Communication and Analysis**; Springer; 2005
- [10] LILES; Donald; PRESLEY, Adrien; **Enterprise Modeling within an Enterprise Engineering Framework**; 1996
- [11] KAPLAN, Robert; NORTON, David; **The Balanced Scorecard – Translating Strategy Into Action**; Harvard Business School Press; Boston, Massachusetts; 1996
- [12] CEMFA; **Directiva de Planeamento da Força Aérea**; Alfragide; 2011
- [13] Força Aérea Portuguesa; disponível para consulta em: [http://www.emfa.pt/www/organizacao.php?lang=pt&cod=\\*](http://www.emfa.pt/www/organizacao.php?lang=pt&cod=*); acedido em 01SET10
- [14] LEAL, Pedro; **Definição do Modelo de Negócio da Força Aérea**; Dissertação para obtenção do Grau de Mestre; Academia da Força Aérea; Sintra; 2010
- [15] PERSON, Ron; **BSC and Operational Dashboards With Excel**; Wiley Publishing, Inc; 2009
- [16] Forças Armadas da Nova Zelândia; disponível para consulta em: <http://www.nzdf.mil.nz/public-documents/strat-plan/strategy-map.htm>; acedido em 01SET10
- [17] OLIVEIRA, Tiago; **Construção de um Mapa de Estratégia para a Força Aérea**; Dissertação para Obtenção do Grau de Mestre; Academia da Força Aérea; Sintra, 2011
- [18] CEMFA; **Objectivos Estratégicos da Força Aérea – Triénio 2010/2012**; Alfragide; 2009

# Afghanistan's Crisis: From Ancient Times to the Post-September 11, 2001 The Credibility of Nato in the Contemporary International Order



Author: João Almeida, MSc Student, Pilot Course  
Portuguese Air Force Academy, Sintra, Portugal

Supervisor: Full Professor António de Sousa Lara  
Director do Centro de Estudos Europeus  
Instituto Superior de Ciências Sociais e Políticas  
Universidade Técnica de Lisboa  
Lisboa, Portugal

**Abstract.** September 11, 2001 has shown the world the extreme violence of terrorism associated with religious fundamentalism. Immediately, in retaliation to the terrorist actions perpetrated in USA homeland, the Allies launched a massive military operation in Afghanistan. Since the beginning of Afghanistan's War, 10 years have elapsed but the political and social instability prevails in that country. Thus, the credibility of NATO in this scenario is becoming unavoidably affected with the inability of the Alliance to find a lasting solution to Afghanistan's Crisis.

**Keywords:** AFGHANISTAN, NATO, Al Qaeda

## 1. INTRODUCTION

*"A war that began with the first invocation of Article V must not be lost!"<sup>(1)</sup>*  
(Eduardo Santos, 2008, p. 211)

The attacks perpetrated by Al Qaeda on September 11, 2001, brought to light the very real threat of terrorism associated with the rise of Islamic fundamentalism and struck, for the first time, USA homeland. The Islamic terrorists' outrage aimed to disrupt the security of the transatlantic region and so, Western democracies became obliged to retaliate in collective defense. Because the Taliban insisted on harboring Al Qaeda militants in Afghanistan, the West felt compelled to depose their regime, capturing and expelling from it the Islamic radicals responsible for the terrorist attacks. So, in the wake of September 11 catastrophic events, the military invasion into Afghanistan took place, with ISAF trying to build security in this country, in order to move Afghan people away from the Islamic fundamentalists' range.

Unfortunately, since 2001, the Afghan State has proved hard to pacify because a sudden and dramatic guerrilla war emerged relying on the strength of the Pashtun ethnic group. Nowadays, this resilient insurgency is still impeding political stability and the country's reconstruction, including of its economy. Under these conditions, successive postponements of the International Community's deadline become inevitable, as ISAF remains unable to deliver enduring peace to the Afghan people. Meanwhile, the unavoidable outcome of this is the damage caused to the credibility of both the Government led by Hamid Karzai and ISAF, and to NATO. So, today, with the number of casualties among coalition troops growing higher and the Counterinsurgency Strategy making little progress in the southeast provinces of Afghanistan, we scrutinize this country's Crisis and try to answer the following question: *Is the current conflict in Afghanistan a threat to the credibility of NATO from a perspective of international stability?*

## 2. THE LEGACY OF THE PERIOD PRIOR TO SEPTEMBER 11, 2001

At present, although the ISAF intervention has lasted only for a decade, the war and the destruction of Afghanistan have already been going on for thirty years and, even in the more distant past, this country's territory was the scene of constant instability.

---

(1) Free and literal translation of: *"Uma guerra que se iniciou com a primeira invocação do Art.5º não se pode perder!"*  
(Eduardo Santos, 2008, p. 211).

In the past, several rulers, driven by hegemonic ambitions, attempted to expand their territorial domains to Central Asia, specifically to the region of current Afghanistan. Powerful empires extended boundaries supported by their own economic strength and tried to subdue, ideologically, religiously and culturally, other nations by military force. However, they all failed and the historical background of Afghanistan demonstrates a cyclical collapse of empires, namely: Achaemenids, Hellenistic, Seleucids, Arsaces, Kushan, Sassanians, Hephthalite, Arabs (with the famous Abbassid Caliphate), Samanid, Ghaznavid, Ghorid, Mongol, Timurids, Moghul, Safavid, Durrani, Durrani (Baxter, 2001). This failure was repeated, once more, with the Soviet incursion into Afghanistan, which proves it is right to consider this region the *"roundabout of the ancient world"* (Toynbee *apud* Baxter, 2001, p.90) or, pushing this lesson even further, the *"graveyard of the empires"* (Silva, 2011, p. 82).

The imperial cycles decisively influenced the Afghan border delimitation, since the limits of Afghanistan's territory are the outcome of bilateral negotiations between Great-Britain and Russia, in the late nineteenth and early twentieth centuries. Thus, the Afghans themselves were excluded from any talks and, therefore, we must consider the geographical boundaries of their State a product of a forced colonialism. This is a totally relevant fact because the current map of Afghanistan does not match with the ethnic groups distribution in Central Asia, which in turn makes the borders of this country extremely permissive lines to the flow of people and goods, even though some trades such as drug trafficking or weapons smuggling are prohibited under International Law.

Nowadays, as a by-product of the imperial conquests and the resulting migration of populations *"Afghanistan is not a self-contained unit, nor is its national culture uniform"* (Dupree, 1987). Regarding ethnography, the Afghan population is still distributed among the following ethnic groups (CIA, 2009): Pashtun (42%); Tajik (27%), Hazara (9%), Uzbek (9%), Aimak (4%), Turkmen (3%), other (4%). Even today, *"the country's ethnic divisions lie at the heart of the problem of achieving national unity [and even] personal ambition (...) operates within ethnic context"* (Cronin, 2001, p. 51). Indeed, *"the anti-Soviet campaign by the Afghan mujahidin (...) intensified the existing ethnic, tribal, religious and ideological divisions of the society, and related power among individual leaders"* (*ibidem*, p. 44). In this context, ethnic, military and, especially, ideological leaders emerged and attained tremendous power and popular support. Between these actors, we find individuals associated with the instability within Afghan politics during the past 30 years, namely Mullah Omar (Pashtun, head of the Taliban movement), Gulbuddin Hekmatyar (Pashtun, commander in *Hezb-i-Islami Gulbuddin*), Jalalludin Haqqani (Pashtun, leader of the *Haqqani Network*, a subversive group that is affiliated with the Taliban and also with Al Qaeda, based in Pakistan), Burhannudin Rabbani (Tajik, traditionalist Muslim, educated in Cairo, who leads the *Jamiat-i-Islami*), Mohammad Fahim and Younis Qannoni (both Tajik military commanders) and Abdullah Abdullah (prestigious Tajik politician) and Rashid Dostam (Uzbek, who distinguished himself as a military leader).

When we deeply observe the history of Afghan politics throughout the twentieth century, we perceive that today, inevitably, power legitimacy in Afghanistan belongs to the Pashtun, with priority to this ethnic



group's traditions and moral code, the *Pashtunwali*<sup>(2)</sup>. Moreover, within the Pashtun ethnicity, the Durrani and the Ghilzai tribes prevailed over the others. The first ruled Afghanistan since the rise of Nadir Shah (1747) until the expulsion of Zahir Shah (1973) and his successor Mohammad Daoud (1978). Since then, with the support and outside interference from both the USSR and the U.S., the Ghilzai gained prominence in the Afghan political scene, with figures like Mohammad Taraki, Hafizullah Amin, Babrak Karmal and Mullah Omar. Following these developments, the individuals listed have distinguished themselves in the leadership of the State and, in particular, Mullah Omar has emerged as a natural leader, whose power was based on the Pashtun's tradition and on the charisma resulting from his status as "*Head of State and Commander of the Faithful*" (Katzman, 2001, p. 5). This way, Omar galvanized, not only a substantial part of the Pashtun ethnic group, but also a huge number of Islamic conservatives. Undoubtedly, since the Islamic conquest in 647 AD, Afghanistan has proved to be a society which genuinely believes in Islam, resisting and reacting to every single attempt of expansion of different ideologies into the Afghan territory.

None of the leaders mentioned above could disrupt the stability on their own without proper socioeconomic conditions to incite the rise of ideological fronts and to stimulate the proliferation of organized crime that financially supports the Taliban and Al Qaeda's insurgency and, still, strengthens the power of the Afghan Warlords. So, it is important to underscore that in the aftermath of three decades of uninterrupted violence, "*Afghanistan is a desperately poor, war-ravaged country*" (Ward *et al*, 2010, p. iii). Despite substantial investments made by the International Community in Afghanistan and, consequently, the growth of this State's GDP, albeit at a slow pace (3.4% in both 2008 and 2009), the Afghan macroeconomic outlook is not encouraging. Regarding this issue, it is appropriate to mention values such as an unemployment rate of 35%, in 2008, or the inflation rate of 20,5% (CIA, 2009). In this context, as in the past, the main struggle of the Afghan population is to escape poverty. Actually, this scourge "*affects 36 percent of the population, while more than half of the nation is vulnerable to poverty. (...) [Thus] 36 percent of the population cannot meet basic consumption needs*" (MOE, 2010, p. 24). In fact, while over 80% of households ensure their livelihood through agriculture, the farmers are hampered in their efforts by the arid or semi-arid soil of the country, by the poorly irrigated land and, due to geographical circumstances of the Afghan territory, by the seasonality of crops that is impossible to dissociate from the destructive change between hot summers and freezing winters. Furthermore, rural areas lack accessibility and transportation, basic conditions to provide farmers access to markets to sell their products and achieve some profit from them. With such a poverty status, to avoid hunger, simply survive and sustain their families, the Afghans have no choice but to collude with criminals in the cultivation and trafficking of opiates. In this way we understand why "*opium is a high-value crop well adapted to Afghan conditions, with a strong impact on rural incomes and employment*" (Ward *et al*, 2008, p. 4).

The cultural legacy of the period prior to 2001, either historical or ethnographic, made worse by the already desperate economic situation in which the country found itself, moved the Afghans

---

(2) According to Antonio Lara (2009, p. 327), Max Weber's doctrine distinguishes three forms of power legitimation, namely, traditional, charismatic and legal-rational. This subject is further discussed in the dissertation to which this article refers.

to join the Taliban movement and become martyrs willing to sacrifice their lives for the sake of radical Islam. In this context, in 2001, the instability that prevailed in Afghanistan enabled the rise of Islamic fundamentalism within the International System, a phenomenon that led to dramatic consequences for global security, as well demonstrated by the tragic attacks in September 11.

### 3. INTERNATIONAL COMMUNITY'S INTERVENTION IN AFGHANISTAN POST-SEPTEMBER 11

September 11 threw the West into a *"civilization's fight [against] a radical a radical network of terrorists, and every government that [supported] them"* (Bush *apud* The 9/11 Commission, 2004, p. 337). As a consequence, the International Community launched the military intervention in Afghanistan, whose initial goals were *"to capture the terrorist leaders responsible for the 11 September 2001 attacks and to overthrow the Taliban Regime"* (Greenway and Zacchera, 2010, p.4). Owing to this latter aim, the international community needed to find a political solution to fill the political vacuum originated by the expected collapse of the Taliban regime and so, the United Nations (UN) and Lakhdar Brahimi (UN Representative to Afghanistan) gathered in Bonn with members of the Northern Alliance and some emissaries on behalf of the former King, Zahir Shah.

These talks turned out successfully with the signing of the *Agreement on Provisional Arrangements in Afghanistan Pending the Re-establishment of Permanent Government Institutions* (S/2001/1154), commonly known as the Bonn Accord, in December 5, 2001. This agreement *"paved the way for the creation of a three-way partnership between the Afghan transitional Authority, the United Nations Assistance Mission in Afghanistan (UNAMA) and ISAF"* (ISAF, 2010a). Once developed, this partnership based on the three main pillars of the Bonn Accord, namely, security, reconstruction, and political stability (Tomé, 2005, p. 3), gave birth to the Afghanistan National Development Strategy (ANDS), to be implemented between 2008 and 2013. Despite this evolution we prefer to address each of the Bonn Accord topics in reverse order.

Regarding the political stabilization of Afghanistan, the participants in the Bonn Conference put in place an Interim Authority, assuming that it would be *"the first step towards the establishment of a broad-based, gender-sensitive, multi-ethnic and fully representative government"* (S/2001/1154). However, because seventeen out of the thirty ministries were assigned to the Northern Alliance, the main ethnic conflict exacerbated with *"the Pushtuns viewing the Interim Administration as Tajik-dominated"* (Cronin, 2001, p. 51). The friction between ethnicities prevailed during the decade of struggle for political stability in Afghanistan, opposing not only Pashtuns and Tajiks, but also the Pashtun to other smaller groups. When we look closely at the outcome of the Presidential elections in 2004 and 2009, we find that Hamid Karzai's popularity dropped significantly, especially in the Taliban controlled, and hence insecure, regions of the country. Besides that, at the end of the presidential elections, either in 2004 or 2009, the Tajiks were always second after Hamid Karzai, with Yonous Qanooni winning 16.3% of the votes against Hamid Karzai's record of 55,4% same, and Dr. Abdullah Abdullah same gathering 30,59% of the

votes against Hamid Karzai's higher score of 49,67% same. It is noteworthy that, to overcome the loss of the electorate in 2009, Hamid Karzai picked Mohammad Fahim as election running mate and his number two, to gain some support among Tajiks.

The recent weakened power of Karzai proved to be real when, fearing United States withdrawal from ISAF, the Afghan President opened conversations with the Taliban, in order to integrate their movement in Afghan politics. Given this attitude, the fears and the anger were promptly awakened in the minds of minorities. For example, Rehman Oghly, an Uzbek politician, clearly threatened the Afghan President when he stated that *"Karzai is giving Afghanistan back to the Taliban, and he is opening old schism[s.] If he wants to bring the [T]aliban, and they begin to use force then we will go back to civil war and Afghanistan will be split"* (Oghly apud Filkins, 2010). These recent developments in Afghan politics, like its historical background undoubtedly marked by ethnic conflicts, brings us to the conclusion that Afghanistan is still far from being a stable state. Furthermore, in the absence of foreign support, we strongly believe that due to Hamid Karzai's dwindling support among the electorate and because he is a Popolzai tribe leader (and not a member of the Durrani or Ghilzai Pashtun tribes), *"the Karzai regime – illegitimate and too weak to combat nationwide insurgency alone – will collapse, and the Taliban will resume power following civil war in the north"* (Dorransoro, 2009, p. 11).

Concerning reconstruction, everything can be summarized in Alexander Thier's words (2009, p. 7) when he states that *"Security is the sine qua non of the stabilization and reconstruction process"*.

Regarding security, with the assistance of ISAF, the International Community has shown concern about the instability in Afghanistan, which proved, in 2001, to have a catastrophic impact on global security. ISAF is a UN-mandated military coalition deployed to Afghanistan in order to fulfil the request from the participants in the Bonn Conference to the United Nations Security Council (UNSC), on December 5, 2001, asking it to consider authorizing the deployment to Afghanistan of a mandated force. Then, with the UNSC Resolution 1386 issued on December 20, 2001, the International Security Assistance Force (ISAF) became a reality. It is noteworthy this intervention by NATO was conducted under the provision of Article V of the North Atlantic Treaty that encompasses the principle of collective defense within the Alliance, which is in turn framed by Article 51<sup>st</sup> of the United Nations Charter.

In the beginning ISAF's command rotated among the Allies every six months but, since 2003, NATO has taken over the responsibilities of command, coordination and planning in the coalition aiming to provide security and ensure peace in Afghanistan. From the beginning, intervention consisted of five phases: *"Phase 1 Assessment and Preparation, including operations in Kabul (completed); Phase 2 Geographic expansion [completed in 2006]; Phase 3 Stabilization; Phase 4/5 Transition / Redeployment"* (ISAF, 2008, p. 2). Nowadays, ISAF's mission is at an intermediate point between the third and fourth stages. Thus, the coalition, *"in support of the Government of the Islamic Republic of Afghanistan, conducts operations in Afghanistan to reduce the capability and will of the insurgency, support the growth in capability of the Afghan National Security Forces (ANSF), and facilitate improvements in governance and socio-economic development, in order to provide a secure environment for sustainable stability that is observable to the population"* (ISAF, 2010d, p. 1).

To combat insurgency ISAF designed the Counterinsurgency Strategy (COIN) that follows the sequence *“shape, clear, hold, build”* (Bowman and Dale, 2010, p. 29). The COIN focuses heavily on the relationship of the troops with the population, since *“the conflict will be won by persuading the population, not by destroying the enemy”* (McChrystal, 2009a, p. 1).

On December 14, 2010, acting in the whole country, ISAF comprised 131,730 military from 48 nations, from which 28 are NATO Member-States and 12 are Alliance Partners. Regrettably, at the present moment, some of these national forces are bounded by national caveats because their *“governments are implicitly demanding a zero-casualty tactics”* (Dorrnsoro, 2009, p. 25). But, that is not the only reason why *“the strategy of the international community is not working”* (Vasconcelos and Zaborowski, 2009, p. 32). ISAF's current strategy lacks human resources since, according to Jo Coelmont (2009a, p.21), it needs 270,000 troops to suppress insurgency. Peter Bergen goes even further, advocating that *“NATO member states must increase their strength and reduce the number of ‘national caveats’ that (...) hamper the effectiveness of NATO forces in the ground”*. In fact, we must admit that *“with caveats the “whole” of the international force (...) is less than the sum of its parts”* (Bowman and Dale, 2010, p. 18). Besides this, we should be aware that, with the number of casualties among ISAF troops growing exponentially since 2001, *“the costs – human and financial – have brought the Coalition close to the breaking point in political and social terms”* (Dorrnsoro, 2009, p. 25). In 2008 and 2009 alone, the ISAF lost 521 and 711 military, respectively<sup>(3)</sup>.

To overcome the difficulty of raising troops among the Allies, the Afghan National Security Forces (ANSF) training could be part of the solution but, actually, that does not appear to be the case.

Concerning the Afghan National Army (ANA) training, *“the desired end-state is [to build up] a credible, professional military force able to support Afghan authorities to maintain security and stability in the country”* (NATO, 2006, p. 3). Even so, these goals faced serious obstacles in the country because there was only available *“a large pool of combat veterans [who] had been guerrilla fighters and a large majority never served in an organized and professional army loyal to the state, as opposed to the strongmen, religious parties, ethnic or tribal affiliations that they fought for”* (Chan, 2007, p. 2). To worsen this situation, 80% of ANA soldiers are illiterate, 15% are addicted to opiates, and the army records a defection rate between 16% and 25%. Besides these problems, the atmosphere of crime in Afghan society also affects ANA, as one third of the weapons delivered to the army in 2004 were reportedly missing in February 2009. Despite all these difficulties, due to the prevailing insecurity in Afghanistan, *“ANA is accelerating [its own] growth but some analysts worry that rushed expansion can weaken the military's overall quality”* (ACCH, 2010, p. 1).

Regarding Afghan National Police (ANP) development, initially, Germany was in charge of preparing a 70,000-strong police force force but, this nation's *“approach would have taken decades to train a police force of that size”* (Perito, 2009, p. 4). Therefore, the *U.S. Police*

---

(3) Data based on statistics available at [www.icasualties.org](http://www.icasualties.org), in January 13, 2011.

*Assistance Program* came along to accelerate that process, providing courses whose duration varied between 2 and 8 weeks, and even accepting former and experienced policemen. While the quality of these instruction plans is still “*open to question*” (*ibidem*, p. 4), the admission of several individuals linked with the Afghan warlords led to today's scenario in which “*ANP is (...) not merely incompetent but also corrupt*” (Bowman and Dale, 2010, p. 43). Unsurprisingly, in such conditions, “*ANP failed to fulfill its mandate to uphold the rule of law, protect Afghan citizens, and meet the country's security needs, including controlling the borders and narcotics production and defeating the Taliban-led insurgency*” (Perico, 2009, p. 2).

In short, we note that the International Community and, more specifically, ISAF's intervention has encountered massive difficulties in this complex theater of operations. So, the study of the enemy's nature is inescapable.

#### 4. AL QAEDA AND THE TALIBAN: UNDESTROYABLE ENEMY?

The September 11 attacks came as a stunning reaction to secularism of which Islamic fundamentalists claim to be the victims, blaming the West for allegedly oppressing Muslims and Theocratic societies of Islam ideologically. With this spirit, the Islamic fundamentalists strictly follow five principles (Costa, 2003, p. 30): “*1. Allah is our goal; 2. Prophet Muhammad is our example; 3. The Koran is our law; 4. Jihad is our path; 5. Die in behalf of Allah is our desire.*”

Al Qaeda is a transnational terrorist network headed by Osama bin Laden, who seeks to unite Muslims by force restoring the Islamic caliphate, hence the need to overthrow the governments of several Arab countries it deems to be Occidentalized and corrupt. This terrorist organization provides support and education to Muslim fundamentalists that integrate subversive movements in countries such as Chechnya, Tajikistan, Somalia, Philippines, Bosnia and Kosovo (Andrade, 1999, p. 171). To achieve its political, religious and social goals, Al Qaeda explores the identity crisis within the Arab world, the reaction to secularism and reformism, the ethnocentric and xenophobic reaction to the perceived humiliation, and the military, economic and social development of the Arab world when compared to the great powers.

Currently, Al Qaeda enjoys prosperous finance based on illicit activities (e.g. drug trafficking, arms smuggling, etc.) that generate huge profits. The money raised is covered up resorting to money laundering mechanisms such as the *hawala* process. Moreover, this terrorist network shows high communication and coordination between its cells, extensive and efficient logistics and a subversive potential capable of fostering hot spots around the globe. Al Qaeda is a flexible, mobile, dynamic, unpredictable, transnational and deterritorialized terrorist organization, and hence needs a sanctuary for its activities. This is why the terrorist network started interacting with the Taliban. On the one hand, this movement's “*hospitality provided Al Qaeda with safety and operational [bases in Afghanistan and, on the other hand, the terrorists] reciprocated with financial support and weapons purchases [to sustain Afghanistan's religious authoritarian regime]*” (Ruttig, 2009, p. 23).

*"The predominantly Pushtun Taliban emerged in late 1994 as a Messianic movement made up of taliban (literally, students) from Islamic madrasahs who were living as refugees in Pakistan [since the soviet incursions into Afghanistan]. They vowed to bring peace to Afghanistan, establish law and order, disarm the population, and impose sharia (Rashid, 1999, p. 3). The Taliban combine "elements of literalist Sunni subgroups – Salafists, Wahabists and the Deobandi school -, 'modern' radical Islamist ('jihadist') interpretations and the Pashtun tribal code, i.e. pashtunwaly" (Ruttig, 2009, p. 16)<sup>(4)</sup>.*

Owing to the historical ties between both countries and the developments in the Afghan war since 2001, which evolved from conventional war to guerrilla insurgency, *"Pakistan is now inextricably involved in the conflict and becomes more and more central to its solution"* (Coelmont, 2009a, p. 8). In this regard, we point out that moral and strategic guidelines followed by the Taliban partisans stem from Pakistan, more specifically, from four military councils located along the Afghan-Pakistan border in:

- a) Quetta (Balochistan), from where the *rahbani shura* supports Mullah Omar's decision making and insurgency in western and southwestern Afghanistan;
- b) Peshawar (North-West Frontier Province), supplier of the insurgents in the northeastern Afghanistan;
- c) Miramshah (North-West Frontier Province), prominent as the "command post of the *Haqqani Network*, responsible for carrying out the rebellion in the south and east of the Afghan territory;
- d) Gerdi Jangal (Balochistan), which is supposed to foster instability in Helmand.

The Taliban share the same ideology and hence common interests with multiple Islamic subversive movements, such as *Tehrik Taliban-I Pakistan*, *Lashkar-e-Tayba*, *Tehrik Nefaz-e Shariat Mohammadi*, *Islamic Movement of Uzbekistan (IMU)*, *Islamic Jihad Union*, *Jaish-e-Mohammed*, *Sipah-e-Sahaba*, *Lashkar-e-Jhangvi*<sup>(5)</sup>. Besides these actors' contribution to Afghanistan's instability, there is also *Hezb-I Islami Gulbuddin (HiG)*, a rebel faction led by Gulbuddin Hekmatyar.

In 2001, ISAF's mission was intended to stop widespread terror caused by these groups and thus cease Afghanistan's instability, but *"the Taliban, supported by the drug trade and the network of warlords, has put up a stubborn guerrilla-style resistance to ISAF (...) which in turn obliged the western Allies to progressively step up their military engagement"* (Greenway and Zacchera, 2010, p.4). Thus, we must now briefly analyze, first, Taliban's guerrilla strategy and, secondly, the trafficking of opiates. When we observe Taliban's guerrilla strategy it becomes evident that:

- a) the existing religious and linguistic ethnonationalism, which unites Pashtun population on both sides of the Durand Line, allows the partisans to easily move back and forth across the Afghan-Pakistan border;

---

(4) We emphasize that, at the Pakistani madrassas, 225,000 fundamentalists were educated according to the principles of a radical Islamic doctrine, inspired by Pakistan's Deobandism, an orthodox interpretation followed by the Sunni clerics of the Hanafi school (*mahdab*), the one that gives greater interpretative freedom of Islamic law to the religious leaders.

(5) For example, *Lashkar-e-Tayba* and *Jaish-e-Mohammed* are both deeply involved in the struggle for control of Kashmir and *Islamic Jihad Union* includes Uzbek, Azeri, Turk and German terrorists and Al Qaeda's affiliates coming from Arab countries and Chechnya.

- b) there's a political ambition behind each strike of the Taliban, which is obvious when we remember the murder of Sibghatullah Mujaddedi, former President of Afghanistan, and Mohammed Daoud, governor of Helmand Province;
- c) they get external support from the aforementioned Islamic radical movements;
- d) it is clearly one example of asymmetrical warfare, as the fighters often make use of military weapons and improvised explosive devices to inflict a maximum number of casualties among ISAF troops and ANSF;
- e) through long-term war, insurgents are slowly eroding confidence in ISAF;
- f) the population supports the Taliban either voluntarily or compulsorily;
- g) an insurgent *"often cannot be identified before he has struck and then once he has, he hides among the civilian population"* (McKiernan, 2008, p. 2);
- h) the rebels are better adapted to the terrain, because they know it better;
- i) it encompasses propaganda which exploits economic, social and political claims;
- j) insurgents financially support their operations through highly profitable businesses such as drug production and trafficking.

In recent years, Afghanistan has been facing an unprecedented scourge of opium and this country's production alone satisfies about 90% of global demand for this substance. At the beginning, the Afghan government, with support from ISAF, tried to eradicate poppy, which proved to be impossible because *"farmers can get about 10 times more per hectare if they cultivate opium compared to something else"* (Oguz, 2007, p. 12). Opium profits are simply unbeatable. To give an idea of the scale of the narcotics scourge, in Afghanistan *"money generated from opiates compares well with GDP'[s, as the narcotics industry yielded] 48% of the GDP in 2007, 33% in 2008 and 26% in 2009"* (UNODC, 2010a, p. 48). This opium-dependent economy results from the devastating scenario of enormous poverty and lust for power, by the Afghan warlords and the Taliban. For these actors, power is money because *"money is ammunition"* (Petraeus, 2010, p. 2). *"By year [2008] end, war-lords, drug-lords and insurgents [had] extracted almost half a billion dollars of tax revenue from drug farming, production and trafficking"* (UNODC, 2008, p. 2). Nowadays, Taliban commanders collect a 10 per-cent tax on opium production in areas under their control, and the estimated amount that these insurgents reach with all illegal opium-related activities is US\$125 million.

It is no coincidence that *"a map of opium cultivation and a map of security put on top of each other look almost the same"* (Oguz, 2007, p. 12). The reason is quite simple and Christopher Ward *et al* (2008, p. 76) say it best: *"Under circumstances of insecurity, opium markets work best [...] and opium is the best crop choice [because] it is a low-risk crop in a high-risk environment"*. Insecurity plays such a vital role in this opium economy that, with the large profits generated by narcotics, insurgents form private armies to defend themselves from their competitors and even from the State. With these armed groups insurgents protect poppy farms and drug trafficking routes that lead opiates to neighboring countries and then to major consuming markets (USA, South America and Central, Eastern and Western Europe). The three main trafficking routes from

Afghanistan<sup>(6)</sup> draw advantage from long-lasting ethnonationalisms, as drug smuggling groups are often ethnic-based and use their identity to facilitate drug trade within the central Asia region. Due to this reason, today, Afghan opiates' illegal trade is a global issue, and a highly profitable and unstoppable business.

Obviously, as the world's main producer of opiates, Afghanistan is deeply affected by the greed of all criminal players engaged in drug trafficking. Given the importance of insecurity for the opium economy, the Afghan warlords and the Taliban struggle to delay peace building in Afghanistan. With this intention these actors use their own fortunes to foster corruption, even involving *"some elements of the ANP (...) in trafficking weapons and ammunition to the insurgents"* (Greenway and Zacchera, 2010, p. 6). Thus, *"the international forces [efforts] to stamp out corruption are unfortunately defeated by the lure of easy money"* (*ibidem*, p. 6) and both insecurity and opium industry prevail. Within chaos corruption grows even higher, becoming quite serious as *"large sums are diverted from ongoing [stabilization and reconstruction] projects"* (*ibidem*, p. 5). In fact, in Afghanistan *"the aid is part of the war economy, especially in the South, with the insurgents taking a cut of almost every project implemented in the rural areas"* (Dorransoro, 2009, p. 35).

Nowadays, corruption is a widespread phenomenon all over Afghanistan and bribery has become standard practice in its people's everyday life. To give an idea of the extension of this problem, we stress that the *"Afghans paid out \$2,5 billion in bribes [in 2009, which] is equivalent to almost one quarter (23%) of Afghanistan's GDP"* (UNODC, 2010b, p. 4) and, in the same period, the prevalence of bribery exceeded 30% in the eastern part of the country, and 60% in the northern and southern regions (*ibidem*, p.18).

In short, under present conditions, viable alternatives to opium still do not exist in Afghanistan. Opium-poppy is by far the most profitable crop in this impoverished country where a large majority of its own people struggle to escape poverty. In this environment, Afghans inevitably become accessories of the Taliban and the powerful warlords engaged in opium related activities. These criminals, in turn, encourage the growth of corruption, bribing officials to preserve their highly profitable monopoly and now, especially in the Helmand Province, it is clear that *"corruption erodes trust in public officers and the state"* (UNODC, 2010c, p. 10).

## 5. CONCLUSION<sup>(7)</sup>

It has been ten years since the war began in Afghanistan, but despite all efforts by the International Community and, in particular, ISAF, the country remains a failed state.

---

(6) Broadly speaking, those routes are: *Northern Route*, to Russia via Central Asia Republics; *Balkan Route*, to Europe crossing Iran and Turkey; *Southern Route*, passing through Pakistan but with no single destination.

(7) Because this paper is a very condensed summary of the author's dissertation, it may not provide enough evidence to justify some of the conclusions presented below. That being the case, we refer the reader to the aforementioned dissertation, where additional arguments are available on the matters discussed here.



Robert Rotberg (2002, p. 128) stated that “[State] failure and weakness can flow from nation’s geographical, physical, historical, and political circumstances, such as colonial error and Cold War policy mistakes” and, in fact, Afghanistan proves that he is right. When we look at this country from different perspectives, either historical, ethnographic, religious, economic or geographic, it becomes clear that Afghanistan is an absolutely divided country. It is truly the graveyard of empires where different people and cultures met each other, resulting in the existing ethnic multiplicity, in which Pashtun overrun their rivals, leading Nadir Shah to power, in 1747. From that year until 1973, with the Durrani Dynasty in power, Afghanistan experienced peace but, since the beginning of the Soviet invasion in 1978, the Islamic clerics erupted in anger over their secular ideology. Since then, Afghanistan remained at war, which benefited the rise of Islamic fundamentalism within the region. All these events led to the current instability in Afghanistan, where various factions are struggling for power in an already impoverished country.

Currently, we must also regard Afghanistan as a failed state because it is “tense, [conflictive] and dangerous”. Furthermore, among other characteristics, it exhibits: “a rise in criminal and political violence; a loss of control over their borders; rising ethnic, religious, linguistic, and cultural hostilities; (...) the use of terror against their own citizens; weak institutions; a deteriorated or insufficient infrastructure; (...) high levels of corruption; (...) basic food shortages, leading to starvation” (*ibidem.*, p. 132).

In a word, Afghanistan it is still quite unstable, and its economy is completely destroyed after 30 years of war. But perhaps the most serious problem of this state is the fact that without one single nationalist sentiment, under current conditions, political stability seems unlikely to emerge.

Finally, to answer the initial question, we believe that it is appropriate to quote Eduardo Santos (2008, p. 211) who maintains that “in Afghanistan (...) the Alliance cannot fail if it wants to have any future credibility as a military alliance, in particular in its ambition of being an “exporter” of security and stability”<sup>(8)</sup>. Regarding his opinion as axiomatic and given the fact that Afghanistan remains a failed state, we are led to conclude that NATO will lose credibility in Afghanistan due to the fact that, under the present circumstances, it will be impossible to stabilize the country according to the bilaterally concerted plans of the International Community and the Afghan Government<sup>(9)</sup>.

---

(8) Free and literal translation of: “no Afeganistão, (...) a Aliança não pode falhar, se quer ter alguma credibilidade futura como aliança militar, particularmente na sua ambição de ser “exportador” de segurança e estabilidade.” (Santos, 2008, p. 211).

(9) Despite this loss of credibility, we strongly believe that NATO will outlast the war in Afghanistan, leaving us room to debate transatlantic issues based on ISAF’s experience and its latest developments. With this in mind, we suggest some discussions in our dissertation.

## 6. REFERENCES

- [1] **ACCH** (Afghanistan Congressional Communication Hub) – *Afghanistan Policy Page: State of the Afghan National Army*, 16 February 2010. [Consulted on 3 Jan. 2011]. Available on WWW: <URL: <http://newstrategicsecurityinitiative.org/wp-content/uploads/2010/01/P12-Afghan-Policy-Page-Afghan-National-Army.pdf>>.
- [2] **ANDRADE**, John – *Acção Directa - Dicionário de Terrorismo e Activismo Político*, Biblioteca de Ciências Humanas, Lisbon: 1<sup>st</sup> edition, Hugin Editores, Lda, 1999. ISBN: 972-8310-99-4.
- [3] **BAXTER**, Craig – Historical Setting *In Afghanistan Revisited*. 1.<sup>a</sup> ed. New York: Nova Science Publishers, Inc., 2001. ISBN:1-59033-421-3. pp. 90-120.
- [4] **BOWMAN**, Steve; **DALE**, Catherine – *War in Afghanistan: Strategy, Military, Operations, and Issues for Congress* [Online]. Congressional Research Service (CRS), 2010, updated 8 Jun. 2010. [Consulted on 12 Nov. 2010] Available on WWW: <URL: <http://www.fas.org/sgp/crs/natsec/R40156.pdf>>.
- [5] **CHAN**, Samuel – *Sentinels of Afghan Democracy: The Afghan National Army*. [Online]. Working Paper No.128. Singapore: S. Rajaratnam School of International Studies, 1 Jun. 2007. [Consulted on 3 Jan. 2011]. Available on WWW: <URL:<http://www.rsis.edu.sg/publications/WorkingPapers/WP128.pdf>>.
- [6] **CIA** – *The World Factbook 2009*. [Online]. (2009) Washington D.C.: Central Intelligence Agency, 2009. Updated on 24 Jun. 2010. [Consulted on 02 Jul. 2010]. Available on WWW:<URL: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/index.html> > ISSN 1553-8133.
- [7] **COELMONT**, Jo – *End-State Afghanistan*. [Online]. Egmont Paper 29. Brussels: Academia Press, Mar. 2009a. [Consulted on 12 Nov. 2010]. Available on WWW: <URL:<http://aei.pitt.edu/10881/01/eg29.pdf>>.
- [8] **COSTA**, Hélder Santos – *O Martírio no Islão*. 1<sup>st</sup> edition. Lisboa: ISCSP, 2003. ISBN 972-8726-21-X.
- [9] **CRONIN**, Richard P. – Afghanistan: Challenges and Options for Reconstructing a Stable and Moderate State *In Afghanistan Revisited*. 1<sup>st</sup> edition. New York: Nova Science Publishers, Inc., 2001. ISBN:1-59033-421-3. p. 33-62.
- [10] **DORRONSORO**, Gilles – *Fixing a Failed Strategy in Afghanistan*. [Online]. Washington: Carnegie Endowment for International Peace, 2009. [Consulted on 22 Nov. 2010]. Available on WWW: <URL: [http://www.carnegieendowment.org/files/dorronsoro\\_fixing\\_failed\\_strategy2.pdf](http://www.carnegieendowment.org/files/dorronsoro_fixing_failed_strategy2.pdf)>.
- [11] **DUPREE**, L., - *AFGHANISTAN iv. Ethnography*, Encyclopaedia Iranica Online [Online], updated on 15 Dec. 1983. [Consulted on 6 Jun. 2010]. Available in: <URL:<http://www.iranica.com/articles/afghanistan-iv-ethnography>>.
- [12] **FILKINS**, Dexter – *Overture to Taliban Jolts Afghan Minorities*. [Online]. The New York Times, 26 Jun. 2010. [Consulted on 13 Oct. 2010]. Available on WWW: <URL: <http://www.nytimes.com/2010/06/27/world/asia/27afghan.html>>.
- [13] **GREENWAY**, John; **ZACCHERA**, Marco – *Afghanistan – explaining the reasons for the war to the public*. 1<sup>st</sup> edition. Paris: European Security and Defense Assembly – Assembly of Western European Union, 2010. DOCUMENT A/2070.
- [14] **ISAF** – *The NATO-ISAF Placemat*. [Online]. Updated on 1 Abr. 2008. [Consulted on 21 Dec. 2010]. Available on WWW: <URL: [http://cca.analisidifesa.it/downloads/7631003585\\_it.pdf](http://cca.analisidifesa.it/downloads/7631003585_it.pdf)>.
- [15] **ISAF** – *Mission*. [Online]. 2010d. [Consulted on 21 Dec. 2010]. Available on WWW: <URL:<http://www.isaf.nato.int/mission.html>>.
- [16] **KATZMAN**, Kenneth – Afghanistan: Current Issues and U.S. Policy Concerns. *In Afghanistan Revisited*. 1<sup>st</sup> edition. New York: Nova Science Publishers, Inc., 2001. ISBN:1-59033-421-3. p. 1-32.
- [17] **LARA**, António de Sousa *Ciência Política – O Estudo da Ordem e da Subversão*. Lisbon: ISCSP, 2009. ISBN 972-8726-25-2.
- [18] **MCCHRISTAL**, Stanley – *ISAF Commander's Counterinsurgency Guidance*. [Online]. Kabul: ISAF HQ, Aug. 2009a. [Consulted on 20 Dec. 2010]. Available on WWW: <URL: [http://www.nato.int/isaf/docu/official\\_texts/counterinsurgency\\_guidance.pdf](http://www.nato.int/isaf/docu/official_texts/counterinsurgency_guidance.pdf) >
- [19] **MCKIERNAN**, David D. – *Tactical Directive*. [Online]. Kabul: ISAF HQ, 30 Dec. 2008. [Consulted on 20 Dec. 2010]. Available on WWW: <URL:[http://www.nato.int/isaf/docu/official\\_texts/Tactical\\_Directive\\_090114.pdf](http://www.nato.int/isaf/docu/official_texts/Tactical_Directive_090114.pdf)>.
- [20] **MOE** (MINISTRY OF ECONOMY) - *Poverty Status in Afghanistan : A profile based on National Risk and Vulnerability Assessment (NRVA) 2007/08* [Online]. Afghanistan: Ministry of Economy, Jul. 2010. Available on WWW: <URL:<http://siteresources.worldbank.org/AFGHANISTANEXTN/Resources/305984-1264608805475/6739619-1286210806756/AFPovertyReport.pdf>>.
- [21] **NATO** – *Declaration by the North Atlantic Treaty Association and the Islamic Republic of Afghanistan*. [Online]. Kabul: 6 Sept. 2006. Updated on 17 Set. 2007. [Consulted on 21 Dec. 2010]. Available on WWW: <URL: <http://www.nato.int/docu/basicxt/b060906e.htm>>.

- [22] **OGUZ**, Christina – Interview with the UNODC Representative *In Perspectives* [Online]. Issue 3 (Apr-Jun 2007), p.12-13. [Consulted on 19 Sept. 2010]. Available on WWW: <URL: [http://www.unodc.org/documents/about-unodc/Magazines/perspectives\\_3\\_WEB.pdf](http://www.unodc.org/documents/about-unodc/Magazines/perspectives_3_WEB.pdf)>.
- [23] **PERITO**, Robert M. – *Afghanistan's Police: The Weak Link in Security Sector Reform*. [Online]. Washington: United States Institute of Peace, August 2009. [Consulted on 6 Dec. 2010] Available on WWW: <URL: [http://www.usip.org/files/afghanistan\\_police.pdf](http://www.usip.org/files/afghanistan_police.pdf)>
- [24] **PETRAEUS**, David H. – *COMISAF's Counterinsurgency Guidance*. [Online]. Kabul: ISAF HQ, 1 Aug. 2010. [Consulted on 20 Dec. 2010]. Available on WWW: <URL:[http://www.isaf.nato.int/images/stories/File/COMISAF-Guidance/COIN\\_Guidance\\_01\\_Aug\\_10.pdf](http://www.isaf.nato.int/images/stories/File/COMISAF-Guidance/COIN_Guidance_01_Aug_10.pdf)>
- [25] **RASHID**, Ahmed – The Taliban: Exporting Extremism *In Foreign Affairs* [Online]. Nov/Dec 1999. [Consulted on 24 Nov. 2010]. Available on WWW: <URL:<http://www.ratical.org/ratville/CAH/Rashid99.pdf>>.
- [26] **ROTBERG**, Robert I. – Failed States in a World of Terror *In Foreign Affairs*. Volume 81, No. 4. July/August 2002. New York: Council on the Foreign Relations, 2002. pp. 127-140.
- [27] **RUTTIG**, Thomas – *The Other Side: Dimensions of the Afghan Insurgency: Causes, Actors and Approaches to 'Talks'*. [Online]. Afghanistan Analysts Network, 2009. [Consulted on 13 Dec. 2010]. Available on WWW: <[http://aan-afghanistan.com/uploads/200907\\_AAN\\_Report\\_Ruttig-The\\_Other\\_Side.PDF](http://aan-afghanistan.com/uploads/200907_AAN_Report_Ruttig-The_Other_Side.PDF)>.
- [28] **S/2001/1154** – *Letter dated 5 December 2001 from the Secretary-general addressed to the President of the Security Council*. [Online]. [Consulted on 11 Set. 2010]. Available on WWW: <URL: <http://daccess-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N01/678/61/IMG/N0167861.pdf?OpenElement>>.
- [29] **S/RES/1386** – *United Nations Security Council Resolution 1386*, 20 December 2001. [Online]. [Consulted on 8 Jan. 2010]. Available on WWW: <URL: <http://daccess-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N01/708/55/PDF/N0170855.pdf?OpenElement>>.
- [30] **SANTOS**, Eduardo Silvestre dos – *A NATO no Século XXI*. Lisbon: Tribuna da História, 2008. ISBN 978-972-8799-8799-86-1.
- [31] **SILVA**, Nuno Pereira da – *O Novo Ambiente Operacional*. In *Segurança e Defesa*, No. 16., Janeiro – Março 2011. Loures. pp. 76-88.
- [32] **THE 9/11 COMMISSION** (NATIONAL COMMISSION ON TERRORIST ATTACKS UPON THE UNITED STATES) – *The 9/11 Commission Report: Final Report of the National Commission on Terrorist Attacks Upon the United States*. [Online]. Official Government Edition. Washington: U.S. Government Printing Office, 2004. 567 p. ISBN 0-16-072304-3. Updated on 29 Jul. 2004. [Consulted on 17 Aug. 2010]. Available on WWW: <URL: <http://www.gpoaccess.gov/911/pdf/fullreport.pdf>>.
- [33] **THIER**, J. Alexander – Introduction: Building Bridges *In THIER*, J. Alexander – *The Future of Afghanistan*. Washington: United States Institute of Peace, 2009. [Consulted on 1 Jul. 2010]. Available on WWW: <URL:<http://www.usip.org/files/resources/foa.pdf>>.
- [34] **UNODC** - *Afghanistan Opium Survey 2008*. [Online]. Kabul: February 2008. [Consulted on 1 Dec. 2010]. Available on WWW: <URL: [http://www.unodc.org/documents/crop-monitoring/Afghanistan\\_Opium\\_Survey\\_2008.pdf](http://www.unodc.org/documents/crop-monitoring/Afghanistan_Opium_Survey_2008.pdf)>.
- [35] **UNODC** - *World Drug Report*. [Online]. New York: United Nations Publication, 2010a. ISBN 978-92-1-148256-0. [Consulted on 3 Sept. 2010]. Available on WWW: <URL:[http://www.unodc.org/documents/wdr/WDR\\_2010/World\\_Drug\\_Report\\_2010\\_lo-res.pdf](http://www.unodc.org/documents/wdr/WDR_2010/World_Drug_Report_2010_lo-res.pdf)>.
- [36] **UNODC** – *Corruption in Afghanistan*. [Online]. Kabul: January 2010b. [Consulted on 1 Dec. 2010]. Available on WWW: <URL: <http://www.unodc.org/documents/data-and-analysis/Afghanistan-corruption-survey2010-Eng.pdf>>.
- [37] **UNODC** – *Afghanistan Opium Survey 2010: Winter Rapid Assessment*. [Online]. Kabul: February 2010c. [Consulted on 1 Dec. 2010]. Available on WWW: <URL: [http://www.unodc.org/documents/frontpage/Afghanistan\\_Opium\\_Survey\\_2010\\_Final.pdf](http://www.unodc.org/documents/frontpage/Afghanistan_Opium_Survey_2010_Final.pdf)>.
- [38] **VASCONCELOS**, Alvaro de; **ZABOROWSKI**, Marcin – *The EU and the world in 2009: European perspectives on the new American foreign policy agenda*. [Online]. 2009. Paris: EU Institute for Security Studies, 2009. [Consulted on 15 Jan. 2010]. Available on WWW:<URL: [http://www.iss.europa.eu/uploads/media/European\\_perspectives\\_on\\_the\\_new\\_American\\_foreign\\_policy.pdf](http://www.iss.europa.eu/uploads/media/European_perspectives_on_the_new_American_foreign_policy.pdf)>.
- [39] **WARD**, Christopher; **MANSFIELD**, David; **OLDHAM**, Peter, **BYRD**, William – *Afghanistan: Economic incentives and development initiatives to reduce opium production*. [Online]. Department for International Development (DFID) et World Bank, February 2008. Available on WWW: <URL:<http://siteresources.worldbank.org/SOUTHASIAEXT/Resources/223546-1202156192201/4638255-1202156207051/fullreportAfghanistanOpiumIncentives.pdf>>

# Fontes de Financiamento de Organizações Terroristas



Too, Takes Har  
ing Terrorism

BY **KATRIN BENNHOLD**

International Herald Tribune

S wrist-  
the 32-  
ooden

bombings  
since then  
in 1971

Fonte: <http://www.asiasociety.org>

Autor: Osvaldo Oliveira, Tenente de Administração Aeronáutica  
Curso Básico de Comando  
Centro de Estudos Aeronáuticos  
Academia da Força Aérea

**Resumo.** Numa sociedade marcada por uma grande multiplicidade de actores e de relações supranacionais, uma das principais ameaças ao Ocidente é o terrorismo, encontrando-se no topo da agenda de muitos países e organizações internacionais. Sendo uma das premissas económicas fundamentais a racionalidade dos agentes económicos, e, considerando os economistas as organizações terroristas como altamente racionais, é possível analisar-se as entidades terroristas numa óptica económico-financeira. Dessa forma, e num contexto de restrições orçamentais e desaceleração económica a nível mundial, o modo como essas organizações se financiam revela-se fundamental para a prossecução da sua actividade. Nestas circunstâncias, as instituições de caridade apresentam-se como uma fachada perfeita para canalizar fundos, socorrendo-se de parcerias estratégicas com sindicatos do crime, o que dificulta a tomada de medidas de contenção e eliminação.

**Palavras-chave:** terrorismo, fontes de financiamento, instituições de caridade, crime organizado

## 1. INTRODUÇÃO

Num mundo marcado por uma crescente interdependência entre os diferentes actores políticos no plano internacional, com um aumento da abertura das economias ao exterior, e com uma geometria política multipolarizada, o terrorismo assume-se como uma das principais ameaças ao modo de vida Ocidental. Com efeito, e de acordo com Hoffman (2005: 1), «*coldly efficient bombings tear at the fabric of trust that hold societies together*» [4]. A União Europeia (UE) também é bastante sensível a esta temática, o que se traduziu na ampliação das funções da Europol que, a partir de 1 de Janeiro de 2010, se tornou numa Agência da UE com um mandato mais alargado na luta contra o terrorismo<sup>(1)</sup> - os últimos dados estatísticos, constantes do Relatório de Tendência e Situação de Terrorismo na UE, de 2010, referem que no ano transacto ocorreram 294 ataques terroristas em 6 estados membros, tendo sido detidos 587 indivíduos.

Para a execução de qualquer actividade, da qual a terrorista não será certamente uma excepção, é necessária a existência de fluxos financeiros regulares. Os fluxos financeiros são, por definição, multifacetados: uns simples, outros bastante complexos, mas todos difusos. É esta característica que torna incrivelmente difícil a tarefa de identificar e condicionar o acesso das organizações terroristas a meios de financiamento da sua actividade. George W. Bush, citado por Emerson (2002: 3), afirmou que “*money is the life-blood of terrorist operations. Today, we’re asking the world to stop payment*” [2]. Se, perante os canais tradicionais de financiamento, a tarefa já se revelava hercúlea, com novas formas de obtenção de capital para actos terroristas, a tarefa é verdadeiramente gigantesca. De acordo com a Resolução 1373 do Conselho de Segurança da Organização das Nações

---

(1) As ameaças são essencialmente Islâmicas, etno-nacionalismos, separatismos, anarquismo e terrorismo de extrema-esquerda.

Unidas (ONU), citado por Rollins (2010: 1), *“The Council noted with concern the close connection between international terrorism and transnational organized crime, illicit drugs, money laundering (...)”* [6].

## 2. NOÇÕES BÁSICAS

Não tem existido consenso na literatura sobre uma definição para o termo terrorismo, na medida em que o seu significado se tem alterado ao longo do tempo, e ele próprio depende do prisma da abordagem e dos actores envolvidos – para a ONU, e citando Purpura (2007: 14), *“one state’s “terrorism” is another state’s “freedom fighter”* [5]. A definição que será utilizada ao longo deste texto é a do Departamento de Estado Norte-Americano, que considera terrorismo como violência premeditada e politicamente motivada, perpetrada contra não combatentes por grupos sub-nacionais ou agentes clandestinos, geralmente pretendendo influenciar uma audiência. Uma das suas características essenciais é o carácter assimétrico entre a sociedade e as organizações terroristas, visto que se torna necessário proteger todo o território de um eventual atentado, enquanto aqueles grupos se podem concentrar num único ponto vulnerável que eventualmente exista. Nas palavras de Gaston Bouthoul, um filósofo francês citado por Hoffman (2005: 2), *“the anonymous, unidentifiable threat creates huge anxiety, and the terrorist tries to spread fear by contagion, to immobilize and subjugate those living under this threat”* [4].

Sendo uma das premissas económicas basilares a racionalidade inerente ao comportamento dos agentes económicos, os economistas consideram que as organizações terroristas, bem como os seus membros, são altamente racionais: escolhem o onde, o quando e o como dos seus ataques, maximizando os recursos disponíveis. Não é certamente coincidência que, das grandes categorias de atentados terroristas<sup>(2)</sup>, o mais utilizado, o uso de explosivos, é aquele que é economicamente mais vantajoso, sendo barato, logisticamente simples e com um baixo custo de utilização. A literatura económica considera, desta forma, a existência de um paralelismo entre organizações terroristas e uma empresa fornecedora de serviços, produzindo, neste caso, para a sua própria satisfação (auto-consumo). O mesmo sucedendo com qualquer outra empresa que necessita de recursos financeiros para levar a cabo a sua actividade, nomeadamente para despesas com salários, recrutamento, campos de treino, logística, propaganda e deslocações<sup>(3)</sup>. O Dr. Yusuf Abdullah Al-Qaradawi, um dos mais populares clérigos muçulmanos radicais, citado por Emerson (2002: 20), afirmou que:

*I bless the martyrdom operations in which a given Muslim fighter turns himself or herself into a human bomb that casts terror in the heart of the enemy ... If we can't carry out acts of Jihad*

(2) Tomada de reféns, utilização de explosivos, assassinatos e ameaças.

(3) A Central Intelligence Agency (CIA) estima que a Al Qaeda, antes do 11 Setembro, necessitava de 30 milhões de USD/ano para manter as suas operações.

*ourselves, we at least should support and prop up the Mujahideen financially and morally so that they will be steadfast until God's victory.* [2]

Ramzi Yusif, um dos cabecilhas do atentado terrorista ao *World Trade Center* em 1993, admitiu, após ter sido capturado, que o resultado ficou aquém do esperado<sup>(4)</sup>, visto que faltaram fundos à organização para um melhor planeamento do ataque, nomeadamente para a construção de um engenho explosivo de maiores dimensões. Feiler (2007: 1) estima que, entre 1984 e 1994, o orçamento global de grupos terroristas islâmicos foi de 800 milhões de USD, aumentando para mil milhões de USD entre 1995 e 2005 [3].

### 3. FONTES DE FINANCIAMENTO

Registou-se nos últimos anos uma grave crise económica a nível planetário, com repercussões ao nível da liquidez nos mercados e do acesso ao crédito por parte das empresas. Por forma a limitar a actividade dos grupos terroristas neste âmbito, tem sido notória a tentativa de lhes limitar o acesso a fontes de financiamento. Através da *Executive Order 13224* de 23 de Setembro de 2001, o Presidente George W. Bush ficou com a prerrogativa de congelar activos financeiros de organizações e indivíduos que constituíssem uma ameaça à segurança Norte-americana. Assim, 27 organizações e indivíduos viram os seus fundos serem congelados, num montante superior a 142 milhões de USD. Porém, as empresas terroristas possuem grande capacidade de adaptação a situações de fragilidade financeira e procuram novas fontes de financiamento.

### 4. FONTES DE FINANCIAMENTO TRADICIONAIS

Se para a maior parte do mundo civilizado as instituições de caridade representam o que de melhor e mais profundo o ser humano tem para oferecer ao seu semelhante, para as organizações terroristas elas representam uma fachada perfeita para a recolha de elevados montantes de dinheiro, desempenhando um papel central na sua estratégia de financiamento. De acordo com estimativas de Feiler (2007: 7), o montante anual recolhido por instituições de caridade islâmicas (*zakaat*) ascende a 100 mil milhões de USD [3]. A utilização de organizações sem fins lucrativos na recolha de fundos para causas controversas há muito que se encontra instituída: desde as comunidades Irlandesas de Boston e Nova Iorque, à *Muslim World League*, na guerra contra a campanha Soviética no Afeganistão. No que se refere ao mundo islâmico, as instituições de caridade são uma parte importante da tradição e lei muçulmanas. Existe um carácter religioso obrigatório de fornecer uma parte do seu rendimento, e/ou da sua força de

---

(4) De acordo com o Federal Bureau of Investigation (FBI), o ataque gerou prejuízos de cerca de 500 mil milhões de USD.

trabalho, para fins de caridade, constituindo um dos cinco pilares do Islão. Esta religiosidade associada faz com que, na sua grande maioria, as doações permaneçam anónimas, não existindo qualquer tipo de controlo governamental, o que permitiu à Al Qaeda explorar esta falta de supervisão (consentida ou não!), de forma a obter fundos para a sua actividade. Podemos incluir nesta análise a *Muslim World League*<sup>(5)</sup> (fundada em 1962 pela família real Saudita), a *International Islamic Relief Organization*<sup>(6)</sup> (surgida em 1978 na Arábia Saudita), a *Benevolence International Foundation*<sup>(7)</sup> (criada no final da década de 80 na Arábia Saudita), a *Al Haramain Islamic Foundation*<sup>(8)</sup> (baseada em Jeddá, na Arábia Saudita, e operando em 49 países), e a *Muwafaq Foundation*<sup>(9)</sup> (criada por Yassim al-Qadi, um associado de Osama Bin Laden). Estas instituições de solidariedade foram essencialmente utilizadas para doutrinação, recrutamento e apoio logístico a actividades terroristas. Enquanto algumas foram encerradas, tendo aberto com novas designações, outras permaneceram activas em muitos países, ou somente em alguns (como é o caso da *Al-Haramain* na Somália).

Se as instituições de solidariedade são uma óptima cobertura para o financiamento de organizações terroristas, negócios aparentemente legítimos também são um óptimo suporte para a sua infra-estrutura financeira. Estas empresas conseguem alterar as suas demonstrações financeiras para esconder as remessas de fundos ilegais destinadas ao terrorismo. Estas manipulações contabilísticas permitem transferências de dinheiro entre empresas de todo o mundo, com pouca ou nenhuma supervisão governamental. A empresa de *Import-Export Darkazanli*, localizada em Hamburgo, foi o primeiro negócio privado a ver os seus activos congelados pela *Executive Order 13224*, tendo sido acusado de lavagem de dinheiro e de compra de material técnico sensível para a Al Qaeda. A *Barakaat Telecommunications*, com uma quota de mercado elevadíssima no mercado de telecomunicações da Somália, fornecia meios de comunicação à Al Qaeda, e transferia elevados montantes através de bancos no Golfo Pérsico. Em Setembro de 2001 foi emitido um mandato de busca contra a *InfoCom Corporation*, sediada no Texas, pelas suas ligações ao Hamas, tendo sido congelados os seus activos.

O sistema financeiro, com as suas fraquezas e fragilidades<sup>(10)</sup>, também foi utilizado intensivamente por grupos terroristas. Desde o início que a Al Qaeda faz uso da comunidade bancária internacional para conduzir as suas actividades, mantendo contas bancárias na Europa, América do Norte e Golfo Pérsico. De acordo com George W. Bush, citado por Emerson

---

(5) 75 mil milhões de USD doados nas últimas quatro décadas através de apoio público e privado Saudita.

(6) De acordo com um relatório da CIA, fundos desta organização financiaram 6 campos de treino da Al Qaeda no Afeganistão, bem como os atentados bombistas nas embaixadas americanas de Nairobi e Dar es Salaam.

(7) Considerada pelo Departamento de Tesouro Norte-Americano como financiadora de terrorismo, nomeadamente de campos de treino da Al Qaeda.

(8) Cujos escritórios na Bósnia-Herzegovina e na Somália foram considerados como financiadores de actividades terroristas.

(9) Que esteve particularmente activa na guerra dos Balcãs, e que foi encerrada em 1998 após alegações de transferência de fundos para a Al Qaeda e outras organizações terroristas.

(10) Os escritórios do *Al Taqwa Bank* em Genebra, não sendo considerados pelo Governo Suíço nem como um banco, nem como um intermediário financeiro, não estão sujeitos aos regulamentos Suíços de controlo de lavagem de dinheiro.



(2002: 19), o «*Al-Taqwa Bank is "an association of offshore banks and financial management firms that have helped al-Qaeda shift Money around the world"*» [2]. Esta instituição bancária foi acusada de utilizar as suas agências nas Bahamas, na Argélia, Kuwait, Emirados Árabes Unidos, Malta e Suíça para canalizar verbas para organizações terroristas como o Hamas e a Al Qaeda. O *Al-Aqsa Bank* é também um bom exemplo do uso de instituições financeiras no financiamento de estruturas terroristas, havendo uma forte ligação deste banco com atentados terroristas no território de Israel, perpetrados pelo Hamas.

Sendo a ocultação dos movimentos financeiros primordial para os terroristas, o sistema de transacções *Hawala*, definido como transferência de dinheiro sem movimento de dinheiro, é uma pedra basilar neste contexto. Este tipo de operações abunda<sup>(11)</sup> no Médio Oriente, Ásia, Pacífico e América Latina, servindo como um sistema bancário informal, e fornecendo uma forma de envio de dinheiro das comunidades emigrantes deslocadas dos seus países de origem. Com mecanismos bancários pouco desenvolvidos, caros e ineficientes, o sistema *Hawala* revela uma procura superior por parte de quem prefere um sistema em que possa confiar, em que as comissões pagas são reduzidas, em que evita abrir contas bancárias, bem como o pagamento de taxas e outras comissões, sendo extremamente rápido e com taxas de câmbio mais atractivas.

Este sistema consiste em transacções que não envolvem registos em papel, e em que um agente *Hawala* comunica com outro agente *Hawala* no destino, e este entrega a remessa ao destinatário final, sem que o dinheiro tenha que ser enviado entre os agentes. Baseando-se em conexões familiares e regionais, os registos das transacções são mantidos no mínimo, e, mesmo quando esses movimentos existem, eles são na sua maioria pouco claros, visto que o seu registo contabilístico não se encontra padronizado. Fundamental ainda é o facto de que essas transacções podem ocorrer a qualquer hora do dia ou da noite, em qualquer dia da semana, fornecendo uma forma rápida de transferência de dinheiro. Apesar do seu carácter informal, logo sujeito a abusos, as quebras de confiança são muito raras dado o cunho religioso associado. Feiler (2007: 32) considera que «(...) *while there are obvious risks for those using the informal system, its speed and efficiency has proven valuable to businessmen, workers and terrorists*» [3].

Um bom exemplo de uma utilização eficiente e simultânea de várias fontes de financiamento foram os atentados bombistas às embaixadas americanas de Nairobi, Quénia e Dar Es Salaam. Num projecto a vários anos, foi criada uma empresa pesqueira, estabeleceu-se uma instituição de solidariedade e disseminaram-se fundos através do sistema *Hawala*. Uma grande parte destas organizações era totalmente operacional, tendo permanecido indetectáveis enquanto forneciam apoio logístico para a preparação dos atentados. Para os terroristas, a empresa pesqueira garantia-lhes fundos para o dia-a-dia, as instituições de caridade forneciam-lhes armas e explosivos, e a *Hawala* proporcionava-lhes fluxos financeiros adicionais para a operação.

---

(11) Certos autores estimam que envolve mais transacções internacionais no Médio Oriente e Pacífico que o sistema bancário formal.

## 5. NOVAS FONTES DE FINANCIAMENTO

Há fortes indícios de que nos últimos anos, e, particularmente após os atentados terroristas do 11 de Setembro, as interações entre as organizações terroristas e o crime organizado têm vindo a crescer – Rollins (2010: 8) considera que os atentados terroristas acima «*pressured many terrorist groups to find financial and material support elsewhere*» [6] - o que coloca problemas acrescidos, na medida em que a escala e a natureza dessa mesma cooperação é bastante variada. Por outro lado, dada a essência difusa e clandestina das relações que se estabelecem, a verdadeira dimensão das conexões permanece incógnita. Fruto do movimento de globalização, que se intensificou nas duas últimas décadas, os laços de cooperação têm vindo a estreitar-se, nomeadamente devido aos grandes desenvolvimentos ocorridos em termos de liberalização financeira e às novas tecnologias de informação<sup>(12)</sup>. As múltiplas dimensões desta cooperação podem traduzir-se em:

- convergência plena, de que a *Dawood Ibrahim's D-Company* é um exemplo. Actuando no Paquistão e na Índia, começou como uma organização criminosa, ligada ao comércio ilegal de armas e drogas, lavagem de dinheiro e extorsão, radicalizando a sua actuação à medida que se foi aproximando de movimentos Islamitas, tendo protagonizado uma série de atentados bombistas na Índia em 1993;
- organização terrorista com uma estrutura criminosa, como é o caso das Forças Armadas Revolucionárias da Colômbia (FARC), um grupo terrorista Marxista-Leninista com mais de 40 anos que se envolve em actividades criminosas, nomeadamente a produção e tráfico de droga, raptos e extorsão;
- células terroristas descentralizadas com actividade criminosa, como no caso dos atentados terroristas em Madrid em 2004. A célula que cometeu os atentados era composta por traficantes de droga que, posteriormente, se converteram ao Islamismo radical, e que utilizavam as verbas resultantes do tráfico para apoio logístico da operação (pagamento de comunicações, rendas de apartamentos, compra de armas e explosivos);
- coligação entre grupos terroristas e organizações criminosas. Os Talibãs, como grupo insurgente envolvido em intensa actividade terrorista, que se coligou com redes criminosas, envolvendo-se intensivamente no narcotráfico;
- empresários do crime, que funcionam como especialistas terroristas. Viktor Bout, um dos maiores traficantes de armas a nível mundial, foi acusado de fornecer armamento à Al Qaeda, aos Talibã e às FARC;

---

(12) Que se traduz em lavagem de dinheiro, cibercrime, falsificação de divisas, fraudes de cartões de crédito, etc.

- organizações terroristas com simpatizantes ligados ao crime. O Hezbollah é um exemplo desta convergência, na medida em que não estando directamente envolvido com o crime organizado recebe muitos fundos do exterior, de redes criminosas que, por motivos pessoais, ideológicos ou religiosos simpatizam com a organização baseada no Líbano;
- organizações terroristas com conexões periféricas a grupos criminosos. A Al Qaeda mantém uma relação ténue com o mercado do crime, visto que, sendo altamente ideológica e teológica, arriscar-se-ia a perder uma boa parte da sua base de apoio se se mostrasse receptiva a financiamentos ligados a actividades que violassem os princípios sagrados do Islão.

O comércio ilícito de droga é das maiores fontes de rendimento do mundo, com uma procura estável e crescente. George W. Bush, citado por Ehrenfeld (2002: 393), utilizou a final do *Super Bowl* para lançar uma campanha anti-drogas em que afirmava que *"It is so important for Americans to know that the trafficking in drugs finances the work of terror, sustaining terrorists. Terrorists use drug profits to fund their cells to commit acts of murder"* [1]. O comércio de droga apresenta vantagens para os terroristas em várias dimensões: financia a sua actividade através do fornecimento de fundos para a aquisição de armas; mina a estabilidade política e económica, bem como a saúde física e mental, dos países para os quais envia o seu produto; fornece para a opinião pública mundial exemplos da degenerescência social a que as sociedades ocidentais estão sujeitas, invocando a superioridade moral do mundo muçulmano. Existem evidências que apontam para organizações como o Hamas, a Jihad Islâmica, as FARC, o Sendero Luminoso, a Organização para a Libertação da Palestina, a Al Qaeda, e os Chechenos, estarem ligadas ao narcoterrorismo como fonte de financiamento das suas actividades.

O contrabando de diamantes e outras pedras preciosas tem-se revelado também como uma fonte alternativa de financiamento, sendo uma forma de evitar o sistema bancário, permitindo simultaneamente transportar avultadas somas de dinheiro de forma discreta.

A contrafacção de bens, um mercado anual estimado em 350 mil milhões USD, também tem sido bastante procurada por organizações terroristas, como o Hamas e os grupos rebeldes Colombianos. Estas organizações são particularmente activas na contrafacção de multimédia, peças de automóvel, t-shirts e tabaco.

A internet, contrariamente a uma certa crença popular de que os terroristas são essencialmente leigos informáticos, tem sido uma ferramenta que cada vez mais serve os propósitos dos terroristas. Considerada de um ponto de vista defensivo, permitindo comunicações crípticas e difíceis de detectar. De um ponto de vista ofensivo, é utilizada como uma plataforma de propaganda, recrutamento, captação de fundos, e fraudes informáticas.

## 6. CONCLUSÃO

Com base numa linguagem económica, não existe uma diferença analítica substancial entre uma empresa e uma organização terrorista. Os terroristas agem de forma extremamente racional,

não tirando vidas de forma indiscriminada: escolhem com precisão os seus alvos, tiram vidas de forma deliberada e cuidada, ou utilizam o recurso a raptos e extorsão como meio de negociação para alcançar os seus objectivos ao menor custo possível. Esta análise permite abstrairmo-nos da componente moral e centrarmo-nos na sua estrutura organizativa e financeira.

Num contexto de dificuldades de acesso ao crédito, e de escassez de liquidez nos mercados internacionais, as organizações terroristas, como qualquer outra empresa, procuram novas fontes de financiamento. Perante este cenário, os constrangimentos inerentes à estrutura financeira global têm sido fundamentais para a propagação e a manutenção das redes terroristas. As organizações terroristas tornaram-se mais resilientes ao congelamento de activos financeiros na última década, consequência das inúmeras fontes alternativas de financiamento disponíveis no mercado, tais como lavagem de dinheiro, contrabando, tráfico de armas, narcotráfico, entre outros. Apesar disso, podemos considerar que essa cooperação, sendo proveitosa para ambas as partes, será sempre de curto prazo<sup>(13)</sup> dadas as diferenças motivacionais e ideológicas existentes – para o *National Intelligence Council*, citado por Rollins (2010: 3), “*the relationship between terrorists and organized criminals will remain primarily a matter of business*” [6].

No entanto, a principal fonte de financiamento para os grupos terroristas e os seus membros continua a ser o recurso a instituições de solidariedade. Uma das dificuldades inerentes consiste em conseguir diferenciar aquelas instituições de caridade que servem fins pacíficos daquelas que são uma fachada para as organizações terroristas.

Dada a multiplicidade e heterogeneidade dos actores envolvidos, e visto que os Estados têm hoje um peso inferior ao que tinham no passado no palco internacional, torna-se fundamental que estes aumentem a capacidade de coordenação entre si, de forma a darem respostas concertadas aos problemas levantados pela flexibilidade e capacidade de adaptação das organizações terroristas. Esta coordenação passa por uma actuação preventiva, com a finalidade de reduzir o campo de recrutamento de novos terroristas, nomeadamente através da melhoria das condições de vida das populações mais susceptíveis de enveredar por movimentos terroristas e da canalização de fundos para o seu bem-estar geral.

## SIGLAS

- CIA - Central Intelligence Agency
- FBI - Federal Bureau of Investigation
- FARC - Forças Armadas Revolucionárias da Colômbia
- ONU - Organização das Nações Unidas
- UE - União Europeia

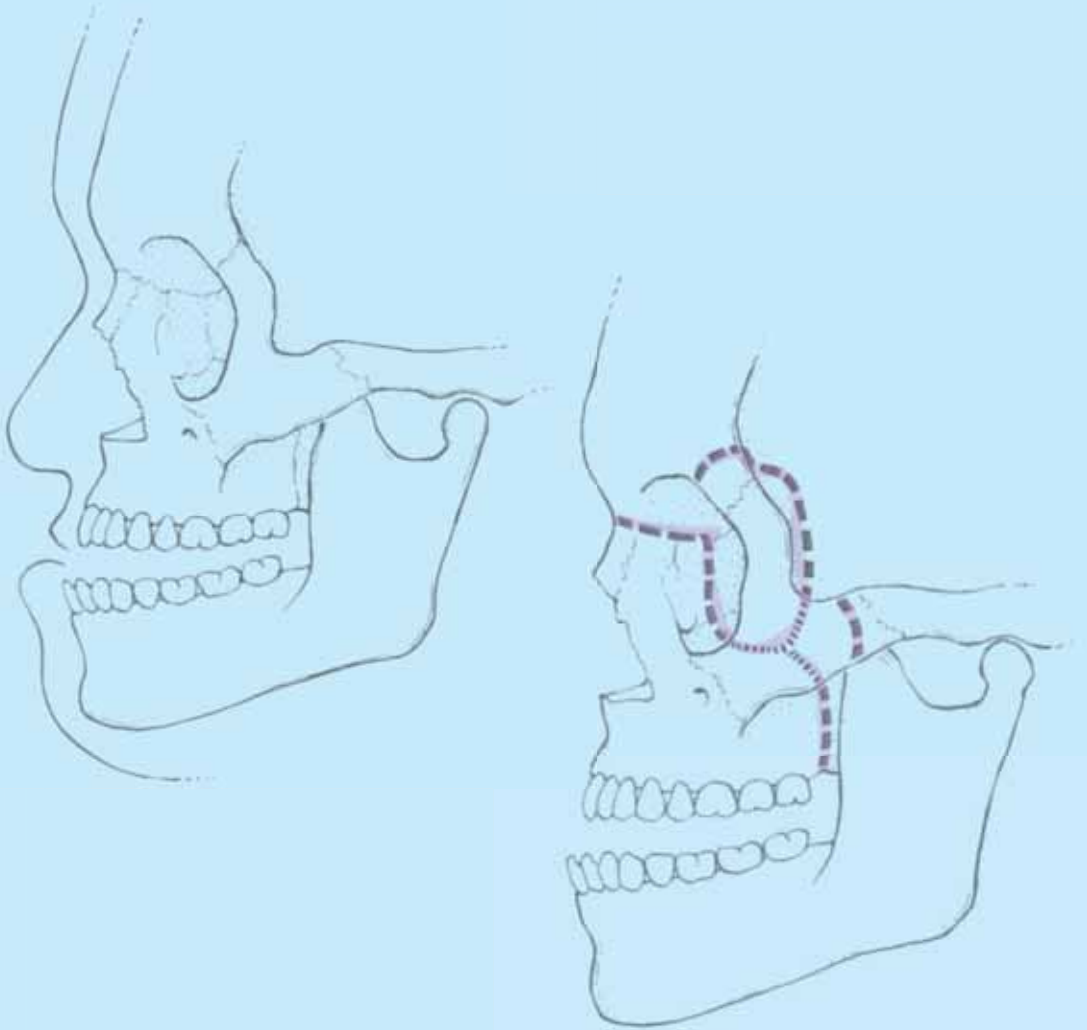
---

(13) Porém, e dada a natureza altamente lucrativa do crime organizado, existe a possibilidade de grupos terroristas menos ideológicos poderem alterar a sua missão principal.

## 7. BIBLIOGRAFIA E SITIOS DA INTERNET

- [1] EHRENFELD, Rachel – **Funding terrorism: sources and methods** [Em linha]. Novo México: Los Alamos National Laboratory, 2002. [Consult. 11 Nov. 2010]. Disponível em WWW:<URL:<http://library.lanl.gov/cgi-bin/getdoc?event=CT2002&document=30>>.
- [2] EMERSON, Steven – **Fund-raising methods and procedures for international terrorist organizations** [Em linha]. Washington: Investigative Project, 2002. [Consult. 10 Nov. 2010]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.au.af.mil/au/awc/awcgate/congress/021202se.pdf>>.
- [3] FEILER, Gil – The globalization of terror funding. **Mideast Security and Policy Studies**. Tel Aviv: The Begin-Sadat Center for Strategic Studies. ISSN 0793-1042. Nº 74 (2007) p. 1-64.
- [4] HOFFMAN, Bruce - The logic of suicide terrorism. **The Atlantic Monthly**. Boston: Atlantic Monthly Group. ISSN 1072-7825. vol 291: Nº 5 (2005) p. 1-3.
- [5] PURPURA, Philip - **Terrorism and homeland security: an introduction with applications**. Burlington: Elsevier, 2007. ISBN 978-075-067-843-7.
- [6] ROLLINS, John; WYLER, Liana; ROSEN, Seth – **International terrorism and transnational crime: security threats, U.S. policy, and considerations for congress**. U.S. Congressional Research Service, 2010.

# Síndrome de Crouzon: Aplicação da Distracção Osteogénica para o Avanço Le Fort III com Distractor Externo Pericraniano



Autora: Raquel Bento, Alferes Aluna do Mestrado Integrado em Medicina  
Academia da Força Aérea, Sintra

Orientador: Professor Doutor Rogério Santos  
Especialista em Cirurgia Plástica Reconstructiva do Hospital de Santa Maria da  
Faculdade Medicina da Universidade de Lisboa,  
Lisboa

**Resumo.** A Síndrome de Crouzon é uma disostose craniofacial, com um padrão de transmissão hereditária autossómico dominante de expressão fenotípica variável, que ocorre por mutações no gene do Receptor 2 do Factor de Crescimento do Fibroblasto. É uma craniossinostose síndrómica complexa, caracterizada por alterações da forma do crânio, hipoplasia da face média, exorbitismo, hipertelorismo, má-oclusão classe III de Angle e QI normal. O diagnóstico baseia-se nos sinais clínicos, devendo o tratamento ser planeado de forma individual, multidisciplinar e faseado, sendo definido de acordo com a deformidade e, entre outros factores, a idade do doente.

Neste trabalho faz-se uma breve revisão do tratamento da Síndrome de Crouzon no adulto, apresentando-se o caso de um homem de 23 anos de idade com esta craniossinostose síndrómica, que procurava uma melhoria funcional e da estética facial.

Pretendeu-se apresentar uma alternativa para a correcção da hipoplasia da face média no contexto da Síndrome de Crouzon num adulto, com a aplicação da Distracção Osteogénica para o Avanço Le Fort III, com um distractor externo pericraniano.

**Palavras-Chave:** Síndrome de Crouzon, hipoplasia, Avanço Le Fort III, cirurgia ortognática.

## 1. INTRODUÇÃO

As anomalias da forma do crânio estão descritas desde a Antiguidade, porém foi só em 1971 [1] que Sommerring identificou a fusão prematura das suturas cranianas como a origem dessas deformações. Apesar de Otto ter postulado em 1830 que esta fusão prematura seria também responsável por um crescimento compensatório de outras regiões do crânio, foi Virchow quem, em 1851, identificou que há cessação do crescimento ósseo na direcção perpendicular da sutura afectada, e que ocorre um crescimento compensatório na direcção paralela à mesma [2].

O termo craniossinostose designa, então, a fusão prematura de uma ou mais suturas, da base ou da abóbada cranianas. Esta pode ocorrer de forma isolada (craniossinostose não síndrómica) ou pode estar associada a outras anomalias extracranianas, constituindo uma das características que traduzem uma síndrome (craniossinostose síndrómica). Pode haver afecção de uma ou mais suturas, denominando-se craniossinostoses simples ou complexas, respectivamente [3].

As craniossinostoses síndrómicas podem afectar várias suturas tanto cranianas como faciais (disostose craniofacial), tendo um componente familiar mais marcado do que as craniossinostoses não síndrómicas, que são na sua maioria eventos esporádicos.

As disostoses craniofaciais foram descritas ao longo dos anos por Apert em 1906, por Crouzon em 1912 e por Pfeiffer em 1964, e têm como denominador comum a presença de mutações nos genes que codificam o Receptor do Factor de Crescimento do Fibroblasto (FGFR) [2].

No caso da Síndrome de Crouzon, ocorrem mutações no gene que codifica o receptor 2 do FGFR (FGFR2), transmitidas por um padrão autossómico dominante, não apresentando predisposição para sexo ou raça.

Apesar da dificuldade de se realizar o diagnóstico pré-natal através da ecografia (para a detecção do exorbitismo e hipertelorismo), pode ser benéfica a utilização da ecografia 3D e da

Tomografia Computorizada 3D (TC-3D). Assim, perante um elevado grau de suspeição, faz-se a confirmação do diagnóstico pela identificação da mutação, através da biópsia das vilosidades coriônicas no primeiro trimestre ou amniocentese no segundo trimestre [4,5].

A Síndrome de Crouzon é rara, com uma prevalência mundial estimada entre 1/60.000 a 1/25.000 [4,6] e foi descrita por Octave Crouzon pela tríade: deformidade craniana, anomalias da face e exorbitismo, apesar da larga escala de penetrância proporcionar uma expressão fenotípica altamente variável. Assim, podemos encontrar uma grande variedade na gravidade da craniossinostose, com a sutura coronal sendo bilateralmente afectada em 95% dos casos, em associação com as suturas sagital e lambdóide em 75% ou em associação só com a sagital em 20% dos casos, resultando frequentemente numa braquicefalia ou oxicefalia [3].

A craniossinostose vai levar à restrição do crescimento do crânio, havendo uma disparidade entre o tamanho do cérebro e o volume intracraniano, o que se traduz numa pressão intracraniana aumentada [7], que surge em cerca de 47% dos casos com craniossinostoses complexas [8]. Geralmente o desenvolvimento psicomotor é normal, sendo descritos casos na literatura com comprometimento da capacidade mental, que se relacionou como sendo consequência da hipertensão intracraniana [8].

Outra característica que pode estar presente é a hidrocefalia, com uma incidência aumentada em relação à população em geral, de 4% a 26% [9].

A fusão precoce das suturas da base do crânio limita o crescimento centrofacial, resultando numa hipoplasia do terço médio da face. Assim, observa-se um arco dentário superior estreito que, associado ao normal crescimento do maxilar inferior (prognatismo mandibular relativo), vai resultar numa má-oclusão classe III de Angle. Adicionalmente, verifica-se uma diminuição da via aérea superior, com obstrução parcial, traduzindo-se num padrão de respiração "mouth-breather".

O exorbitismo decorrente da menor profundidade das cavidades orbitárias, secundárias à hipoplasia do terço médio da face, vai originar frequentes conjuntivites ou queratites de exposição, com possível ulceração e amaurose. Também pode ocorrer amaurose por atrofia óptica secundária a um canal óptico estreito ou consequente da hipertensão intracraniana.

Outras características que frequentemente estão presentes são: hipertelorismo, estrabismo divergente, nistagmo, nariz adunco, desvio do septo nasal e acantose nigricans (em 5% [6]).

O diagnóstico da síndrome é baseado nos sinais clínicos, fazendo-se a confirmação pela realização de radiografias ântero-posteriores e de perfil do crânio, com posterior estudo cefalométrico. A utilização da TC-3D crânio-encefálica e eventualmente Ressonância Magnética, também podem revelar benefícios.

Qualquer abordagem terapêutica tem como finalidade a melhoria da qualidade de vida tanto do doente, como da família. Assim, a abordagem cirúrgica da disostose craniofacial tem dois objectivos: a prevenção das lesões cerebrais consequentes à craniossinostose; e a correcção morfológica da hipoplasia médio-facial e dos seus efeitos deletérios, sobretudo ao nível oftalmológico e respiratório [10]. Assim, a existência de hipertensão intracraniana, um exorbitismo com marcada exposição da córnea ou dificuldades respiratórias são factores que impõem uma cirurgia precoce.

O protocolo para o tratamento cirúrgico da Síndrome de Crouzon baseia-se numa abordagem faseada, adequada à especificidade de cada indivíduo, consistindo frequentemente num

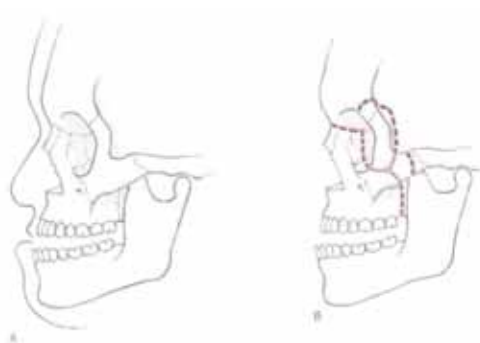


tratamento em duas etapas: numa primeira etapa, realizada durante o primeiro ano de vida, visa-se a correcção dos efeitos deletérios da craniossinostose, convencionando-se um aumento do volume do crânio através de uma Cranioplastia com Avanço Órbito-Frontal ou Fronto-Facial em Monobloco [2]. Numa segunda etapa, realizada em idades variáveis, dependendo da gravidade da anomalia e das suas consequências funcionais e estéticas, procede-se, então, à correcção das anomalias faciais.

As abordagens cirúrgicas utilizadas neste tipo de disostose craniofacial visam corrigir a hipoplasia órbito-zigomático-maxilar através do avanço da face média, diminuindo a obstrução das vias aéreas superiores, reduzindo o exorbitismo, contribuindo ainda para uma maior harmonia das proporções faciais [11]. Existem, como opções cirúrgicas, o Avanço Le Fort III (figura: 1), indicado se o contorno frontal e a projecção anterior do rebordo supra-orbitário forem normais, ou o Avanço Fronto-Facial em Monobloco (figura: 2), se houver diminuição da projecção anterior do rebordo supra-orbitário e do contorno frontal [12].

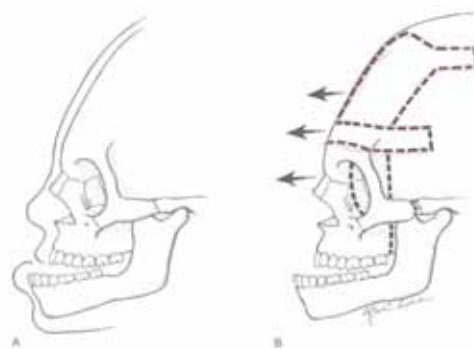
## 2. OBJECTIVO

Este artigo tem como objectivo apresentar o caso clínico de um adulto com Síndrome de Crouzon, realizando uma revisão da literatura no contexto da correcção das anomalias faciais características da síndrome, dando ênfase à aplicação da Distracção Osteogénica em avanços do terço médio da face num adulto.



**Figura 1:** Avanço Le Fort III.

In Stephen J. Mathes, Steven E. Weinberger, Vincent Rod Hentz, Vincent R. Hentz; Plastic Surgery, Saunders



**Figura 2:** Avanço Fronto-Facial em Monobloco.

In Stephen J. Mathes, Steven E. Weinberger, Vincent Rod Hentz, Vincent R. Hentz; Plastic Surgery, Saunders

## 3. O CASO CLÍNICO

A.F.P.M., do sexo masculino, com 23 anos de idade, de raça branca, desempregado, natural e residente em Sesimbra, recorreu ao Serviço de Cirurgia Plástica do Hospital de Santa Maria procurando uma melhoria funcional e da estética facial. O doente exibia alterações craniofaciais congénitas compatíveis com o diagnóstico de Síndrome de Crouzon.

Apresentava uma diminuição da acuidade visual, com 2/10 no olho esquerdo e 10/10 no olho direito. Simultaneamente apresentava uma incapacidade em efectuar a oclusão palpebral completa. Negou outras queixas oftalmológicas, nomeadamente dor ou ardor, sensação de corpo estranho, fotofobia, epifora ou alterações da visão. Tem diagnóstico de asma, apresentando ainda dificuldade respiratória, sobretudo durante o sono, revelado por um ressonar intenso, interrompido por breves períodos de apneia. Negou outras queixas respiratórias. Tem como antecedentes pessoais a destacar duas cranioplastias realizadas aos 7 e aos 18 meses, desconhecendo-se outros antecedentes pessoais relevantes, nomeadamente do foro oftalmológico, auditivo ou respiratório.

Tem história familiar de Síndrome de Crouzon com o pai exibindo um facies semelhante. Salienta-se que, apesar da realização de 8 ecografias durante a gravidez (que não revelaram alterações), não houve qualquer aconselhamento genético, antes ou durante a gravidez, não tendo sido facultada aos pais qualquer informação quanto à possibilidade de transmissão hereditária da Síndrome de Crouzon.

Ao exame objectivo destacou-se a observação da cabeça (figuras 3, 4 e 5) com uma forma braquicefálica, com hipertelorismo, com exorbitismo bilateral muito marcado e exotropia do olho esquerdo, tendo-se identificado igualmente uma hipoplasia do terço médio da face, associada a um prognatismo mandibular relativo com crossbite (figura: 6) e uma má-oclusão classe III de Angle. O doente apresentava ainda um nariz adunco (“em bico de papagaio”) com desvio septal e um lábio superior curto, com lábio inferior proeminente.



**Figura 3:** Fotografia anterior pré-cirúrgica



**Figura 4:** Fotografia de perfil direito pré-cirúrgica



**Figura 5:** Fotografia de perfil esquerdo pré-cirúrgica

Não foram observadas alterações cutâneas (nomeadamente acantose nigricans), alterações auditivas ou sinais de comprometimento da capacidade mental, apresentando um desenvolvimento psicomotor adequado para a idade.

Antes do procedimento cirúrgico, foram realizadas radiografias do crânio: ântero-posterior e de perfil (figuras 7 e 8, respectivamente) e TC-3D (figura 9).



**Figura 6:** Fotografia onde se identifica o crossbite

Planeou-se o protocolo de distracção com a fase de latência com a duração de 6 dias, a fase de activação de 32 dias e a fase de consolidação de 2 meses e meio, definindo-se a taxa de distracção de 1mm por dia (0,5mm duas vezes por dia), com um avanço do segmento osteotomizado de 32mm.



**Figura 7:** Rx antero-posterior do crânio pré-cirúrgico



**Figura 8:** Rx de perfil do crânio pré-cirúrgico



Figura 9: Tomografia Computorizada 3D pré-cirúrgica

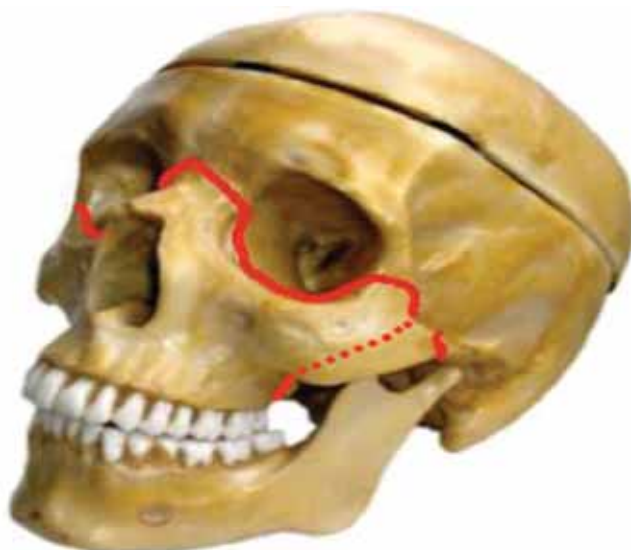


Figura 10: Modelo esquemático do distractor externo tipo halo pericraniano.  
In <http://us.synthes.com/Products/CMF/Distraction+Osteogenesis>

A 6 de Setembro de 2010 o doente foi submetido a uma cirurgia para correcção das anomalias faciais tendo-se optado pela realização de uma osteotomia Le Fort III com colocação de um dispositivo externo tipo halo pericraniano (figura 10), para avanço tridimensional do segmento osteotomizado através de Distracção Osteogénica.

As linhas de osteotomia foram realizadas desde a junção nasofrontal, incluindo o septo nasal, através da parede orbitária interna, passando pelo pavimento orbitário, percorrendo toda a extensão da parede externa da órbita, da região inferior do arco zigomático, da área retromaxilar e da junção pterigomaxilar (figura: 11).

A duração do procedimento cirúrgico foi aproximadamente de 10h. Realizou-se uma tarsorrafia provisória de protecção. Administrou-se duas unidades de concentrado eritrocitário e duas unidades de plasma fresco congelado.



**Figura 11:** Imagem esquemática das linhas de osteotomia.  
In [http://www.grx.com.br/loja\\_virtual/MaisProduto.asp?Produto=130](http://www.grx.com.br/loja_virtual/MaisProduto.asp?Produto=130)

Devido a instabilidade da fixação craniana do distractor, o doente foi submetido a nova intervenção cirúrgica a 16 de Setembro de 2010, para reposicionamento dos parafusos de fixação do halo de distracção.

O restante internamento decorreu sem intercorrências, tendo alta a 20 de Setembro de 2010 (14 dias de internamento), com a indicação de ser reavaliado frequentemente em consulta.

Foram realizadas radiografias de perfil e ântero-posteriores aos 7 e aos 35 dias após a osteotomia (figuras 12, 13, 14 e 15), de forma a avaliar o avanço do segmento ósseo osteotomizado.



Figura 12: Rx de perfil (7 dias após osteotomia)



Figura 13: Rx de perfil (35 dias após osteotomia)



Figura 14: Rx antero-posterior (7 dias após osteotomia)



Figura 15: Rx antero-posterior (35 dias após osteotomia)

Os resultados obtidos neste caso clínico, através da comparação imagiológica das radiografias de perfil obtidas antes da cirurgia, aos 7 dias e aos 35 dias após a osteotomia (figuras 8, 12 e 13, respectivamente), revelaram que, paralelamente ao avanço do terço médio da face, ocorreu um aumento do volume da região da nasofaringe/cavidade nasal, assim como um aumento do diâmetro antero-posterior ao nível da hipofaringe.

Estes resultados a nível das estruturas ósseas traduzem-se simultaneamente numa melhoria marcada da concavidade facial e do exorbitismo pré-existent, verificando-se também uma correcção discreta do aspecto adunco do nariz, conseguindo-se então proporções faciais mais harmoniosas (figuras 16, 17, 18 e 19). É de salientar a capacidade do doente em efectuar a oclusão palpebral completa, após a fase de activação.

Concomitantemente a estes resultados imagiológicos, conseguiu-se melhoria clínica dos sintomas de obstrução respiratória, com uma diminuição da intensidade do ressonar.



Figura 16: Fotografia anterior 14 dias após a osteotomia



Figura 17: Fotografia anterior 65 dias após a osteotomia



Figura 18: Fotografia de perfil 14 dias após a osteotomia



Figura 19: Fotografia de perfil 65 dias após a osteotomia

#### 4. DISCUSSÃO

Neste caso clínico realizou-se uma osteotomia Le Fort III. Este procedimento foi descrito primeiramente por Gilles e Harrison em 1950, e posteriormente popularizado por Tessier [13], e permite o avanço da face média, nariz, região orbitária inferior e osso zigomático.

Estudos recentes confirmam os benefícios funcionais de um avanço Le Fort III [11,14,15], referindo uma melhoria significativa na obstrução das vias aéreas superiores, em doentes com craniosinostoses síndromicas, mencionando um aumento de volume sobretudo ao nível da nasofaringe/cavidade nasal, mas também ao nível da orofaringe/hipofaringe, ainda que de forma menos marcada, que se traduz numa melhoria no que diz respeito à apneia obstrutiva do sono, evidenciada em polissonografias pós-operatórias [16]. Também é referido que associado ao avanço facial ocorre uma diminuição marcada do exorbitismo [17].

Apesar da altura ideal para a cirurgia de reconstrução da disostose ser ditada pela presença de dificuldade respiratória, exorbitismo e problemas psicossociais [11], paralelamente, tem-se como objectivo fazer coincidir temporalmente a reconstrução da disostose craniofacial com o padrão de crescimento facial e o desenvolvimento psicossocial [4].

O crescimento e a maturação craniofaciais seguem um gradiente cranio-caudal, com a maturação da face média a completar-se por volta dos 14 anos (no sexo masculino) e a da mandíbula por volta dos 16 a 18 anos [10].

O momento exacto para correcção da face média ainda permanece controverso: alguns advogam uma correcção precoce entre as idades de 4 e 6 anos [13], outros preconizam que a cirurgia do terço médio facial seja realizada após os 16 a 18 anos, altura em que está completa a maturidade óssea facial [10].

O motivo da controvérsia relativamente ao timing cirúrgico é explicado, não só, pelo gradiente cranio-caudal do desenvolvimento facial, mas também, pela existência de um comprometimento do crescimento ósseo da face média, nas crianças com faciocraniossinostoses [7].

Assim, uma correcção precoce da hipoplasia do terço médio facial, irá requerer um segundo procedimento cirúrgico para corrigir a discrepância maxilo-mandibular e a má-oclusão consequentes da maxila não acompanhar o crescimento mandibular (que decorre de forma normal) [10].

Os autores apologistas de um avanço médio facial precoce referem como vantagens: a diminuição da gravidade da deformidade facial, a correcção dos problemas funcionais, a promoção de um melhor funcionamento psicossocial e ainda que, apesar de ser necessário um segundo procedimento maxilo-facial, este será menos extenso e invasivo [11], indicando como estratégia cirúrgica proporcionar uma hiper correcção no avanço Le Fort III.

Já os que defendem uma actuação mais tardia referem que, ao se realizar a correcção da hipoplasia da face média já após a maturação facial, se evita uma eventual cirurgia ortognática, corrigindo-se definitivamente as malformações faciais em apenas um procedimento [10], admitindo como excepção os casos em que estejam presentes factores que imponham uma correcção precoce, como a obstrução aérea ou um exorbitismo severo.

O avanço facial Le Fort III pode ser realizado de forma convencional (osteotomia Le Fort III, seguida de colocação de enxertos ósseos no espaço interosteotomia), ou realizado em associação com uma distracção óssea gradual, processo este denominado por Distracção Osteogénica.

A Distracção Osteogénica consiste, então, no alongamento ósseo, resultante de ossificação membranosa, que ocorre quando se aplicam forças tensionais em dois segmentos osteotomizados e foi primeiramente introduzida por Alexander Codvilla em 1905, no alongamento de osso endocontral por osteotomia e distracção gradual aplicada a ossos longos [18]. Porém a taxa de complicações permaneceu elevada e a técnica não foi totalmente compreendida até 1952, quando Gavril Ilizarov, um ortopedista russo, identificou os factores fisiológicos que regem a regeneração óssea durante a distracção osteogénica endocondral e reconheceu que o sucesso da Distracção Osteogénica depende da estabilização da fixação, da taxa de distracção diária e da preservação do invólucro de tecidos moles adjacentes e suprimento vascular [19].



Em 1973, foi descrito por Snyder et al o alongamento mandibular canino, através de um dispositivo externo. Posteriormente, por volta de 1992, McCarthy et al, reportaram o alongamento da mandíbula com Distracção Osteogénica no Homem [18], tendo-se rapidamente aplicado as técnicas da distracção a osteotomias Le Fort III, a partir 1993, com Polley et al, a utilizar um distractor externo no Avanço em Monobloco numa criança com Síndrome de Pfeiffer [20].

A técnica cirúrgica pressupõe a realização de osteotomias nos locais onde se pretende que o crescimento ósseo ocorra, com inserção de um aparelho distractor, interno ou externo, para aplicação das forças tensionais.

Após a cirurgia, segue-se a fase de latência, na qual ocorre restauração do perióstio e início da formação do calo ósseo na região osteotomizada. Em termos histológicos, é possível identificar uma rede de fibrina com células sanguíneas e capilares neoformados, encontrando-se uma infiltração gradual de tecido de granulação nas margens deste hematoma [21].

Posteriormente decorre a fase de activação, em que os segmentos ósseos osteotomizados são progressivamente sujeitos às forças tensionais do distractor induzindo-se a osteogénese. Desta fase resulta um segmento ósseo imaturo, onde é possível identificar um padrão de zonas, com uma zona central fibrosa onde o osteóide é depositado com fibras de colagénio orientadas paralelamente à direcção da distracção. Ocorre então formação de novas trabéculas ósseas, que se alinham aos osteoblastos e continuam a crescer enquanto for aplicada a força de distracção. Com o tempo, ocorre um espessamento das trabéculas ósseas, que se mineralizam gradualmente, havendo remodelação do osso formado para um estado mais maduro (fase de consolidação). Simultaneamente, ocorre adaptação dos tecidos moles adjacentes às suas novas posições e comprimentos. Nas técnicas correntes defende-se que o distractor deva ser usado não só durante a fase de activação, mas até que a fase de consolidação termine [15].

O período de latência, a taxa e o ritmo de distracção são factores importantes para o sucesso da Distracção Osteogénica, porém, actualmente ainda não existe uma standardização da aplicação da mesma em Avanços Le Fort III. Assim, têm-se aplicado empiricamente as conclusões dos estudos em ossos longos ao esqueleto craniofacial. Deste modo, realiza-se um período de latência de 4 a 7 dias, uma taxa de distracção de 1mm por dia [22] e um ritmo de 1 a 2 vezes por dia (contrariando os resultados de Ilizarov, que indicaram o ritmo ideal sendo contínuo ao longo de todo o processo de distracção, o que é difícil de alcançar clinicamente) [23].

A duração da fase de consolidação é outro aspecto que ainda não encontrou consenso na literatura [14], variando entre 4 a 10 semanas (28 a 70 dias), dependendo da idade do doente e da preferência do cirurgião [15].

A remodelação óssea começa com a fase de consolidação e continua durante 1 a 2 anos [15,23], eventualmente transformando o novo segmento ósseo numa estrutura óssea similar ao osso adjacente quanto ao tamanho e à forma. Porém, apesar do volume do novo osso ser comparável com o dos ossos adjacentes, estudos animais mostraram que os conteúdos minerais, a radiodensidade e a força tensional são inferiores [23].

Para o sucesso da distracção é crucial que se mantenha a viabilidade dos osteócitos e osteoblastos; assim como é essencial a preservação do suprimento vascular, da drenagem venosa e dos tecidos adjacentes.

Sabe-se que, para além das alterações ósseas, também ocorre um aumento gradual do tecido mole em resposta às forças tensionais aplicadas na distracção óssea, processo denominado de distracção histiogénica. Em estudos caninos, foi demonstrado que há regeneração neurovascular, apesar do nível funcional das novas estruturas ser inferior do que o normal. Este factor confere uma vantagem clínica no contexto das anomalias craniofaciais, que se apresentam com hipoplasia, tanto óssea, como dos tecidos moles adjacentes.

Apesar de existir um número crescente de estudos, relativos à correcção das faciocranioossinostoses, estes referem-se à correcção em crianças e adolescentes, não se tendo encontrado referências na literatura da aplicação de Distracção Osteogénica em avanços Le Fort III em adultos. Os dados disponibilizados até à altura, instituem um avanço Le Fort III convencional em adultos que requerem um avanço ligeiro a moderado, referindo que as osteotomias tardias, isto é, após os 16 a 18 anos, não requerem distracção osteogénica [10,11,13].

O presente artigo teve como finalidade apresentar uma alternativa para a correcção das anomalias faciais presentes na Síndrome de Crouzon, fazendo referência à aplicação da Distracção Osteogénica em avanços Le Fort III em adultos.

Assim, apesar de um avanço Le Fort III convencional permitir estabelecer teoricamente a normalização definitiva da oclusão, reduzir o tempo total do tratamento e não implicar a utilização de um distractor; associa-se a uma maior morbilidade associada à utilização de enxertos ósseos, a uma menor estabilidade do segmento osteotomizado a longo prazo, por existir algum grau de reabsorção óssea e a um menor potencial de expansão óssea, relacionada com o restabelecimento da anatomia onde é efectuada a colocação dos enxertos ósseos, quando comparada com o avanço Le Fort III com Distracção Osteogénica [13,22].

Para além destas vantagens, o avanço Le Fort III com Distracção Osteogénica permite que ocorra simultaneamente ao processo de osteogénese, o processo de histiogénese, ocorrendo o crescimento compensatório dos tecidos moles [23]. Pensa-se que a contracção do tecido mole para o estado pré-operatório seja uma das principais razões para a elevada taxa de recidiva após o uso das técnicas tradicionais, sem distracção [19].

Num estudo comparativo entre o Avanço Le Fort III Convencional e o Avanço com Distracção Osteogénica [13] concluiu-se que nesta última abordagem, houve uma redução do tempo cirúrgico, das perdas sanguíneas durante a cirurgia e ainda do tempo de internamento pós-operatório, tendo estes resultados sido atribuídos à natureza menos invasiva da técnica com distracção, à não utilização de enxertos ósseos e à redução do habitual tempo cirúrgico prolongado com tendência para maiores perdas sanguíneas e hipotermia. Neste estudo também são feitas referências aos resultados estéticos superiores em Le Fort III com Distracção Osteogénica [22].

Tendo em conta todos estes aspectos, foi realizado neste caso clínico, um Avanço Le Fort III com Distracção Osteogénica. Para a osteodistracção colocou-se um distractor externo tipo halo pericraniano (figura: 10).

Os distractores externos permitem uma ampla flexibilidade no movimento traccional, possibilitando uma alteração do vector durante a fase de activação [23], assim como permitem um maior grau de distracção, pela ausência de limite no avanço [24,25], adequando-se às necessidades específicas e à evolução clínica de cada doente. Porém, apresentam a grande desvantagem de serem muito pouco discretos e bastante desconfortáveis, criando dificuldades sobretudo na alimentação, quando comparados aos distractores internos, o que pode comprometer a aderência dos doentes, a este tipo de distractor. Assim, os distractores internos conseguem, não só, permitir uma fase de consolidação mais longa, pela maior tolerância do doente ao dispositivo, como também permitem uma maior estabilidade da fixação do distractor.

Assim, o elevado grau de hipoplasia do terço médio da face, associado a uma proptose bilateral muito marcada com grande exposição dos globos oculares, condicionaram a necessidade de um grande avanço médio-facial, situação em que um distractor externo foi o mais adequado. Apesar das nítidas vantagens, já referidas, é importante ressaltar que a Distracção Osteogénica aplicada a osteotomias Le Fort III, pode apresentar algumas complicações, nomeadamente, no que concerne ao não cumprimento do protocolo de distracção, por parte do doente, implicando avaliações médicas regulares.

Outras complicações descritas que podem levar ao comprometimento do processo de osteogénese resultam de uma fusão prematura dos segmentos osteotomizados ou de uma infecção no local de colocação do distractor [23].

Há ainda a ter em consideração que na aplicação da Distracção Osteogénica no avanço facial, requer um segundo procedimento para remoção do distractor.

A Distracção Osteogénica é um processo relativamente recente, como já foi referido, constituindo uma área com um grande potencial de desenvolvimento. A possibilidade de se utilizar materiais reabsorvíveis (evitando-se um segundo procedimento para remoção dos mesmos), distractores internos multivectoriais, a utilização de microprocessadores e micro-distractores que permitam a auto-distracção em datas pré-programadas, assim como a associação da aplicação da distracção com técnicas endoscópicas para a realização das osteotomias (levando a distracção para o campo da cirurgia minimamente invasiva), são aspectos ainda a ser explorados [23].

## 5. CONCLUSÃO

O presente artigo teve como finalidade apresentar uma alternativa para a correcção das anomalias faciais presentes na Síndrome de Crouzon, fazendo referência à aplicação da Distracção Osteogénica em avanços Le Fort III em adultos.

Assim, através dos resultados a curto prazo (3 meses), obtidos neste caso clínico, pode-se concluir que a Distracção Osteogénica aplicada em avanços Le Fort III em adultos poderá revelar grandes benefícios, porém, são necessários mais estudos, sobretudo a longo prazo, para verificação da estabilidade dos resultados obtidos no período pós-operatório.

## 6. BIBLIOGRAFIA E SITIOS INTERNET

- [1] **Manual de Cirugía Plástica da Sociedad Española de Cirugía Plástica Reparadora y Estética.**
- [2] Jane, J. A. and McKisic, M. S.; (2010) **Craniosynostosis.** In: eMedicine Specialties, Neurosurgery, Miscellaneous.  
Papagrigorakis, M.; Vilos, G. A.; Apostolidis, C.; Daskalopoulou, E. and Vachogiannis, M. (2010)
- [3] **Long-term surgical cure of severe obstructive sleep apnea in an adult patient with craniofacial dysostosis (Crouzon's syndrome): a case report and literature review.** In: Sleep Breath DO 10.1007/s11325-010-0403-y.
- [4] Chen, H.; (2009) **Crouzon Syndrome.** In: eMedicine Specialties, Pediatrics: Genetics and Metabolic Disease.  
GeneTests: Medical Genetics Information Resource (database online). **Educational Materials: FGFR2-Related Craniosynostosis.** Copyright, University of Washington, Seattle. 1993-2010. In: <http://www.genetests.org>. Acedido a 19 de Novembro de 2010.
- [5] Matusiak, L.; Szybejko-Machaj, G.; (2010). **Crouzon Syndrome.** In: eMedicine Specialties, Dermatology, Pediatric Diseases.  
Bartlett, S. P.; Mackay, G. J.; **Craniosynostosis Syndromes.** In Grabb and Smith's Plastic Surgery, Fifth Edition, edited by S. J. Aston, R. W. Beasley, and C. H. M. Thorne. Lippincott-Raven Publishers, Philadelphia © 1997.
- [6] Yacubian-Fernandes, A.; Ducati, L. G.; Silva, M. V.; Abramides, D. V. M.; Perosa, G. B.; Palhares, A.; Gabarra, R. C.; Giglio, A.; Portela, L.; Marinello, J. L.; Plese, J. P. P.; Zanini, S. A.; (2007). **Síndrome de Crouzon – Factores envolvidos no desenvolvimento neuropsicológico e na qualidade de vida.** Arquivo Neuropsiquiátrico 2007;65(2-B):467-471.
- [7] Wen, M.; Hsiao, H.; Chao, M.; Tsai, F.; (2010). **Growth Hormone Deficiency in a Case of Crouzon Syndrome with Hydrocephalus.** In: International Journal of Pediatric Endocrinology, DIO: 10.1155/2010/876514.
- [8] Arnaud, E.; Marchac, D.; Renier, D.; (2009). **Faciocraniosynostosis treatment strategy: one or two stages?** In: Revista Brasileira de Cirurgia Craniofacial, 12(1): 25-8.
- [9] Shetye, P. R.; Kapadia, H.; Grayson, B. H.; McCarthy, J. G.; (2010). **A 10-Year Study of Skeletal Stability and Growth of the Midface following Le Fort III Advancement in Syndromic Craniosynostosis.** In: PRSJJournal DOI: 10.1097/PRS.0b013e3818e60502.
- [10] Gateno, J.; Teichgraber, J. F.; Xia, J. J.; **Planejamento Cirúrgico da Distração Osteogénica.** (capítulo 10). In: Bell, W. H.; Guerrero, C. A. Distração Osteogénica do Esqueleto Facial. Porto Alegre: Artmed Editora, S.A.
- [11] Shetye, P. R.; Davidson, E. H.; Sorkin, M.; Grayson, B. H.; McCarthy, J. G.; (2010). **Evaluation of Three Surgical Techniques for Advancement of the Midface in Growing Children with Syndromic Craniosynostosis.** In: PRSJJournal, DOI: 10.1097/PRS.0b013e3818e6051e.
- [12] Fearon, J. A.; (2010) **Discussion: Computed Tomographic Analysis of Temporal Maxillary Stability and Pterygomaxillary Generate Formation following Pediatric Le Fort III Distraction Advancement.** In: PRSJJournal. DOI: 10.1097/PRS.0b013e38181efaf8.
- [13] Hopper, R. A.; Sandercoe, G.; Woo, A.; Watts, R.; Kelley, P.; Ettinger, R. E.; Saltzman, B.; (2010) **Computed Tomographic Analysis of Temporal Maxillary Stability and Pterygomaxillary Generate Formation following Pediatric Le Fort III Distraction Advancement.** In: PRSJJournal. DOI: 10.1097/PRS.0b013e38181eff362.
- [14] Nout, E.; Bouw, F. P.; Veenland, J. F.; Hop, W. C. J.; van der Wal, K. G. H.; Mathijssen, I. M. J.; Wolvius, E. B.; (2010) **Three-Dimensional Airway Changes after Le Fort III Advancement in Syndromic Craniosynostosis Patients.** In: PRSJJournal.
- [15] Al-zahrani, N.; Al-garni, A.; Abouzenada, S.; Alyamani, A.; (2008). **Midface Distraction Osteogenesis to Treat Severe Orbital Exorbitism.** In The Saudi Dental Journal.
- [16]
- [17]

- Dolanmaz, D.; Karaman, A. I.; Gurel, H. G.; Kalayci, A.; Kucukkolbasi, H.; Usumez, S.; (2009).  
[18] **Correction of Mandibular Retrognathia and by Distraction Osteogenesis: Follow up of 5 cases.** In: European Journal of Dentistry.
- Shah, A. R.; Danahey, D. G.; (2009). **Distraction Osteogenesis of the Maxilla.** In: eMedicine Specialties, Clinical procedures, Otolaryngologic and Dental Procedures.
- Bradley, J. P.; Gabbay, J. S.; Taub, P. J.; Heller, J. B.; O'Hara, C. M.; Banhaim, P.; Kawamoto, H. K.; (2005) **Monobloc Advancement by Distraction Osteogenesis Decreases Morbidity and Relapse.** In: PRSJJournal. DOI: 10.1097/01.prs.0000233010.15984.4d.
- Rachmiel, A.; Lewinson, D.; **Formação e Mineralização Óssea Membranosa Durante a Distração Osteogénica da Maxila (capítulo 23).** In: Bell, W. H.; Guerrero, C. A. Distração Osteogénica do Esqueleto Facial. Porto Alegre: Artmed Editora, S.A.
- Shetye, P. R.; Giannoutsos, E.; Grayson, B. H.; McCarthy, J. G.; (2009). **Le Fort III Distraction: Part I. Controlling Position and Vectors of the Midface Segment.** In: PRSJJournal, Pediatric/Craniofacial. DOI: 10.1097/PRS.0b013e3181b17b57.
- Imola, M. J.; (2009). **Craniofacial Distraction Osteogenesis.** In: [eMedicine Specialties > Otolaryngology and Facial Plastic Surgery > Craniofacial Surgery.](#)
- Cho, B. C.; Kyung, H. M.; (2004) **Distraction Osteogenesis of the Hypoplastic Midface using a Rigid External Distraction System: The Results of a One-to Six-Year Follow up.** In: PRSJJournal. DOI: 10.1097/01.prs.0000243563.43421.0b.

# Prevenção de Barodontalgias: Avaliação Dentária de Pessoal Navegante



Autoras:

Ana Ferrão, Tenente Aluna Técnica de Saúde do estágio Técnico-Militar  
Lourdes Andrade, Tenente Aluna Técnica de Saúde do estágio Técnico-Militar  
Academia da Força Aérea, Sintra

**Resumo.** O presente artigo procura contribuir para a formulação de um quadro de actuação que vise prevenir a ocorrência de situações de dor dentária, causada por alterações na pressão barométrica (barodontalgias), em Pessoal Navegante da Força Aérea Portuguesa empenhado em missões de voo real ou simulado. Partindo das boas práticas apresentadas na literatura científica especializada, procedeu-se à análise do método actual de avaliação dentária periódica praticado no Serviço de Estomatologia do Hospital da Força Aérea e a uma reflexão crítica acerca da legislação vigente relativa às regras de selecção e de avaliação periódica do Pessoal Navegante.

**Palavras-Chave:** barodontalgias, pessoal navegante.

## 1. INTRODUÇÃO

A importância da Força Aérea enquanto parte integrante do Sistema de Forças Nacional na Defesa Militar da República, assim como as específicas exigências de operação dos respectivos sistemas de armas, justifica e exige o compromisso da Instituição em formar pessoal altamente qualificado, nomeadamente para as suas missões aéreas.

No quadro desse esforço contínuo de minimização dos impactos das patologias dentárias na indisponibilidade do Pessoal Navegante para a realização das respectivas missões, dá-se prioridade à melhoria do sistema de avaliação oral do Centro de Medicina Aeronáutica (CMA), realizada no serviço de Estomatologia do Hospital da Força Aérea (HFA), desde logo porque actualmente a inspecção desta condição clínica está baseada num simples esquema de *screening*, o qual afigura-se como insuficiente para a prossecução de tal objectivo.

Neste trabalho analisa-se o sistema vigente, no sentido de verificar da sua exactidão e fiabilidade. Para tal, foi realizado um pequeno estudo comparativo, que se traduziu na realização e uma segunda avaliação dentária a Pessoal Navegante considerado apto na avaliação de rotina do CMA, adoptando para o efeito um método de avaliação que utiliza critérios de aptidão e de classificação preconizados pela Força Aérea Americana (USAF) e pela Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN).

Prévia e sumariamente, oferece-se a explicitação da barodontalgia, enquanto patologia, bem como a referenciação do pensamento científico dominante neste domínio. Seguidamente, aborda-se, de forma crítica, o enquadramento legal sobre as tabelas de inaptidão física e psíquica para a Força Aérea, respeitante às causas de inaptidão a nível dentário, e sobre a periodicidade da avaliação dentária do Pessoal Navegante, explicitando as suas incidências em termos de câmara hipobárica do CMA, desde que há registo até à actualidade.

A partir da confrontação dos resultados obtidos, pela comparação entre a metodologia em vigor e a metodologia que se propõe, fundamenta-se a implementação de uma nova forma de avaliação dentária periódica, através do estabelecimento de novas regras de avaliação *standard*, para decidir acerca da aptidão, e classificar as avaliações definindo graus de prontidão do Pessoal Navegante.

Assim, sugere-se um protocolo para tratamentos dentários em Pessoal Navegante e dão-se a conhecer algumas regras de restrição de voo, decorrentes de tratamentos dentários ou da existência de infecções ou inflamações nos tecidos dento-alveolares e maxilo-faciais, sempre de acordo com o postulado pela literatura científica da especialidade.

## 2. ENQUADRAMENTO

### 2.1. A barodontalgia enquanto patologia

#### 2.1.1. Generalidades

A barodontalgia pode ser definida como a dor dentária causada por uma alteração na pressão barométrica que noutras circunstâncias seria assintomática (Zadik, 2009) [22]. As barodontalgias são o resultado da incapacidade da câmara pulpar para adequar a sua pressão interna, perante alterações na pressão ambiental, tanto em ambientes hipo, como hiperbáricos (Kollmann, 1993). De facto, as características anatómicas da câmara pulpar englobam um tecido altamente enervado em torno dos rígidos canais dentinários que não permitem a adaptação do tecido pulpar às alterações de pressão (González, 2004). Este tipo de dor acontece principalmente na fase de subida da aeronave, em dentes com patologias pulpares, tais como abscessos, polpa inflamada ou polpa exposta, devido à expansão da bolha gasosa. A fase de descida da aeronave, parece estar mais relacionada com fenómenos vasomotores, numa polpa já afectada (Manual de Fisiologia de Voo, 2006) [7].

As barodontalgias começam a aparecer a uma altitude de, aproximadamente, 3000 metros e a uma profundidade de 10 metros, onde a pressão ambiental é de 0,75 a 2 atmosferas (Robichaud, 2005) [15].

#### 2.1.2. Prevalência

Gonzalez et al. em 2004 [4] estudaram a prevalência de barodontalgias numa amostra de 506 pacientes de Pessoal Navegante, em situação de voo real e de voo simulado (em câmara hipobárica), tendo obtido um resultado total de treze casos de barodontalgias (2,65%), sendo que a dor era fundamentalmente de localização posterior (92,3%), e descrita, na sua maioria, como aguda e localizada (61,5%). A dor iniciou-se na subida em seis casos (46,2%), na descida em três casos (23,1%) e nos quatro casos restantes noutras manobras como aceleração, desaceleração e cruzeiro (30,8%).

Na Força Aérea segundo dados fornecidos pela Unidade de Treino Fisiológico do CMA sobre os incidentes fisiológicos que ocorreram na câmara hipobárica desde 2001, há registos de 243 incidentes, sendo apenas sete devido a barodontalgias (2,88%).

#### 2.1.3. Sintomas.

A dor é o principal sintoma, podendo ser aguda ou surda, na maior parte dos casos de aparição brusca e de grande intensidade, podendo levar a incapacidade física e mental, o que implica um alto risco de acidentes, colocando em risco a vida do tripulante (Gonzalez, 2004) [4].

#### 2.1.4. Etiologia

Muitas das patologias orais que podem causar barodontalgias são cáries, restaurações defeituosas, pulpites, necrose pulpar, quistos e granulomas dos maxilares, bolsas periodontais, dentes impactados, quistos de retenção mucosa e fractura vertical da raiz (Zadik, 2006) [20].



### 2.1.5. Diagnóstico

A recolha de dados sobre tratamentos dentários recentes, e sobre possíveis sintomas, tais como, sensibilidade ao frio, início e cessação da dor, natureza da dor, etc., podem direccionar o médico para o diagnóstico. Aliás, um significativo número de casos de barodontalgias (até 86%) envolvia dentes com restaurações defeituosas (Zadik, 2009) [22]. A barodontalgia pode ser confundida com barosinusite ou barotite média e, em muitos casos, constitui o despoletar de uma doença oral subclínica (sem sintomas) preexistente.

### 2.1.6. Prevenção

Embora, actualmente, as barodontalgias aconteçam com pouca frequência, o seu acometimento é susceptível de afectar a segurança de voo. A dor severa e a incapacidade que causa no tripulante, é uma situação ainda mais grave no caso dos pilotos que voam sozinhos. Daí a importância da sua prevenção.

## 2.2. A barodontalgia e a actividade aérea – Pensamento científico dominante.

Actualmente constata-se uma diminuição da incidência de episódios de barodontalgias em voo, comparativamente com os reportes de incidentes causados por alterações da pressão atmosférica na primeira metade do século vinte. Esta diminuição de incidentes deve-se, principalmente, a três factores: a pressurização das cabines dos aviões; a elevada qualidade dos tratamentos dentários actuais e a melhoria da saúde oral na segunda metade do século vinte.

Rayman (1985) [13] ressalva a importância da avaliação dentária periódica nas tripulações, com o objectivo principal de prevenir uma incapacidade em voo devido a barodontalgia, ou a outros problemas relacionados, tais como: desconforto, diminuição da performance, dificuldade de alimentação devido a patologia da articulação temporo-mandibular e prevenção de problemas dentários em locais isolados (onde não existem médicos dentistas, ou onde a hepatite e o HIV são endémicos e o risco de contágio durante o tratamento dentário está aumentado), e durante longos períodos de cativeiro de tripulações militares.

A Federação Dentária Internacional recomenda para o Pessoal Navegante: uma avaliação dentária anual realizada por um médico dentista com conhecimentos da etiologia das barodontalgias; da avaliação dentária anual deve fazer parte uma revisão das instruções de higiene oral e devem ser realizadas anualmente radiografias interproximais, para um despiste precoce das lesões cariosas coronárias, com um exame completo, através de uma ortopantomografia, a cada cinco anos (Robichaud, 2005) [15].

Zadik (2007) [21] propõe, durante a avaliação dentária anual, a realização de testes de vitalidade dos dentes anteriores e dentes com restaurações, com especial atenção para as restaurações defeituosas, com pouca retenção e lesões de cárie secundária e avaliar se o paciente sofre de bruxismo.

Similarmente ao que acontece em relação às avaliações dentárias periódicas, não há consenso no que respeita ao tipo de tratamentos a efectuar ao Pessoal Navegante e aos períodos

de restrição de voo, devido a tratamentos dentários efectuados. A maioria da literatura científica aconselha, para o Pessoal Navegante, uma técnica mais interventiva e menos preventiva em relação à população em geral, com o objectivo de eliminar potenciais riscos de sintomas agudos de barodontalgias em voo em localizações isoladas ou em cativoiro (Jacobi-Pasquet, 2007) [6]

Do ponto de vista terapêutico, os tratamentos dentários aeronáuticos não implicam competências técnicas específicas, pois um tratamento realizado num piloto será idêntico ao realizado num outro qualquer paciente. Porém, para um mesmo sintoma, a escolha terapêutica poderá ser diferente e o médico dentista deverá tomar a decisão adaptada às condições de trabalho do piloto. Por isso necessita de ter os seguintes conhecimentos do meio aeronáutico:

a. Dentisteria restauradora: Remover todas as cáries, porque mesmo as inactivas, que normalmente são só vigiadas, acarretam risco acrescido em situações de alteração de pressão atmosférica. Depois do tecido cariado ser removido, e antes da restauração da cavidade, deve ser aplicado um forro de cavidade (por exemplo, em ionómero de vidro) (Gunepin, 2010 [5]; Jacobi-Pasquet, 2007; Zadik, 2009) [22];

b. Endodontia: As protecções pulpares directas e indirectas devem ser evitadas, portanto, é recomendado tratamento endodontico sempre que existam suspeitas de envolvimento da câmara pulpar. Sempre que o tratamento endodontico tenha mais do que uma sessão, e não é possível abstenção de voo, a restauração provisória terá de ser bem reforçada. O paciente deverá ser instruído a verificar a sua restauração provisória e a comunicar prontamente alguma alteração ocorrida (Zadik, 2009) [22]. A alteração de pressão atmosférica pode ter efeitos graves em canais desobturados e em comunicação com a cavidade oral, como enfisema da face e derrame do conteúdo inflamatório intracanal para os tecidos pariapicais. Também deve ser dada particular atenção nos tratamentos endodonticos, de modo a que os canais não fiquem com preenchimento incompleto (Gunepin, 2010) [5];

c. Prótese: Deve ser dada preferência ao sistema de prótese implanto-suportado, porque tem melhor retenção e, conseqüentemente, permite facilidade a nível da fala. Existe uma diminuição das forças de adesão das coroas cimentadas, quer com cimentos de fosfato de zinco, quer com cimentos de ionómero de vidro, sendo essa diminuição bem mais expressiva nas coroas cimentadas com cimento de fosfato de zinco. Tal diminuição, não acontece com os cimentos à base de resinas compostas, pelo que deve ser este o material escolhido para cimentação de coroas para Pessoal Navegante (Costa, 2004; Zadik, 2009) [1], [22];

d. Cirurgia oral: Quando é realizada a extracção de um molar superior, o médico dentista deverá sempre excluir a possibilidade de comunicação oroantral. Uma situação deste tipo, exposta a uma variação de pressão atmosférica, pode conduzir a uma sinusite, além de outras conseqüências adversas (Zadik, 2009) [22].

### **2.3. Legislação para a selecção e avaliação dentária periódica de Pessoal Navegante da Força Aérea**

Na Força Aérea as instruções para a selecção e a avaliação do Pessoal Navegante estão definidas pelo Decreto-Lei n.º 291/99, de 3 de Agosto, e pela Portaria 790/99, de 07 de Setembro [12], que instituíram as “Tabelas Gerais de Inaptidão e de Incapacidade para o

Serviço nas Forças Armadas”, que se enunciam de seguida através de 4 tabelas designadas de A a D:

- A: Causas de inaptidão física e psíquica nas seguintes admissões: Oficiais das seguintes especialidades: Pilotos Aviadores, Pilotos, Navegadores, Técnicos de Operação de Circulação Aérea e Radar de Tráfego, e Técnicos de Operação de Detecção e Condução de Intercepção; Sargentos das seguintes especialidades: Operadores de Circulação Aérea e Radaristas de Tráfego, e Operadores Radaristas de Detecção
- B: Causas de inaptidão física e psíquica nas admissões de especialidades não navegantes;
- C: Causas de inaptidão física e psíquica para promoção, frequência de cursos, desempenho de funções específicas;
- D: Causas de incapacidade física e psíquica para prestação de serviço na efectividade.

São consideradas causas de inaptidão ao nível dentário, nas admissões de Pessoal Navegante, nos termos previstos na Tabela A, qualquer uma das seguintes situações:

- 1) Afecções crónicas da boca e das glândulas salivares que perturbem a fonação ou a mastigação, ou causem má aparência militar;
- 2) Cáries dentárias não tratadas em mais de quatro dentes;
- 3) Perda de mais de cinco dentes, não substituídos por prótese, ou existência de menos de vinte dentes naturais (à excepção dos sisos) ou perda de dente(s) cuja localização cause má aparência militar;
- 4) No que concerne à avaliação dentária periódica do Pessoal Navegante, constata-se que a mesma está integrada no quadro da avaliação geral da respectiva aptidão psico-física, a qual é efectuada através de exames médicos de rotina anuais, ao nível do CMA, nos termos do nº 502 do RFA 351-1 (A) [14].

O planeamento dos exames médicos periódicos segue as orientações definidas pelos Despacho 3/81 da Direcção de Saúde e Despacho do Chefe do Estado-Maior da Força Aérea (CEMFA) n.º 28/90, de 19 de Novembro [3], são de periodicidade anual para as especialidades de Piloto Aviador, Piloto e Navegador, e bienal para o restante Pessoal Navegante.

No entanto, nas Tabelas “C” e “D”, utilizadas nas avaliações dentárias periódicas, os seus critérios são muito vagos, porque indicam um leque de situações patológicas muito limitado e desactualizado, em relação à realidade do Pessoal Navegante, deixando, assim, a decisão de aptidão ao “critério discricionário da junta médica”, e de acordo com o “grau de lesão”.

### **3. APRECIACÃO CRÍTICA DO SISTEMA DE AVALIAÇÃO DENTÁRIA PERIÓDICA DO PESSOAL NAVEGANTE NO CENTRO DE MEDICINA AERONÁUTICA**

Com o propósito de fundamentar a proposta de implementação de uma nova metodologia de avaliação dentária do Pessoal Navegante, procedeu-se à realização de um estudo de investigação relativamente ao modelo de actuação vigente no CMA.

### 3.1. Método e Materiais

Na prossecução do projecto de investigação realizado, procedeu-se a um trabalho de campo, observando os seguintes pressupostos:

**a. População seleccionada:** Foi seleccionada, aleatoriamente, uma pequena amostra, de 32 militares, 31 do sexo masculino e 1 do sexo feminino, com idades compreendidas entre os 23 e os 40 anos, e uma média etária de 27 anos.

Nesta amostra 30 eram pilotos (14 de F16, 7 de Epsilon, 9 de Alphajet) e 2 eram recuperadores salvadores do helicóptero EH 101-Merlin. O tempo médio de anos de voo da amostra era de 5,25 anos. Em termos de pressurização, verificou-se que 71,87% dos indivíduos voava em aeronaves pressurizadas (F16 e Alphajet) e 28,1% em aeronaves não pressurizadas (Epsilon) e helicópteros (EH-101 Merlin).

As histórias clínicas e explorações foram realizadas por dois operadores, observando-se a mesma rotina em cada caso.

**b. Critérios de inclusão:** Unicamente foi escolhido Pessoal Navegante que tinha sido considerado como apto na última revisão de CMA.

**c. Materiais:** Na exploração clínica foram utilizados espelhos intraorais, sonda exploratória, fio dentário e sonda periodontal. No caso de suspeita de cáries interproximais, efectuaram-se radiografias do tipo *bitewings*, com recurso ao RVG e com técnica paralela. Recorreu-se, igualmente, ao uso da ortopantomografia.

Para registo dos dados, utilizou-se a ficha aprovada pela NATO (STANAG 2464) na qual foram introduzidas algumas modificações pontuais.

**d. Método:**

1) Em primeiro lugar, foram recolhidos os dados do paciente: idade, posto, tipo de aeronave em que voava, unidades e tempo de colocação, assim como data de incorporação; sendo, também, questionado sobre algum episódio anterior de barodontalgias. Posteriormente, foi explorada cuidadosamente a cavidade oral e foram anotadas as cáries na ficha dentária, especificando a peça e as superfícies afectadas, ausências e obturações (diferenciando entre amálgamas, compósitos e obturações provisórias).

Ficou igualmente registado se o paciente usava algum tipo de prótese, fixa ou removível (especificando tipo e material em que está confeccionada), ou se é portador de implantes ou aparelho de ortodontia.

2) Em segundo lugar, foi feito o exame periodontal utilizando o índice CPITN (*Community Periodontal Index of Treatment Needs*), isto é, a boca é dividida em sextantes e a sondagem só é realizada nos dentes índices 17-16, 11, 26, 27, 37-36, 31, 46-47 (no caso de ausências desses dentes são utilizados outros dentes do sextante).

O sextante é classificado baseando-se na pior situação encontrada. Cada dente é sondado em seis pontos: médio-vestibular, médio-vestibular, disto-vestibular, mesio-lingual, médio-lingual, disto-lingual. À avaliação é atribuída os seguintes valores:

X - Sextante excluído;

0 - Sextante hígido;

1 - Sextante com presença de sangramento em, pelo menos, um dos dentes;

- 2 - Presença de cálculo supra ou subgengival;
- 3 - Bolsa periodontal de 4 a 5 mm; e
- 4 - Bolsa periodontal com 6 mm, ou mais profunda.

Se existirem alterações da articulação temporomandibular, alterações de patologia oral ou hábitos parafuncionais, estas são igualmente registadas;

- 3) Posteriormente, o Serviço de Radiologia efectuou uma ortopantomografia para completar a informação na ficha dentária, no que respeita à presença de sisos, caninos ou qualquer outro elemento dentário incluso, endodontias e o estado das mesmas, existência de patologias periapicais, restos radiculares e de zonas radiolúcidas ou radiopacas susceptíveis de um estudo mais detalhado.

Em caso de suspeita da existência de cáries interproximais, foram realizados RX interproximais (*bitewings*) e, após confirmação, foram registadas na ficha;

- 4) Pela aplicação dos critérios de aptidão e classificação, preconizados pela Força Aérea Americana (USAF-Air Force Policy Directive Dental Services 47-1 [19] e Air Force Instruction Medical Examinations and Standards 48 - 123) e, também, pela NATO (Standardization Agreement MED/2466) [10], os militares foram classificados em:

Classe 1: Não existem condições de patologia oral, portanto nenhum tratamento é necessário;

Classe 2: Situação de saúde oral em que não é esperado tratamento urgente nos 12 meses seguintes;

Classe 3: Situação de saúde oral em que é esperada necessidade de tratamento urgente nos 12 meses seguintes, se possível deve ter tratamento imediato;

Classe 4: Pessoal Navegante que não tem registos dentários ou estão incompletos ou faltou à avaliação dentária periódica.

- 5) Por último, o resultado da avaliação foi transmitido ao paciente pelo médico dentista e, no caso de ter sido considerado como inapto (por apresentar patologias), foi-lhe indicado o tratamento mais adequado.

### 3.2. Resultados

Nenhum dos militares avaliados na amostra considerada referiu ter apresentado episódios anteriores de barodontalgias; só um referiu dormência do maxilar superior, por duas vezes, a uma altitude de 40.000 pés, que desapareceu quando aterrou.

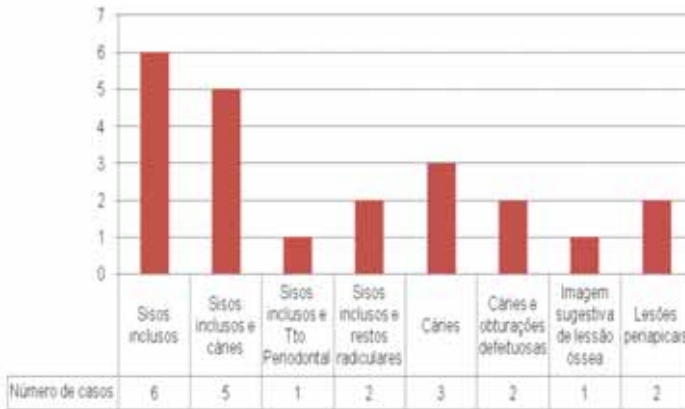


Figura 1: Causas de Inaptidão

No que respeita à avaliação dentária, verificou-se que apenas 10 dos avaliados ficaram aptos (31.25%) e 22 inaptos (68.75%), na sua maioria pela presença de sisos inclusos. No entanto, considerando-se como aptos seis avaliados que apenas revelaram sisos inclusos (circunstância que não se considera como uma patologia), concluiu-se que 50% da amostra estaria apta e 50% inapta. (Fig.1).

A cárie foi também uma patologia de verificação frequente, registando-se alguns casos de obturações defeituosas, lesões periapicais, restos radiculares, um caso de doença periodontal crónica moderada, mas sem mobilidade dentária e um caso de imagem radiopaca sugestiva de lesão óssea.

Foram, também, verificados dois casos de Bruxismo, sendo que um deles apresentava, também, alterações da articulação temporo-mandibular.

No que concerne às classes, segundo a classificação de saúde oral utilizada, constata-se a existência de 8 dos avaliados na Classe 1, 2 avaliados na Classe 2, 22 avaliados na Classe 3 e nenhum avaliado na Classe 4 (Fig. 2). Dos 10 avaliados considerados como aptos, 2 não se enquadraram na Classe 1 por apresentarem tártaro e gengivite, sendo necessário tratamento, não urgente, nos próximos 12 meses

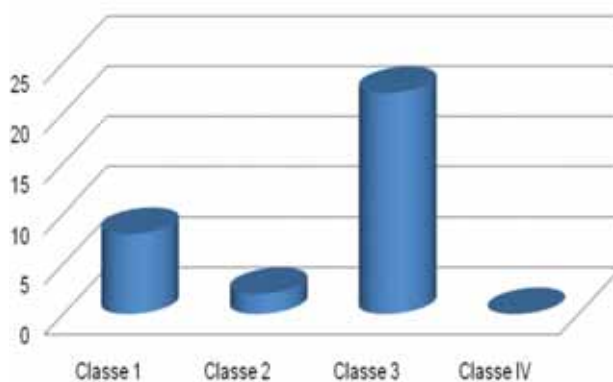


Figura 2: Classificação de Saúde Oral

### 3.3. Discussão

Considerando a magnitude de pessoal militar navegante no activo que presta serviço na Força Aérea é verdade que a amostra pode parecer pequena e estatisticamente pouco significativa, mas este esforço de investigação, atento o seu carácter pioneiro, pode servir como ponto de partida para delinear um novo método de avaliação dentária, a aplicar tanto na selecção de Pessoal Navegante, como nas avaliações periódicas, de modo a conseguir uma eficácia autêntica no diagnóstico de patologias e, assim, contribuir para a melhoria das condições de saúde oral desse pessoal e da prevenção das barodontalgias que possam acontecer em circunstâncias reais ou em câmara hipobárica.

Como referido, a maioria das causas de inaptidão para voo foi devida a sisos inclusos, pois foram detectados seis casos em exclusivo e oito em associação com patologias, o que corresponde a 43,75% da amostra. Na transposição dos dados para toda a população navegante seria muito provável a obtenção de um número significativo de Pessoal Navegante em estado inoperacional, por inaptidão dentária, quando, na realidade, os sisos inclusos não constituem uma verdadeira patologia.

Neste sentido, outras variáveis poderiam ter significância na atribuição da aptidão, nomeadamente a aeronave que o tripulante voa habitualmente, face, por exemplo, a distintas variações de pressão atmosférica. Enquanto que um F16 alcança elevadas altitudes, ao nível de 50.000 pés, o *Alphajet* costuma voar normalmente entre os 10.000 e 20.000 pés. No caso do *Épsilon*, que não tem pressurização de cabina, este atinge altitudes fisiológicas até 10.000 pés. O elemento chave e que fez toda a diferença no diagnóstico de situações de inaptidão, foi o uso de radiografias. Dos casos analisados, nove seriam facilmente classificados como aptos, se não se tivesse utilizado este meio, seis deles exclusivamente por sisos inclusos, dois por lesões periapicais e um por lesão óssea maxilar, não considerando os casos das cáries interproximais diagnosticadas com recurso a radiografias do tipo *bitewings*.

A doença periodontal teve uma baixa prevalência, com apenas um caso foi detectado. Neste aspecto, afiguram-se como relevantes os bons hábitos de higiene oral constatados na maioria dos indivíduos examinados. Também pode ser relevante a média de idade da amostra (27 anos), já que a doença periodontal crónica tem maior prevalência à medida que a idade aumenta.

É um facto que na Força Aérea o sistema usado, actualmente, não diagnostica afecções que são plausíveis de provocar barodontalgias e, mesmo assim, elas não acontecem com frequência. Por outro lado, a prevalência de barodontalgias é maior do que é reportado porque o Pessoal Navegante tem receio que o reporte de pequenos incidentes barotraumáticos comprometa a sua vida profissional (Santiago e tal, 2003)

Por último, considera-se fundamental a distribuição por classes de saúde oral, não só para o pronto encaminhamento do militar, no que concerne à prevenção e tratamento de doenças como, também, para se conhecer em termos operacionais quem está apto para realizar determinadas missões.

### 3.4. Conclusões

Aparecem diferenças significativas nos resultados dos dois métodos de avaliação dentária em estudo. Com o sistema actual de avaliação dentária periódica, utilizado no CMA, a

prevalência de aptidão é de 100%. Com o método utilizado neste estudo a prevalência de aptidão é de apenas 31,25%. Porém se não forem contabilizados para efeitos de inaptidão as situações exclusivas de sisos inclusos, a prevalência da aptidão sobe para 50%; razão pela qual se deve reponderar esta situação clínica como, não traduzindo uma patologia em sentido técnico. Afigura-se, em face do exposto, que o sistema de avaliação dentária periódica do CMA não é eficiente no diagnóstico de patologias, em virtude de não empregar meios auxiliares, com maior significância para as radiografias extra e intra-orais.

#### **4. FUNDAMENTOS PARA A CRIAÇÃO DE UM NOVO MÉTODO DE DIAGNÓSTICO PARA O EXAME DENTÁRIO PERIÓDICO**

Conforme referido anteriormente, as regras utilizadas nas avaliações dentárias periódicas (Tabelas C e D, pelo Decreto-Lei n.º 291/99, de 3 de Agosto, e Portaria 790/99, de 7 de Setembro [12]) têm critérios muito vagos, tanto no que concerne à enorme quantidade de patologias que é necessário avaliar, como em relação ao postulado na literatura científica internacional.

Embora o exame clínico convencional, com sonda e espelho seja ainda o método mais utilizado para a detecção de cáries, deve-se salientar a incapacidade deste método para revelar pequenas lesões cariosas em áreas de difícil acesso. Uma técnica adicional, como a radiografia interproximal, deve ser associada ao exame clínico, com o objectivo de suprir as deficiências do exame clínico visual. O recurso ao RX, além de amplamente difundido, tem sido largamente empregue e constitui um meio auxiliar de diagnóstico efectivo para detecção de cáries interproximais e oclusais (Marinho, Pereira, 1998) [8].

As radiografias interproximais deverão ser efectuadas anualmente para um despiste precoce das lesões cariosas e uma ortopantomografia a cada cinco anos, no mínimo, para um exame mais completo (Robichaud, FDI, 2005) [15]. Assim, durante a verificação dentária periódica do Pessoal Navegante, deve ser efectuada:

- a. Uma avaliação periodontal;
- b. Uma avaliação, radiográfica, da possível perda de dimensão óssea ou, no exame físico dentário, a pesquisa de sinais: de gengivite, bolsas periodontais, mobilidade dentária. No caso de existirem, a acção recomendada é o encaminhamento do militar para tratamento de Periodontologia.

Relativamente às más oclusões: discrepância osteodentária, e má relação dos arcos dentários nos planos sagital, vertical e transversal, Pinto *et al* (2008) [11] descrevem que, apesar da grande evolução a respeito do conhecimento da oclusão no Século XX, nenhum índice de classificação oclusal proposto pode ser usado como padrão.

Considerando a importância da saúde e higiene oral na aptidão física e na execução da missão, seria de grande interesse para a Força Aérea estabelecer uma classificação de saúde oral/necessidades de tratamento para assegurar a prontidão do Pessoal Navegante, segundo a seguinte distribuição:

- a. Classe 1: Não existem condições de patologia oral, portanto nenhum tratamento é necessário;
- b. Classe 2: Situação de saúde oral em que não é esperado tratamento urgente nos 12 meses seguintes;



- c. Classe 3: Situação de saúde oral em que é esperada necessidade de tratamento urgente nos 12 meses seguintes, se possível deve ter tratamento imediato;
- d. Classe 4: Pessoal que não tem registos dentários, ou estes estão incompletos, ou faltou à avaliação dentária periódica.

Este sistema de classificação é preconizado pela Força Aérea Americana (USAF-*Air Force 1 Policy Directive Dental Services 47-1* [19] e *Air Force Instruction Medical Examinations and Standarts 48 - 123*) [18] e também pela NATO – *Standardization Agreement MED/2466* [10]. 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 deverá ser dado um prazo para efectuar os tratamentos necessários, de modo a serem reavaliados em Classe 1 ou 2.

Para a atribuição da classificação de aptidão, ao nível da avaliação dentária periódica (Classe 1 e 2), têm de se verificar, cumulativamente, as seguintes condições:

- a. Não existir evidência de lesões cáries activas ou em progressão ao nível da dentina (a confirmar através de exames radiográficos);
- b. Não existirem dentes com sinais de pulpíte irreversível ou infecções apicais. Tratamentos endodónticos 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 activa, sem controlo (mobilidade dentária significativa, que interfira com a fala ou colocação máscara de oxigénio);
- d. Não existirem restaurações fracturadas, perdidas ou com infiltração marginal;
- e. Não existirem restaurações provisórias;
- f. A oclusão deve ser considerada estável, sem compromisso das funções da fala e da mastigação;
- g. Não existir excessiva actividade parafuncional – Bruxismo –, que, a longo prazo, pode causar destruição de certas estruturas articulares;
- h. As próteses dentárias devem ser retentivas e terem estabilidade funcional;
- i. Evitar a permanência na cavidade oral de terceiros molares inclusos e que tenham pouca probabilidade de vir a erupcionar ou semi-erupcionados que tenham pouca probabilidade de entrar em oclusão funcional e com história de periocoronarite anterior;
- j. Os tecidos moles e mucosas sem sinais de patologia, causada por hábitos de consumo, como, por exemplo, de tabaco.

## 5. DEFINIÇÃO DE NOVAS REGRAS DE PREVENÇÃO E TRATAMENTOS DENTÁRIOS EM PESSOAL NAVEGANTE

Existem alguns factores ao nível dentário que, comprovadamente, podem afectar a capacidade de voo do Pessoal Navegante. Apesar de dispersos por várias fontes bibliográficas, considera-se de suma importância fazer uma recolha destes, para servir de guia na prática clínica diária. Assim, consideramos que o médico dentista deve assegurar a aplicação de regras de restrição de voo em algumas situações:

- a. Anestesia local ou regional para tratamento dentário: não voar, no mínimo, 8 horas (STANAG 3474, SET 2010) [9] para toda a tripulação, podendo prolongar-se até 12 horas (*Air Command Canadá CFACM 12 – 200*), no caso de pilotos que voam sozinhos. Este período pode ter de ser alargado devido a reacção adversa ao anestésico;
- b. Durante a toma de alguns medicamentos que podem provocar falta de concentração e mal-estar (ex. analgésicos), ou distúrbios do aparelho digestivo (ex. antibióticos), se possível evitar voar até ao terminar a medicação, (*Zadik, 2009*) [22] (*Medication and Flying – JAA Manual of Civil Aviation Medicine*);
- c. Tratamento endodóntico: não voar, se possível, durante o decurso do tratamento; retomar o voo após 24 horas da conclusão do tratamento (Gunepin, 2010) [5]. Caso não seja possível, a interdição de voo durante todo o tratamento, aguardar 24 horas após desbridamento dos canais, a colocação de medicação intracanal e estado assintomático (*Air Force Instruction 47 – 101, Managing Air Force Dental Services, USAF, 2009*); [17]
- d. Após a realização de restaurações profundas: não voar num período de 48 a 72 horas, permitindo uma “acalmia” ou estabilização pulpar (Costa, 2004) [1];
- e. Após extracção dentária: as alterações de pressão podem ter consequências graves, como dissolução do coágulo e hemorragia e enfisema. A restrição de voo deverá ser de 48 horas para uma extracção simples e de uma semana a um mês para uma cirurgia diferenciada (Gunepin, 2010) [5];
- f. Doentes com inflamação aguda ou infecções, nos tecidos dento-alveolares ou maxilo-faciais: não devem voar até a situação clínica estar regularizada, uma vez que as alterações de pressão podem causar a disseminação da infecção (Costa, 2004) [1];
- g. Após colocação de implante dentário (início da fase de osteointegração): restrição de voo de 10 dias. (*Air Force Instruction 47 – 101, Managing Air Force Dental Services, USAF, 2009*);
- h. Após a colocação de uma membrana de regeneração óssea: restrição de voo de uma a duas semanas (*Air Force Instruction 47 – 101, Managing Air Force Dental Services, USAF, 2009*) [17], (Gunepin, 2010) [5];
- i. Alveolite seca (*dry socket*): restrição de voo de 10 dias (Gunepin, 2010) [5];
- j. Após colocação ou activação do aparelho de ortodontia: restrição de voo de 24 horas (Gunepin, 2010) [5].

## 6. CONCLUSÃO

A magnitude da estrutura física e operacional da Força Aérea Portuguesa torna imensa a responsabilidade dos profissionais de saúde em manter, no seu nível mais elevado possível, os militares em condições de actividade. A actividade aérea, devido às alterações de temperatura, pressão e ergonomia, expõe os profissionais constantemente às repercussões fisiológicas dos riscos físicos e mecânicos da actividade.

Tais riscos têm repercussões danosas no sistema estomatognático. A periodicidade das inspecções 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 físico detalhado oral, dentário e maxilo-facial, devendo, sempre que o profissional de saúde o considere necessário, serem realizados os adequados exames complementares. Na Força Aérea constata-se a necessidade de directivas actualizadas que orientem os médicos dentistas no exercício diário da avaliação dentária periódica de Pessoal Navegante. Consequentemente, em função da investigação produzida a partir do estudo comparativo de métodos de avaliação dentária periódica, resultam várias propostas consideradas essenciais, tais como a:

- a. Adopção de ficha de avaliação dentária periódica segundo modelo da NATO;
- b. Definição de regras em relação aos critérios de aptidão/inaptação nos exames de revisão periódica, regras de restrição de voo após tratamentos dentários;
- c. Realização de tratamentos dentários específicos para o Pessoal Navegante;
- d. Adopção de uma metodologia classificativa assente em classes – Classes 1, 2, 3 e 4 – conforme os princípios anteriormente reportados, e consoante o grau de patologia oral.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- [1] COSTA, Hélder Nunes, **Medicina Dentária Sub-aquática**, Revista Portuguesa de Estomatologia, Medicina Dentária e Cirurgia Maxilofacial, volume 45, nº2, 2004.
- [2] Decreto-Lei nº 291/99 de 3 de Agosto de 1999 – **Causas de Inaptidão Física e Psíquica, Tabelas Gerais**.
- [3] Directiva Nº 3/81 da DS, Força Aérea Portuguesa de 20 de Dezembro – **Verificação da Aptidão Psico-Física do Pessoal Navegante – Revisões Periódicas no CMA**.
- [4] GONZALES, Santiago M. del; MARTINEZ, Sahuquillo Marquez A; BULLON Fernandez P. **Incidence of Barodontalgias and their relation to oral/dental condition in personnel with responsibility in military flight**, Oral Medicine and Pathology, nº 9, 92-105, 2004.
- [5] GUNEPIN, M., Derache, F. et Audoual, T., **Barodontalgies en Milieu Hypobare. Implications en Dentisterie Aéronautique Militaire**. Médecine Aéronautique et Spatiale, Tome 51 – nº 190/10,2010.
- [6] JACOBI-PASQUET, J., Abbura,L., Pasquet, K. et Kossowski M., **Prévention des Foyers Infectieux Dentaires Chez Le Personnel Navigant Militaire: A Propos de 3 Cas**. Médecine Aéronautique et Spatiale, Tome 48 - nº 178/07, 2007.
- [7] **Manual de Fisiologia de voo**, Centro de Medicina Aeronáutica, Força Aérea Portuguesa, Setembro 2006.
- [8] MARINHO, Vitor Alexandre; PEREIRA, Geraldo Magela. **Revisão de Literatura - Cárie: Diagnóstico e Plano de Tratamento**. Un. Alfenas, Alfenas, v. 4, p. 27-37, 1998.
- [9] OTAN- Standardization Agreement 3474 AMD (EDITION 5) - **Temporary Flying Restrictions due to exogenous factors affecting aircrew efficiency**, 3 September 2010.
- [10] OTAN- Standardization Agreement 2466 MED (EDITION 2) – **Dental Fitness Standards for Military Personnel and a Dental Fitness Classification System**, 13 April 2006.
- [11] PINTO, Edvaldo de Melo; GONDIM, Pedro Paulo da Costa; LIMA, Niedje Siqueira de, **Análise crítica dos diversos métodos de avaliação e registo das más oclusões**, Rev. Dent. Press Ortodon. Ortop. Facial, Maringá, v. 13, n. 1, p. 82-91, 2008.
- [12] Portaria 790/99, de 7 de Setembro de 1999, DR I Série, nº 209 – **Causas de Inaptidão Física e Psíquica, Tabelas Gerais**.
- [13] RAYMAN, R. B. **Aircrew health care maintenance**, 1985
- [14] **Regulamento de Serviço Aéreo. – RFA - 351-1 (A)**, Força Aérea Portuguesa - Estado Maior, Julho de 1980.
- [15] ROBICHAUD, Roland, Mcnally, Mary, **Barontontalgias as a Differential Diagnosis: Symptoms and Findings**, Journal of the Canadian Dental Association, vol. 71, nº1, January 2005.
- [16] US Army DNIF (Duties Not to Involve Flying) AF Form 1418: recommendation for flying or special operations duty-Dental
- [17] US Department of the Air Force, Air Force Instruction 47-101, Managing Air Force Dental, 1 June 2009.

- [18] US Department of the Air Force, Air Force Instruction 48-123, Medical Examinations and Standards – Aerospace Medicine, 24 September 2009.
- [19] US Department of the Air Force, Air Force Policy Directive 47-1, Dental Services, 7 September 1993.
- [20] ZADIK, Yehuda, **Barodontalgia Due to Odontogenic Inflammation in the Jawbone**, Aviation Space and Environmental Medicine, vol 77, nº 8, August 2006.
- [21] ZADIK, Yehuda, ZAPNICK Lea, GOLDSTEIN Liav. **In-flight Barodontalgia: Analysis of 29 cases in MilitaryAaircrew.**, Aviation Space and Environmental Medicine. Vol. 78, nº 6,p. 593, 2007.
- [23] ZADIK, Yehuda, **Aviation dentistry: current concepts and practice**, British Dental Journal, vol 206, nº1, Jan 2009.

# Manutenção Centrada na Fiabilidade – um Breve Resumo



## Autores:

Vasco Abreu, Aspirante Aluno da Licenciatura em Manutenção Material Electrotécnico  
Gonçalo Lavado, Tenente Aluno da Licenciatura em Manutenção Material Electrotécnico  
Cláudio Tavares, Aspirante Aluno da Licenciatura em Manutenção Material Electrotécnico  
Academia da Força Aérea, Sintra

Orientador: Professor Adjunto José Sobral  
Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa

Co-orientador: Luis Martins, Major Técnico de Manutenção de Material Electrotécnico  
Academia da Força Aérea, Sintra

**Resumo.** A evolução dos conceitos e metodologias de manutenção, assim como a sua aplicação é, actualmente, uma realidade incontornável, que nenhuma organização deve descurar. A sua importância crescente assenta, sobretudo no facto, que importa preservar e garantir a funcionalidade, com elevados padrões de segurança, dos equipamentos e infra-estruturas. Numa organização como a Força Aérea, também as áreas, ditas de apoio, à operação dos meios aéreos têm equipamentos, que pela sua complexidade e envolvimento económico requerem cuidados especiais e atentos frisando que, a sua falha compromete a missão da instituição pois tratam-se de meios primários de funcionamento das Unidades.

O presente artigo pretende dar a conhecer a aplicabilidade de uma metodologia (*RCM - Reliability Centered Maintenance*) focalizando-se nalguns aspectos, puramente teóricos, que devem ser tomados em conta no momento da sua operacionalização.

**Palavras-Chave:** manutenção, RCM, fiabilidade.

## 1. INTRODUÇÃO

É um facto inegável, a centralidade de que se revestem as questões e os debates inerentes à ciência e à tecnologia. Como afirma Hermínio Martins (2003) [3], a ciência é mais do que uma forma influente de conhecimento e a tecnologia mais do que a origem e o conjunto dos artefactos e aparelhos. Um traço ainda mais profundo desta ideia reside no facto de haver uma forte propensão do espírito humano em querer compreender o mundo por via de tudo o que resulta dos processos da fabricação humana.

Parece assim razoável pensar que a tecnologia está cada vez mais inserida nos próprios processos sociais de que se reveste a acção humana e que as suas possibilidades ainda se encontram longe de concretizar, o que acicata o génio e a criatividade do Homem.

Todavia, a evolução tecnológica não tem seguido um continuo uniforme, mas antes surgida como que por vagas, como refere o historiador norte-americano *Henry Adams*, ao falar de uma «lei de aceleração» governando a história ocidental. Segundo ele, cada era sucessiva, definida por um dado tipo de tecnologia, seria mais curta que a anterior, de acordo com uma relação matemática (*Adams* citado por Martins, 2003) [3]. Na verdade é perceptível que a própria mudança do paradigma analógico para o digital tem introduzido vectores tecnológicos de tal modo evoluídos que, rapidamente se vislumbram alterações quer no manuseio quer das próprias possibilidades de *outputs* oferecidas, que pela sua complexidade requerem constantes actualizações por parte dos operadores.

Pese embora a crescente robotização, os sistemas não funcionam de modo autónomo, sem que sejam necessárias acções, devidamente planeadas, para garantir a sua funcionalidade e uma constante supervisão para a reposição desta, sempre que, inopinadamente a sua operação seja interrompida.

Neste sentido, a manutenção dos sistemas tecnológicos afigura-se como um elemento essencial, na procura da excelência do seu funcionamento com vista a torná-los seguros e rentáveis, pois o investimento envolvido é sempre considerável. A constatação deste facto salienta a importância de toda a investigação em torno da procura da maximização dos recursos

e infra-estruturas existentes, e o traçar um diagnóstico sobre um determinado sistema, redundando claramente, na procura da sua inteligibilidade potenciando condições de operabilidade mais eficientes.

Este artigo, traça algumas linhas orientadoras, relativamente a questões a que a RCM [9] deve responder, para se tornar na ferramenta ideal de apoio à manutenção.

Importa frisar que a principal característica da *Reliability Centered Maintenance* reside na sua abordagem alterando o paradigma tradicional de preservação dos equipamentos para uma ideia de preservação da função do sistema.

## 2. MANUTENÇÃO E FIABILIDADE

Afastada a ideia do “mal necessário” associada à manutenção, porque envolve custos que nem sempre se vislumbram como tendo um retorno imediato, a realidade é que as melhorias de funcionamento, longevidade e rentabilidade dos equipamentos são largamente incrementadas, por via da implementação de planos de manutenção de forma preventiva ou então de acções devidamente executadas para fazer face ao carácter aleatório das avarias e também à natural propensão que os equipamentos, sujeitos aos mais variados regimes de funcionamento, têm de responder deficientemente às exigências funcionais.

Desta forma, surge a necessidade de introduzir o conceito de Fiabilidade, tratado como a probabilidade de sobrevivência, e que, se genericamente, significa ausência de falhas ou ainda disponibilidade, segundo uma visão mais quantitativa e precisa, pode ser definida como a medida da capacidade de um bem operar sem falha, ou seja, a probabilidade da falha não ocorrer, como refere Rui Assis (1997) [2].

A unidade de medida quando se analisa a fiabilidade de um bem depende essencialmente da natureza do serviço por si realizado, sendo definida caso-a-caso de acordo com o respectivo tipo de utilização/operação, o qual pode ser medido em horas, em calendário, ciclos de funcionamento, ou de forma mista: Como exemplos destas opções temos o caso de um motor e o trem de aterragem de uma aeronave cujo controlo do tempo de utilização é quase medido em ciclos; os as acções de manutenção numa viatura as quais ainda hoje mantém sob regime de tipo *hard-time* (em intervalos bem definidos dependentes da quilometragem percorrida ou tempo-calendário – como é o caso da mudança de óleo de lubrificação do motor) (Assis, 2004) [1].

Os factores que intervêm no cálculo desta grandeza são, entre outros, a carga de trabalho a que o órgão está sujeito e indicadores de natureza ambiental, como sejam a humidade, temperatura e exposição a produtos químicos, entre outros. Podemos identificar, contudo, a fiabilidade que um bem manifesta perante condições de serviço conhecidas, ou fiabilidade intrínseca, e por outro a fiabilidade que esse mesmo bem apresenta quando sujeito a condições de serviço aleatórias e diferentes (as condições reais de operação), conhecida por fiabilidade extrínseca.

Como complemento a este raciocínio (Assis, 2004) [1] refere ainda que, a fiabilidade intrínseca, também conhecida como fiabilidade inerente ou fiabilidade à saída da fábrica,



é calculada com base em ensaios normalizados, ensaios estes que tentam testar as funções projectadas (funções que o bem se propõe a garantir à priori). Apesar da carência de credibilidade nestes valores, eles constituem o ponto de partida possível para uma boa gestão de manutenção.

As crescentes exigências sobre os equipamentos, levam à procura de um crescente aumento do seu desempenho, nomeadamente, do número de funções desempenhadas por estes, aumentando a sua complexidade, quer através do aumento das cargas suportadas pelos mesmos, obrigando a que os componentes trabalhem mais próximo dos seus limites de resistência. No entanto, estas exigências têm um impacto negativo na fiabilidade, proporcionando um maior número de falhas no domínio do tempo. Surge daqui a necessidade de se conciliar a fiabilidade com o desempenho. Por outro lado, a fiabilidade pode ser incrementada, através do aumento dos custos com a mesma, havendo também a necessidade de encontrar o melhor compromisso entre ambos.

No entanto, na grande maioria dos equipamentos (de produção) a prioridade tende para a economia, procurando-se então o melhor compromisso entre os custos de um determinado nível de fiabilidade, e os custos decorrentes das falhas para esse mesmo nível de fiabilidade, como se pode verificar na figura 1, a qual pretende representar qualitativamente o formato da curva de custo ao longo do tempo de operação (eixo das abcissas).

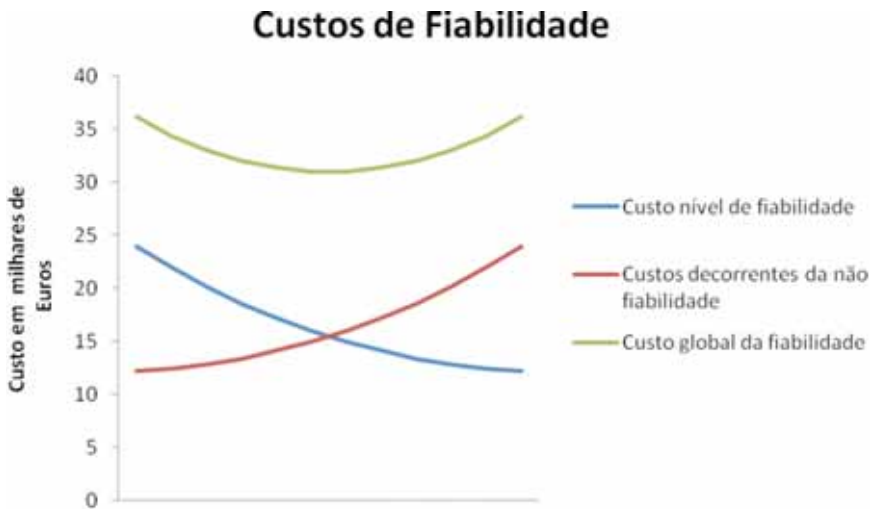


Figura 1: Gráfico do custo global da fiabilidade

### 3. PROBABILIDADE DE FALHA

Quando surge uma falha num determinado bem esta manifesta-se através de alterações nas funções do mesmo para além de parâmetros pré-estabelecidos. Segundo a filosofia da RCM [9] as funções de um equipamento podem ser seis, a saber, a capacidade de produção, a qualidade

da produção, o nível de serviço ao cliente, as questões ambientais, a economia de operação e a segurança; para cada uma delas devem ser estabelecidos valores padrão de desempenho correspondentes às mesmas (Assis, 2004) [1].

Sendo a fiabilidade uma probabilidade, pode afirmar-se que a falha da função requerida traduz-se na cessação de funcionamento ou na degradação de um parâmetro de funcionamento da mesma, para além de um nível considerado satisfatório ou pré-definido. Desta forma podemos encontrar falhas súbitas (podendo ser catastróficas), e falhas progressivas ou lentas, conhecidas como falhas por degradação (ou por deriva), como também refere Assis (*Ibid.*). As falhas catastróficas ocorrem casualmente e, portanto, são imprevisíveis, inutilizando um bem por variação súbita de uma ou mais das suas características, enquanto as falhas por degradação resultam da alteração progressiva de uma ou mais características do bem para além dos seus limites de resistência. Embora também ocorram aleatoriamente estas falhas podem ser previstas e normalmente evitadas através de manutenção preventiva.

Por outro lado, é possível diferenciar as falhas pela implicação que estas têm no sistema. Podem surgir falhas funcionais, resultantes da ultrapassagem dos limites impostos pelos valores padrão definidos para uma determinada função, falhas potenciais, decorrentes de alterações físicas identificáveis que possam levar a uma falha funcional, e falhas ocultas, tais como equipamentos de alarme, equipamentos redundantes, e que se diferenciam pela respectiva falha não se imediatamente acessível ao utilizador/operador Assis (*Ibid.*).

Recorrendo de novo ao raciocínio de Assis (2004) [1], as falhas poderão não estar organizadas apenas segundo os seus tipos, mas também segundo as causas que as provocam. Desta forma, na generalidade, podemos encontrar falhas decorrentes de erros de projecto, de má selecção de materiais, de defeitos de fabrico, de manutenção inadequada (ou inexistente), de sobrecargas de serviço e de condições de ambiente imprevisíveis. As falhas causadas por erros de projecto podem estar associadas à omissão de algumas das características operacionais a que irá estar sujeito o bem, à informação incompleta acerca das condições de serviço (quer as ambientais, quer as de carga) a que o bem irá ser sujeito, a erros de cálculo na fase de projecto e ainda ao alheamento de procedimentos e especificações de engenharia geralmente reconhecidos como minimizadores da probabilidade de falha.

#### 4. GRANDEZAS DA FIABILIDADE

Para uma melhor compreensão destas grandezas há que imaginar uma amostra, significativamente, grande de um determinado bem. Ao submetermos todos os bens da amostra ao mesmo serviço, eles irão falhar à medida que o tempo vai passando.

A partir desse número de falhas é possível calcular qual a quantidade acumulada de órgãos sobreviventes (e avariados) em todos os instantes, e as respectivas percentagens, a densidade de probabilidade de falha, assim como a função de risco, vulgarmente conhecida por “curva da banheira” devido à sua forma característica. Estas funções podem ser representadas num único gráfico, tal como retratado através da Figura 2.

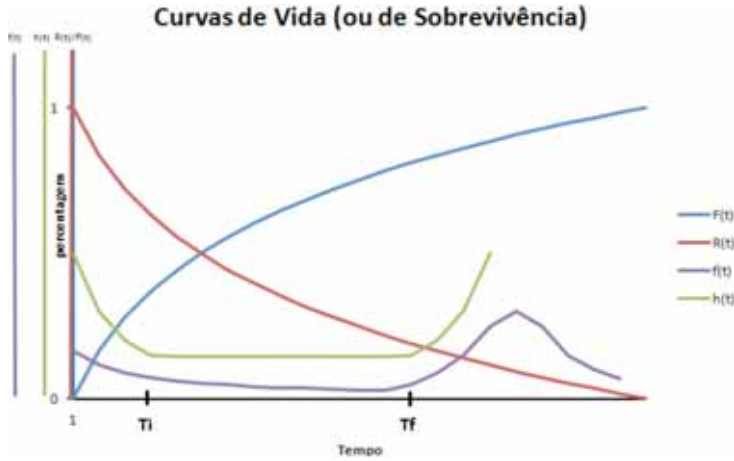


Figura 2: Gráfico de Curvas de Vida (ou sobrevivência)

Onde:

- f(t)** – densidade de probabilidade de falha, que representa o número de bens que falham num determinado instante em relação ao número inicial de bens;
- F(t)** – probabilidade acumulada de falha que representa a percentagem de bens avariados até a um determinado instante.
- R(t)** – probabilidade acumulada de sobreviventes, que representa a percentagem de bens sobreviventes até a um determinado instante. É portanto igual a  $1 - F(t)$ .
- h(t)** – função risco (ou taxa instantânea de falhas), que representa a taxa a que os bens estão a falhar num determinado instante em relação ao número de sobreviventes no instante imediatamente anterior, (é conhecida por Curva da Banheira).

Analisando a função  $h(t)$ , observa-se uma elevada percentagem de falhas dos bens numa fase precoce (antes de se atingir  $T_i$ ), maioritariamente explicadas por defeitos de fabrico, deficiências na fase de projecto, no controlo de qualidade (ou inexistência deste), instalação incorrecta, ou mesmo por uma rodagem deficiente. Este período designa-se período de mortalidade infantil (ou de infância).

Após todos os bens com deficiências ao nível da concepção terem sido eliminados, entra-se no período de maturidade (ou de vida útil), onde a ocorrência de avarias é aleatória ou imprevisível.

A partir do instante  $T_f$  o número de falhas sofre um aumento significativo, explicado pela degradação dos bens devido à sua utilização. Embora o comportamento demonstrado pela "Curva da Banheira" seja bastante representativo da fiabilidade na generalidade dos bens, não explica a fiabilidade de todos os tipos de equipamentos e sistemas (Assis, 1997) [2]. Há que ter em atenção as particularidades de cada tipo de bens, podendo de uma forma genérica ser representados alguns desses tipos de uma forma distinta, conforme Figura 3.



Figura 3: Probabilidade instantânea de falha de vários tipos de componentes

No caso de equipamentos electrónicos a curva é bastante característica, mas analisando a curva relativa a bens mecânicos verifica-se que durante a fase de maturidade deste tipo de equipamentos a função de risco vai subindo gradualmente, podendo ser este facto explicado pelo aumento contínuo da degradação a que estes órgãos estão sujeitos provocados por fricções, vibrações, impactos, entre outros. No caso do software a *curva de mortalidade* terá sempre uma representação idêntica à representada na figura, pois este tipo de elemento não tem degradação física, e é sujeito a sucessivos melhoramentos à medida que se vão detectando os erros, podendo-se afirmar que de certa forma *estes não envelhecem*.

## 5. METODOLOGIA MANUTENÇÃO CENTRADA NA FIABILIDADE

A metodologia em título, conhecida por **Reliability Centered Maintenance (RCM)** teve origem durante a década de 60 na indústria aeronáutica americana e foi aos poucos ganhando o seu espaço noutras áreas da indústria a nível mundial, como são os casos da petrolífera e da indústria de produção de energia nuclear.

Houve alguma relutância em aceitar esta nova perspectiva, visto a cultura de manutenção enraizada ser a cultura do preservar os bens (unidades, órgãos, sistemas, equipamentos). Mas, o facto é que de modo a podermos desenvolver uma estratégia efectiva de manutenção, é de vital importância saber com exactidão, qual o resultado final desejado e quais as funções suportadas pelo equipamento, como é referido pela *Reliability Hotwire* (2007).

Em termos práticos a *RCM* [9] assenta num conjunto de perguntas que serão formuladas sobre cada elemento a ser analisado, para que a principal função seja preservada. As respostas às perguntas acima formuladas irão servir de guia ao estabelecimento do programa de manutenção mais adequado. São normalmente referidas sete questões básicas que são formuladas, nomeadamente (*Moubray*, 2003) [4]:

1. Quais as funções e os padrões de desempenho do elemento no seu contexto operacional actual?
2. De que forma esse elemento falha em cumprir a sua função?
3. O que causa a falha funcional?
4. O que acontece quando ocorre a falha?
5. De que modo cada falha importa?
6. O que pode ser feito para prevenir ou prever cada falha?
7. O que deve ser feito se não for encontrada uma tarefa pró-activa adequada?

De acordo com a publicação *Reliability Hotwire* de Janeiro de 2007, RCM poder-se-á dividir a aplicação da metodologia em sete etapas, que seguidamente se passam a descrever:

1. Preparação para análise.
2. Selecção do equipamento a ser analisado.
3. Identificar as funções.
4. Identificar as falhas funcionais.
5. Identificar e avaliar os efeitos das falhas.
6. Identificar as causas da falha.
7. Seleccionar as tarefas de manutenção

O cumprimento de todas estas etapas requer a criação de uma equipa de trabalho, de algum modo multidisciplinar, que possa identificar os componentes a serem analisados e qual a profundidade desse trabalho, nomeadamente, na correcta identificação das falhas e causas das mesmas. O objectivo final será o de reunir o conhecimento suficiente, de modo a que a análise seja feita de forma efectiva, sem desperdício de recursos essenciais.

Por fim, existe um nível de actuação em que as acções de manutenção são definidas e seleccionadas (como consta no SAE JA1011/1999 - *A Guide to Reliability - Centered Maintenance*) [14] e se descrevem os critérios mínimos que um processo RCM [9] tem de reunir para poder ser apelidado como tal. Procura-se, responder às seguintes questões:

- O que deve ser feito para prever ou prevenir cada falha?
- O que deve ser feito se uma tarefa pró-activa que seja adequada não tenha sido encontrada?

O escolher da estratégia mais correcta nem sempre é fácil, pois implica um sólido conhecimento do correcto comportamento da falha e do correspondente modo de falha e assenta numa combinação de factores e considerações tais como a viabilidade técnica, a experiência, e acima de tudo se “vale a pena”. Para que isso aconteça é de todo conveniente que o modelo de distribuição estatística correspondente a essa falha esteja estudado e quantificado, pois deste modo conseguir-se-á analisar mais correctamente o seu comportamento ao longo do tempo. O estudo do modelo poderá ser suportado em registos históricos, caso os haja, ou nas especificações fornecidas pelo fabricante. A ausência de uma estimativa razoável de fiabilidade poderá levar a que a implementação de uma tarefa de manutenção se torne inútil ou que tenha resultados contraproducentes.

Na figura 4 é mostrado uma amostra do tipo de comportamento das falhas ao longo do tempo. De acordo com o seu padrão será aplicada a estratégia de manutenção considerada mais apropriada.

O padrão A poderá beneficiar mais se sujeito a uma técnica de manutenção preventiva, enquanto que os padrões C, D e E beneficiarão mais quando sujeitos a uma técnica de manutenção "on-condition".

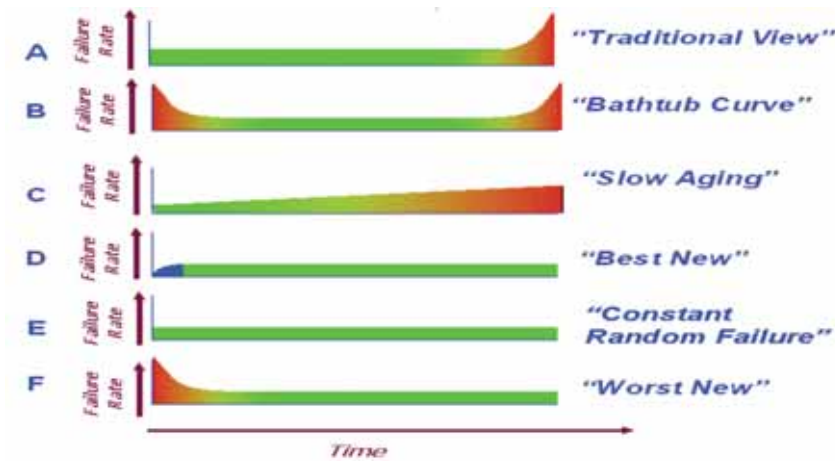


Figura 4: Padrões de comportamento das falhas no tempo

Fonte: *The Reliability Hotwire: The RCM perspective on maintenance*

## 6. CONCLUSÃO

A metodologia *RCM* é um programa vivo, onde as constantes actualizações têm de ser uma realidade. Estas revisões contínuas têm como objectivo a redução das falhas, o incremento da qualidade da manutenção e a disponibilidade de recursos, e em último caso até a própria expansão do programa *RCM*.

Esta metodologia complementada por outros métodos de análise de falhas, que não foram abordados neste texto, é uma poderosa ferramenta e tem como pilar, o conhecimento técnico da equipa de especialistas responsável pelo estudo, que de acordo com o critério estabelecido avalia os elementos do sistema por forma a que no final, consiga de uma maneira objectiva, hierarquizar e identificar os órgãos que serão alvo de um estudo mais aprofundado devido ao elevado risco que apresentam.

Só é possível desenvolver um trabalho de qualidade quando os materiais envolvidos estão devidamente documentados, nomeadamente através de registos históricos, dados relativos à fiabilidade e tempo médio de falhas, que são da responsabilidade dos fabricantes e também de planos de manutenção devidamente elaborados.

É um lugar comum que nem sempre se vislumbra retorno económico em manutenções que não são estritamente para repor imediata funcionalidade dos sistemas avariados, mas deve-se pensar na longevidade, optimização de funcionamento, segurança e acima de tudo qualidade.

O facto de que a *RCM* aposta na preservação da função dos sistemas secundarizando aquela ideia primária da preservação dos equipamentos, já por si só, induz uma abordagem

diferente que acaba por ser um desafio constante que se impõe à manutenção, na procura da excelência.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Assis, Rui – **Apoio à Decisão em Gestão da Manutenção: Fiabilidade e Manutenibilidade**. 1.<sup>a</sup> Edição. Lisboa: LIDEL – Edições Técnicas, Limitada, 2004. ISBN 972-757-298-7.
- [2] Assis, Rui – **Manutenção Centrada na Fiabilidade: Economia das Decisões**. 1.<sup>a</sup> Edição. Lisboa: LIDEL – Edições Técnicas, Limitada, 1997. ISBN 972-757-037-2.
- [3] Martins, H.; Garcia, José, L. – **Dilemas da Civilização Tecnológica**, ICS, 2003.
- [4] Moubray, J. – **Manutenção Centrada em Confiabilidade**. 2.<sup>a</sup> Edição. Butterworth Heinemann.

# Onda de Explosão Aérea Hemisférica Determinação da Probabilidade de Fatalidade do Ser Humano



Autor: António Azevedo, Tenente Aluno Técnico de Manutenção de Armamento e Equipamento  
Academia da Força Aérea, Sintra

Orientador: Gumersindo Brás, Major Técnico de Manutenção de Armamento e Equipamento  
Direcção de Manutenção de Sistemas de Armas  
Força Aérea



**Resumo.** Actualmente no que diz respeito à problemática da armazenagem de explosivos e munições, Portugal ratificou o manual da NATO AASTP-1 - Manual of NATO Safety Principles for Storage of Military Ammunition and Explosives [1], o qual permite à Força Aérea gerir as suas operações de armazenagem. Sem prejuízo para o cumprimento das regras ínsitas no referido manual sucede, que no âmbito de operações militares, às quais são de elevado risco, pode suceder haja necessidade de exceder os limites impostos pelo AASTP-1 [1]. Nesse momento, entra numa situação de armazenagem precária, havendo que adoptar regras específicas, as quais estão vertidas no manual da NATO AASTP-4 - Manual on Explosives Safety Risk Analysis [2].

Assim, o presente artigo toma por ponto de partida as referidas situações operacionais que ultrapassam a rotina das operações e desenvolve uma metodologia na aérea de armazenagem de explosivos e munições, permitindo determinar os efeitos de um evento explosivo em termos de fatalidades para o ser humano. O conhecimento destes efeitos permitirá que os órgãos decisores possam tomar determinadas decisões em termos Gestão de Risco Operacional.

**Palavras-Chave:** explosão, onda hemisférica, fatalidades humanas.

## 1. INTRODUÇÃO

Devido à necessidade de aprovisionar nas diversas Unidades Base e ao envolvimento em exercícios e teatros de operações internacionais, a Força Aérea vê-se frequentemente confrontada com operações de transporte aéreo e por estrada que envolvem explosivos e munições.

Uma lacuna sentida é o facto de não existir uma ferramenta, no âmbito da Gestão de Risco Operacional que preveja uma situação de armazenagem precária de explosivos, isto é, uma situação excepcional em que, perante um caso concreto, num determinado local, por constrangimentos específicos haja necessidade de ultrapassar as regras previstas no documento "NATO AASTP-1 - *Manual of NATO Safety Principles for Storage of Military Ammunition and Explosives*" [1]. Nomeadamente em termos da capacidade de armazenagem da massa líquida explosiva. De modo a ultrapassar esta dificuldade e com o contributo de várias nações, a NATO elaborou o manual "AASTP-4 - *Manual on Explosives Safety Risk Analysis*" o qual permite identificar riscos resultantes da explosão [2].

Para operacional os conceitos previstos em AASTP-4 - *Manual on Explosives Safety Risk Analysis* [2], (ainda não ratificado pelo Estado Português) torna-se necessário elaborar uma ferramenta que disponibilize no seio da Força Aérea os princípios e fórmulas matemáticas e os transforme em algo acessível e compreensível a militares com competências na área do manuseamento e armazenagem de explosivos e de munições, permitindo quantificar os efeitos letais sujeitos à Onda de Explosão Aérea (OEA) hemisférica, determinando assim a probabilidade de ocorrência de fatalidades no ser humano.

Conhecendo estes efeitos possíveis, será possível tomar decisões a nível de gestão de risco operacional, aumentando a capacidade e eficácia operacional e, naturalmente a segurança de pessoas e bens.

## 2. ARMAZENAGEM E GESTÃO DE RISCO OPERACIONAL

Os explosivos e munições são artigos de manipulação perigosa e exigem um ambiente apropriado para a sua conservação, em boas condições de estabilidade e segurança. O seu manuseamento e armazenagem devem efectuar-se sempre em locais apropriados, escolhidos e organizados em função do grau de segurança requerido, das quantidades acumuladas e das condições ambientais.

Neste contexto, o tema da gestão de risco é largamente conhecido na área da banca, seguradoras, saúde, economia, etc. Mas na realidade, a Gestão de Risco Operacional (GRO) teve a sua origem no meio militar, onde desde sempre os comandantes tiveram a necessidade de avaliar os planos de contingência. O conceito de risco é indissociável da actividade de gestão e afigura-se como crucial, face a um contexto global de elevado dinamismo e mutabilidade, como se caracteriza a realidade actual. Presentemente a palavra risco configura a probabilidade de um acontecimento apresentar um resultado negativo (com o sentido de perda) num momento futuro.

A GRO respeitante à questão de armazenagem de explosivos e munições é um tema que constitui uma abordagem inovadora no seio das instituições militares, definindo-se como um processo de tomada de decisão sistemática, que identifica os riscos, benefícios, e determina a melhor opção num contexto com probabilidade de perdas humanas, objectivamente resultantes de explosão (não programada).

A elaboração do manual AASTP-4 [2] ao contar com a contribuição de diversos países, tais como a Austrália, França, Alemanha, Holanda, Noruega, Suécia, Suíça, Reino Unido e EUA. Alguns destes países não pertencem à NATO, permitiu conformar as várias abordagens da GRO neste domínio de elevado risco de fatalidade

As várias contribuições nacionais permitiram evidenciar a complexidade do assunto em questão e a dificuldade em universalizar e padronizar os parâmetros que efectuem a quantificação dos efeitos letais no ser humano. De facto, cada país tem de facto sua teoria, o seu modelo matemático e as suas regras institucionais no domínio ora discutido.

Um exemplo simples desta diferença é a Suíça, em que uma simples armazenagem de explosivos pode necessitar de autorização governamental, comparativamente com o modelo norte-americano, em que a decisão é do nível do comandante da unidade.

Dada a especificidade do objecto deste estudo foi seleccionado o modelo norte-americano denominado SAFER (Safety Assessment for Explosive Risks) [3] pois revela-se um modelo integral, bem demonstrado que melhor se adequa à realidade da Força Aérea.

## 3. QUANTIFICAÇÃO DO RISCO RESULTANTE DA EXPLOSÃO

### 3.1 Determinação de Critérios de Aceitabilidade do Risco

De modo geral os riscos podem ser definidos do seguinte modo:

- a. Inaceitável quando o risco se traduz num estado final que corresponde a uma situação de total rejeição;

- b. Tolerável quando sob certas condições o risco se traduz num estado final que se aprova. Este tipo de risco tem necessariamente que ser gerido de forma específica, utilizando muitas nações da NATO o conceito de ALARP (As Low As Reasonably Practicable);
- c. Aceitável quando o risco se traduz num estado final que é totalmente aprovado.

### 3.2 Medição do Risco

O risco em termos globais pode ser medido determinando as consequências (indesejadas). Estes podem ser de natureza económica, humana, etc. No domínio humano, as Lesões e fatalidades são as medidas mais comuns. Em geral, é desnecessário o uso de mais do que uma medida de risco, se a medida seleccionada capta o maior risco para o ser humano. Se a medida primária é adequadamente seleccionada, a medida secundária não vai alterar a conclusão da primeira medida.

Vários estudos têm demonstrado que o uso da fatalidade humana, muitas vezes dá resultados semelhantes face à medida de feridos, uma vez que a maioria dos termos da equação de risco são semelhantes. Portanto, o uso de ambas as medidas é muitas vezes redundante. A excepção é verificada em situações com uma proporção anormalmente elevada de lesões em relação às fatalidades. Devido aos efeitos de explosões, a morte ou lesão segue uma relação padrão consistente, e as duas medidas não são geralmente usadas em simultâneo.

O risco de fatalidade pode ser medido para o indivíduo (risco individual), e também para um grupo de indivíduos (risco colectivo). Os indivíduos em risco muitas vezes são separados por categorias diferentes de pessoas, tais como, directamente envolvidos na actividade, indirectamente envolvidos na actividade e não envolvidos na actividade. O risco colectivo é também conhecido como grupo de risco. É interessante notar que mesmo os indivíduos com muito baixo risco individual podem combinar um risco colectivo muito significativo, se o seu número for elevado, como por exemplo, o tráfego de automóveis perto de um PES (Potencial Explosion Site). Em muitas situações implementadas, o risco de um evento explosivo indesejado vai além do risco de fatalidade ou lesão. Outros factores associados com a protecção e conclusão da missão são pertinentes aos vários graus da hierarquia.

### 3.3 Definição de Risco

A fim de avaliar e comparar os diferentes riscos, eles devem ser quantificados. Risco pode ser decomposto em duas componentes distintas:

$$\text{Risco} = \text{probabilidade} \times \text{consequência} \quad (1)$$

Este conceito tem sido aplicado em muitas variantes e pode ser rastreado até Blaise Pascal, em meados do séc. XVII, o qual escreveu: "*O medo do dano deveria ser proporcional, não apenas à gravidade do dano, mas também à probabilidade do evento*". Quando expresso na forma matemática, o conceito de risco pode servir como base ou ponto de partida para derivação de uma equação de risco específica, aplicável a uma situação específica.

Uma vez escolhida a medida de risco (para o lado esquerdo da equação), os termos do lado direito da equação podem ser expandidos de acordo com o protocolo matemático, mantendo a igualdade, por exemplo, a medida de risco pode ser a probabilidade de uma pessoa ser morta durante um ano de exposição (risco anual e individual de fatalidade (IR)). O risco pode ser expandido para a possibilidade de um evento perigoso,  $P_e$  (eventos/ano), a consequência pode ser definida como a probabilidade de um indivíduo ser exposto continuamente e morrer face à ocorrência do evento  $P_{f/e}$ .

Assim, transpondo para uma fórmula matemática, risco anual e individual de fatalidade é:

$$[IR] = P_e \times P_{f/e} \quad (2)$$

Além disso, as pessoas só podem ser prejudicadas quando elas estão presentes durante uma parte perigosa do processo. Portanto, o risco (por ano) é reduzido na proporção da fracção do ano em que as pessoas estão realmente expostas a um processo de perigo/situação.

Se a probabilidade da pessoa estar presente ou exposta a uma situação perigosa for denotada por  $E_p$ , então:

$$[IR] = P_e \times P_{f/e} \times E_p \quad (3)$$

### 3.4 Efeitos Físicos e Consequências de uma Explosão

A ciência de previsão dos efeitos de uma explosão tem avançado significativamente nos últimos 50 anos. Geralmente, uma reacção muito rápida e violenta, normalmente uma detonação, é a base para avaliar o risco de acidentes fatais. Os métodos em uso estão bem documentados, nomeadamente no manual da NATO AASTP-4 [2], referido ao longo deste trabalho. Como já referido, um evento explosivo tem diversas consequências no meio em redor, vulgarmente conhecido por "efeitos". Os efeitos provocados por um evento explosivo são:

**a. Onda de Explosão Aérea (OEA).** É o efeito de base de qualquer detonação que resulta da sobrepressão criada no ar em redor do centro da explosão. Os elementos da explosão que são observados no local exposto produzem ondas mecânicas de grande impacto que deslocam grandes massas de ar, provocando profundas alterações de pressão. A OEA relativamente à pressão e duração da explosão são normalmente relacionadas com a massa líquida explosiva e a distância, através de uma fórmula afectada pela raiz cúbica. As consequências deste efeito podem ser desde danos directos em pessoas, em equipamentos, edifícios, etc., que por sua vez poderá afectar a capacidade operacional para cumprir uma missão. As consequências para a grande parte das pessoas são a ruptura do tímpano (no caso de uma explosão com reduzido pico de pressão), até hemorragia pulmonar, causando a morte devida à explosão, (com um pico de pressão mais elevado). Além dos efeitos primários da explosão, as pessoas também podem ser lesionadas por serem atingidas por objectos ou serem projectadas.

**b. Projecção de Fragmentos.** Numa explosão é frequente haver a projecção de fragmentos. Estes são divididos em fragmentos primários e secundários. Os fragmentos primários originados pelo material detonado têm trajectórias que podem ser calculadas. Vários graus

de protecção contra os fragmentos primários podem ser edificados tal como estruturas, barricadas, e cobertura da terra. Os fragmentos secundários são provenientes da cratera originada pela explosão, caso esta tenha origem numa altitude diferente de zero. O cálculo destes fragmentos depende da quantidade, tipo e trajectórias do material em questão. Em geral, se for areia não apresenta um risco de atingir distâncias significativas, no entanto, se for material mais pesado, como pedras ou metais, os efeitos podem ser mais perigosos. Se o evento explosivo acontecer dentro ou próximo de uma estrutura, esta poderá produzir fragmentos e serem projectados para a área circundante, onde estes serão identificados como fragmentos secundários. Para uma explosão num edifício ou perto dele, as consequências muitas vezes iniciam-se com a quebra das janelas no caso de explosões de baixa pressão, e estendem-se a colapsos estruturais, colapso de toda a construção, ou até desintegração no caso de explosões que atingem níveis de pressão mais elevados. Secundariamente, os danos nos edifícios poderão originar fragmentos e resíduos perigosos, que representam riscos para as pessoas que estão nas proximidades. Particularmente, os fragmentos de vidro, podem ser projectados a grandes distâncias e causar ferimentos graves. De modo geral, todos os fragmentos originários de uma explosão podem causar danos pessoais, danos em edifícios e equipamentos, mesmo a alguma distância do local da explosão. A consequência de um impacto de fragmento depende do seu tamanho, forma, massa, velocidade, e o ponto de impacto. Impactos de fragmentos na cabeça ou em órgãos vitais são mais fatais que os impactos nos membros superiores e inferiores.

c. Os efeitos térmicos. Tratam-se de efeitos associados ao calor provocado pela energia associada à explosão, os quais são importantes apenas a uma distância relativamente curta, como é o caso de uma reacção onde a queima é lenta, por exemplo uma deflagração de explosivos da classe 1.3 (conforme definido pela ONU, ou seja, "Substâncias e artigos com risco de fogo e com pequeno risco de explosão ou de projecção, ou ambos, mas sem risco de explosão em massa"). No caso de uma explosão da classe 1.1 ("substância e artigos com risco de explosão em massa), os efeitos térmicos são geralmente de curta duração e o resultado em consequência disto é menos significativo que nos outros efeitos. Os efeitos térmicos podem ser primários e secundários. A área afectada pelo efeito térmico é geralmente menor do que as áreas atingidas pela OEA e pelos fragmentos.

d. Efeito sísmico. O efeito sísmico resulta da indução de vibrações na terra devido à explosão, diminuindo rapidamente com o aumento da distância do local do "epicentro". Os efeitos mais importantes e significativos acontecem quando ocorrem explosões num paiol subterrâneo. As consequências dos efeitos sísmicos são limitadas à zona onde ocorre a explosão, significando muitas vezes que as pessoas, edifícios ou equipamentos, geralmente não são expostos a níveis significativos dos efeitos sísmicos.

e. Propagação por simpatia. Os efeitos da propagação por simpatia (seja devido à onda de choque seja ao calor induzido no meio que rodeia) de uma explosão pode ser

transferida para outra, ou seja, observa-se quando provoca outras explosões simultâneas, potenciando um aumento dos efeitos totais. Em curtas distâncias, a propagação poderá ser feita por meio de radiação térmica, explosão e fragmentos. Além disso, os fragmentos e detritos projectados podem causar uma outra explosão a elevadas distâncias.

## 4. CONSEQUÊNCIAS DA OEA

### 4.5 Onda de Explosão Aérea

As explosões provocam um aumento brusco da pressão que se propaga através da OEA originando o deslocamento de uma massa de ar e gases. Na sua forma mais simples, a OEA é composta por duas fases que ocorrem sucessiva e de forma extremamente rápidas. Primeiro, uma onda de choque cria uma sobrepressão sobre o meio envolvente, significando um aumento súbito de pressão acima da pressão atmosférica e que irá determinar a forma da onda de choque. Quase instantaneamente, segue-se um decréscimo (com natureza logarítmica) até uma fase de pressão “negativa”. O efeito de pressão “negativa” (sucção) é a diminuição da pressão abaixo da pressão atmosférica, ocorrendo devido à contracção dos fluidos que expandiram na explosão para proporcionar o equilíbrio do sistema. Por fim, a tendência natural é a estabilização, atingindo-se novamente a pressão atmosférica.

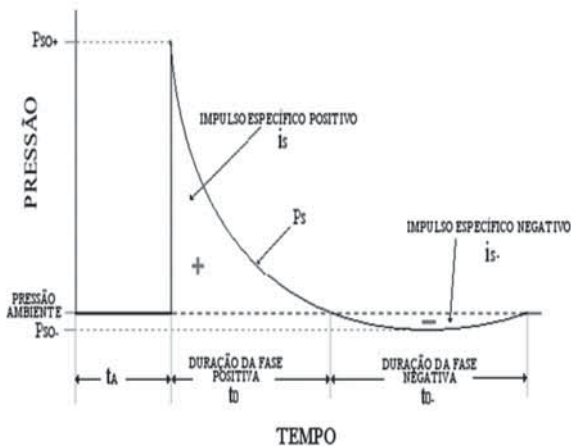


Figura 1: Parâmetros da OEA (Wilson, 2007)

De uma forma mais completa, o comportamento da pressão ao longo do tempo de uma OEA pode ser caracterizada através de parâmetros independentes, nomeadamente o tempo de chegada, duração da fase positiva, duração da fase negativa, pico de pressão e o impulso, como se representa na figura 1. Caracterizando cada um deles, o tempo de chegada ( $t_a$ ), é o tempo contado desde o instante da ignição, para atingir um determinado ponto, nomeadamente o ser humano que está a uma certa distância do epicentro da explosão. A

duração da fase positiva ( $t_0$ ) é o período de tempo que vai do início da passagem da OEA pelo alvo até ao instante em que a pressão desce para o valor da pressão atmosférica, antes de entrar no período da fase negativa. Esta fase é a que determina a capacidade da OEA em causar danos.. A duração da fase negativa ( $t_0^-$ ) é o período de tempo durante o qual a pressão é inferior à pressão atmosférica devido à expansão dos gases em expansão. Tal fenómeno provoca sucção no meio em redor. O pico de pressão ( $P_{SO+}$ ) é a pressão máxima exercida pela OEA contra o alvo.

Para causar danos a pressão máxima deve ser suficiente para vencer a resistência do alvo e deformá-lo, causando a fatalidade. Este valor, associado ao tempo de duração da fase positiva e ao formato da onda, será usado para calcular o impulso por unidade de área resultante da passagem da OEA, cujo valor corresponde à área entre a curva e a linha de pressão atmosférica durante a fase positiva, área esta que tem a forma triangular (ver figura 1). O impulso ( $i_s$ ) é uma medida que combina o pico de pressão com a duração da fase positiva. Essas duas grandezas combinadas proporcionam os efeitos letais nas pessoas, cujos trabalhos científicos são conhecidos como estudos de letalidade.

Para além dos parâmetros que caracterizam a OEA, uma característica encontrada é a reflexão da onda de pressão que ocorre quando o deslocamento de ar encontra um obstáculo, oferecendo resistência à sua propagação. Neste sentido, o solo será então uma destas estruturas que reflecte a onda de choque, principalmente quando o epicentro da explosão possui altura igual ou próxima de zero, ou seja, uma explosão aérea hemisférica.

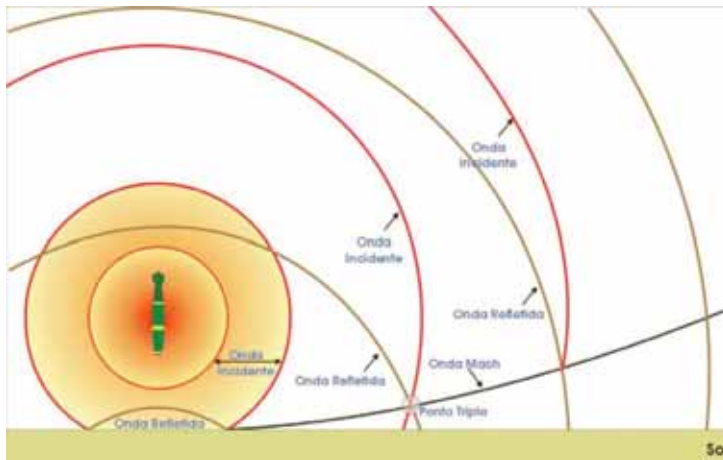


Figura 2: OEA hemisférica (Wilson, 2007)

A figura 2 apresenta graficamente a explosão a uma altura superior à do solo, em que a onda de choque incidente, de propagação esférica, é reflectida no solo. Em seguida esta onda encontra a onda incidente (onda Mach), gerando em consequência, uma terceira onda de choque, de intensidade maior que a onda incidente, originando aquilo que se chama o ponto triplo. Desta forma, da mesma maneira que a onda OEA reflecte no solo também reflecte nos alvos por onde esta passa, factor este de reflexão que depende do ângulo formado entre a onda e a superfície ou alvo.

#### 4.6 Consequências da OEA no ser humano

O corpo humano é muito resistente ao pico de pressão, uma vez que este é formado na sua grande parte por água, um fluido praticamente não compressível (a compressibilidade é uma característica física de gases e de líquidos). As lesões provocadas pela OEA têm lugar nas partes susceptíveis de serem esmagadas, ou seja, os espaços vazios no corpo, tais como os pulmões, canal auditivo, ou através da projecção do corpo. Uma das lesões fatais é a ruptura alveolar, isto é, lesões internas que afectam a zona torácica, nomeadamente, os pulmões, isto devido ao aumento brusco da pressão no interior dos alvéolos, o que provoca uma insuficiência respiratória aguda.

Uma lesão não letal da OEA é a possível ruptura dos tímpanos e consequente perda de audição e equilíbrio. No estudo da OEA, foram identificadas três categorias de lesões nos seres humanos relacionadas com uma explosão hemisférica. Estas categorias são:

- a. Efeitos primários ou lesões directas.
- b. Efeitos secundários ou lesões indirectas.
- c. Efeitos terciários.

Os efeitos primários ou lesões directas são originados pelo pico de pressão e duração da OEA causada pela explosão. Alguns órgãos humanos, tais como os ouvidos, pulmões, laringe, traqueia e a cavidade abdominal são os mais susceptíveis de lesão devido a este tipo de efeito explosivo. O grau da lesão é determinado pelas propriedades da OEA, como a onda incidente, a onda reflectida, a pressão dinâmica, a duração, o impulso, e também do valor do pico de pressão. Além disso, o nível das lesões sofridas depende ainda do tamanho da pessoa, peso, género e possivelmente da sua idade.

Os efeitos secundários ou lesões indirectas causadas pela OEA são devidos a um evento explosivo ou fragmentos produzidos por este evento. Os parâmetros que determinam o grau de lesão devido a este efeito são a massa, velocidade, forma, tamanho e o ângulo de impacto de cada fragmento. As lesões causadas por este efeito secundário são lacerações da pele, penetração nos órgãos vitais, traumatismos, fracturas ósseas e cranianas.

Os efeitos terciários são causados pelo deslocamento completo do corpo, ligado directamente à aceleração ou desaceleração quando submetido a uma elevada pressão ou quando sujeito a um impacto num obstáculo. Estes efeitos poderão originar lesões na cabeça, destruição de órgãos vitais e quebra de ossos. Na OEA o efeito do pico de pressão depende da orientação do corpo humano relativamente à onda de choque. Neste contexto consideram-se três tipos de orientação.

O primeiro tipo de orientação corresponde a um corpo humano num campo aberto, orientado paralelamente (de frente) à onda de choque. Neste caso não existe qualquer obstrução à onda incidente no contacto com a caixa torácica e o corpo é submetido totalmente à pressão da onda incidente.

O segundo tipo de orientação inclui corpo humano num campo aberto com o corpo orientado perpendicularmente (de lado) à onda de choque. Neste caso a onda incidente terá um menor efeito. Devido à menor dimensão do corpo sujeito à velocidade da onda de



choque, o pico de pressão na caixa torácica consiste na soma da pressão incidente e da dinâmica.

O último tipo de orientação abranje um corpo humano perto de uma superfície plana reflectora (parede), com a onda de choque a aproximar-se da parede com incidência normal. Neste caso o corpo é submetido à pressão reflectida.

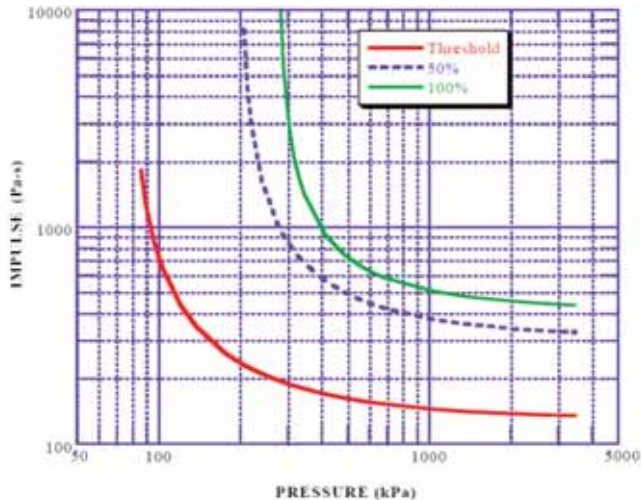


Figura 3: Diagrama Pressão - Impulso (AASTP-4, 2008)

Na figura 3 o US Defence Threat Reduction Agency (DTRA) (2), desenvolveu um diagrama pressão - impulso que representa globalmente e de uma forma simplificada a fatalidade sobre um ser humano devido à OEA.

Este diagrama de pressão - impulso, rapidamente poderá fornecer uma resposta relativamente à previsão das consequências, como lesões ou fatalidades nas pessoas, com um mínimo de informações (pressão e impulso incidente), mas pouco preciso relativamente ao valor da probabilidade real de ocorrer uma fatalidade.

## 5. CÁLCULO DOS EFEITOS DA OEA NO SER HUMANO

### 5.7 Método “TNT Equivalente”

O TNT é um explosivo muito utilizado a nível militar (Trinitrotolueno TNT é um explosivo que possui coloração amarelo pálido com ponto de fusão igual 81°C tem como fórmula química  $C_6H_2CH_3(NO_2)_3$ .) Por este ser um dos explosivos mais utilizados permitiu que, ao longo dos anos os seus efeitos tenham sido amplamente estudados e publicados. O método “TNT equivalente permite prever de uma forma rápida e directa, os danos infligidos pela OEA hemisférica numa explosão a partir da líquida massa de TNT, na qual é equivalente à massa líquida do explosivo utilizado, ou seja, esta equivalência de massas permite aferir que os danos infligidos.

A relação entre a massa líquida do explosivo e o seu equivalente massa líquida de TNT é dada pela seguinte expressão:

$$W_{TNT} = W_{exp} \times \frac{\Delta H_{exp}}{\Delta H_{TNT}} \quad (4)$$

Sendo conhecidos os calores de explosão específicos, vertidos no manual AASTP-4, obtém-se a seguinte relação:

$$W_{TNT} = W_{exp} \times f_c \quad (5)$$

Em que  $f_c$  é o factor de conversão que permite obter o massa equivalente TNT para os vários explosivos.

Desta forma a explosão de determinada quantidade massa líquida de explosivo equivalente TNT é estabelecida como standard para definir e comparar os efeitos da OEA hemisférica utilizando diversos compostos explosivos. A OEA gerada por vários explosivos é diferente entre estes, mesmo utilizando a mesma massa líquida, daí a necessidade da conversão das massas líquidas dos diversos explosivos para o equivalente TNT. Neste trabalho, os explosivos para os quais são calculados o equivalente TNT são: Composição B, RDX, PBXN-109, Tritonal, Composição C4, Tetril e o próprio TNT.

### 5.8 Cálculo dos Parâmetros da OEA Hemisférica

Após a explicação do significado da OEA, das componentes e efeitos, apresenta-se agora a forma de cálculo dos parâmetros da OEA hemisférica, que servem de base para a determinação das consequências físicas para o ser humano.

De uma forma simples, a equação utilizada para calcular os parâmetros da OEA hemisférica é a seguinte:

$$OEA = EXP(A + B \times [\ln(Z)] + C \times [\ln(Z)]^2 + D \times [\ln(Z)]^3 + E \times [\ln(Z)]^4 + F \times [\ln(Z)]^5 + G \times [\ln(Z)]^6) \quad (6)$$

Em que

- OEA representa o pico de pressão (kPa) e o impulso incidente (Pa-s),
- Z representa a distância reduzida dada em  $m/kg^{1/3}$ .
- A, B, C, D, E, F, G constantes, com valores diferentes conforme se determina o pico de pressão ou o impulso incidente, fornecidos no AASTP-4 [2], em função dos intervalos da distância reduzida.

O valor da distância reduzida baseia-se no pressuposto de Hopkinson em 1915, segundo o qual, quando duas cargas explosivas de geometria similar, do mesmo explosivo mas de dimensão diferente explodem na mesma atmosfera, produzem OEA hemisférica similares na mesma distância reduzida. Este princípio aplica-se a outros explosivos tendo em conta o facto

que várias explosões, mas com os mesmos valores do pico de pressão, gerarem o mesmo dano. Como o pico de pressão é em função da distância ao alvo e explosões distintas não têm o mesmo valor do pico de pressão, quando à mesma distância do epicentro da explosão, define-se a distância reduzida como aquela em que o valor do pico de pressão é o mesmo para as diferentes explosões. A distância reduzida relaciona-se assim com a distância real e com a massa de TNT equivalente mediante a lei da raiz cúbica. Assim, na fase inicial para a determinação dos parâmetros da OEA é necessário conhecer o valor da distância reduzida ( $Z$ ), onde a fórmula de cálculo é:

$$Z = \frac{d}{W_{TNT}^{\frac{1}{3}}} \quad (7)$$

Onde  $d$  é a distância (em metros) da pessoa ao epicentro da explosão,  $W_{TNT}$  é a massa líquida de explosivo equivalente TNT. Assim, relacionando com a equação (5), tem-se:

$$Z = \frac{d}{(W_{exp} \times f_c)^{\frac{1}{3}}} \quad (8)$$

Onde  $f_c$  corresponde ao factor de conversão para o equivalente TNT. Desta maneira é calculado o valor de  $Z$ , que é uma relação directa entre a distância real ao epicentro da explosão e a raiz cúbica da massa líquida de equivalente TNT. Após a introdução dos valores de  $d$  e  $W_{TNT}$ , o procedimento que foi concebido para a determinação dos efeitos da OEA no ser humano, irá gerar os resultados do pico de pressão e do impulso incidente.

### 5.9 Análise da Função Probit

Para realizar a quantificação das consequências da OEA hemisférica é necessário recorrer a uma função que relacione a magnitude do impacto da OEA hemisférica com o grau do dano causado, neste caso a fatalidade do ser humano sujeito à OEA hemisférica. O método utilizado para a obtenção destas respostas é a análise da função *probit* (probability unit), que a relaciona com a probabilidade. O *probit* é uma medida da percentagem na qual os seres humanos vulneráveis à OEA hemisférica, são submetidos a esta com determinada intensidade, originando um determinado grau de dano. A forma geral de uma função *probit* é a seguinte:

$$probit = a + b \times \ln(S) \quad (9)$$

Onde:

-  $a$  e  $b$  são constantes, determinadas experimentalmente a partir de informação precedente de acidentes ocorridos.

-  $S$  é uma variável, uma medida da intensidade dos parâmetros que causam a lesão no ser humano, neste caso o pico de pressão e o impulso incidente.

Este método, desenvolvido por Eisenberg em 1975, é na actualidade o melhor método para realizar uma estimativa das consequências de determinados danos nos seres humanos. Uma vez determinados os parâmetros da OEA hemisférica, os seus efeitos poderão ser previstos em termos de consequências para os seres humanos, através da utilização de funções *probit*. No presente trabalho considerou-se como factor da massa de uma pessoa 70 kg.

Para exemplificar, se um *probit* de determinada consequência é superior a 7,33, a probabilidade de fatalidade é de 1. Para um valor 4,88 de *probit*, a probabilidade de fatalidade correspondente é de 0,46. Os *probit* que são calculados para determinar as fatalidades devido à OEA hemisférica referem-se às lesões pulmonares, ao deslocamento ou impacto total do corpo e ao impacto da cabeça.

As fórmulas de cálculo para o procedimento são:

$$\text{a. Fatalidade por lesão pulmonar: } S = \frac{4,2}{P_{sc}} + \frac{1,3}{I_{sc}} \quad (10)$$

Onde  $P_{sc}$  é a pressão reduzida e  $I_{sc}$  é o impulso reduzido.

$$\text{Determina-se então } \textit{probit} \text{ que é dado por: } \textit{probit} = 5,00 - 5,74 \times \ln(S) \quad (11)$$

b. Fatalidade devido ao deslocamento/impacto total do corpo:

$$S = \frac{7280}{P_s} + \frac{1,3 \times 10^9}{P_s \times I_s} \quad (12)$$

Onde  $P_s$  é o pico de pressão e  $I_s$  é o impulso incidente.

$$\text{Determina-se então o } \textit{probit} \text{ que é dado por: } \textit{probit} = 5,00 - 2,44 \times \ln(S) \quad (13)$$

$$\text{c. Fatalidade devido ao impacto da cabeça: } S = \frac{2430}{P_s} + \frac{4,0 \times 10^8}{P_s \times I_s} \quad (14)$$

$$\text{Determina-se então o } \textit{probit} \text{ que é dado por: } \textit{probit} = 5,00 - 8,49 \times \ln(S) \quad (15)$$

A introdução destas fórmulas matemáticas irá gerar automaticamente resultados em termos de *probit*, que serão relacionados com a probabilidade de fatalidade.

### 5.10 Probabilidade da Fatalidade

Uma vez determinados os valores função *probit*, torna-se então necessário corresponder estes valores a uma determinada probabilidade de ocorrer a fatalidade no ser humano quando sujeito à OEA. Para a determinação da probabilidade de fatalidade devido a cada uma das consequências, usou-se a seguinte fórmula de cálculo:

$$P = \sqrt{\frac{0,5}{\pi}} \times e^{(-0,5 \times (\text{probit}-5))^2} \times (b_1 \times t + b_2 \times t^2 + b_3 \times t^3 + b_4 \times t^4 + b_5 \times t^5) \quad (16)$$

Onde  $b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$  são constantes e fornecidos no manual AASTP-4 [2]. O valor de  $t$  é obtido através da fórmula:

$$t = \frac{1}{1 + (x \times \text{abs}(\text{probit} - 5))} \quad (17)$$

Nesta fórmula  $x$  corresponde a uma constante, também fornecida no AASTP-4 [2] e *abs* tem por objectivo de transformar determinado resultado num valor absoluto. Conhecidos os valores de  $t$  e os *probit*, o procedimento gera os resultados relativamente à probabilidade de determinado efeito da OEA produzir ou não fatalidades. Quando o valor da probabilidade é inferior a 0 aparece a informação “Não Letal”, quando a probabilidade de fatalidade é 1 a informação gerada é “Fatal”, significando que a probabilidade de morte é de 100%.

### 5.11 Interpretação e Demonstração do Procedimento

Baseado no formalismo anterior, criou-se um procedimento de cálculo automático para determinar, segundo determinadas especificação de explosão a probabilidade de ocorrer fatalidade no ser humano, quando exposto à OEA hemisférica.

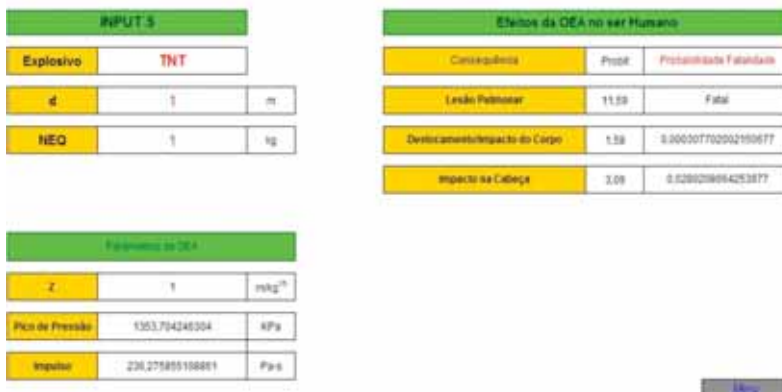


Figura 4: Cálculo referente ao TNT.

Na figura 4 mostra-se o cálculo que quantifica a probabilidade de ocorrer a fatalidade. O único local cujos parâmetros são introduzidos encontra-se no campo dos “INPUT’S”, onde se introduz o explosivo em questão, a distância ao epicentro da explosão e a massa líquida de explosivo.

Com esses dados, são gerados os resultados automaticamente, nomeadamente os parâmetros da OEA hemisférica e o mais importante, os efeitos no ser humano. Observando a figura, observa-se que um ser humano exposto à OEA hemisférica de 1 kg de TNT, à distância de 1 metro, morre devido a lesão pulmonar, e tem 0,03% de probabilidade de morrer devido ao deslocamento ou impacto do corpo, e 2,8% de probabilidade de morrer devido ao impacto na cabeça.

Observando a figura 5, apesar do ser humano estar à mesma distância com a mesma massa líquida de explosivo, mas mudando o explosivo para RDX, verifica-se que existe uma total alteração dos parâmetros da OEA hemisférica. Nesta situação, o ser humano morre também devido a lesão pulmonar, mas as restantes consequências alteram-se, obtendo-se 37,2 % de probabilidade de letalidade devido ao impacto na cabeça e 0,15% de probabilidade de letalidade devido ao deslocamento do corpo.

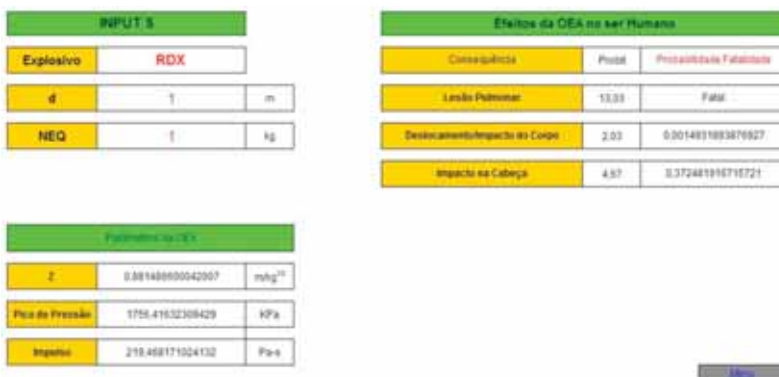


Figura 5: Cálculo referente ao RDX.

## 6. CONCLUSÕES

Este trabalho tem incluído a criação de um procedimento fundamentado no AASTP-4 [2], que permite determinar os efeitos letais que a OEA hemisférica pode provocar nos seres humanos. Este procedimento, inovador no seio da Força Aérea, incorpora metodologia acessível, permitindo a partir da quantificação do material explosivo armazenado quantificar os efeitos letais no ser humano, devido à OEA hemisférica. A concepção do procedimento é um pequeno passo para a construção de uma ferramenta final de Gestão de Risco Operacional, no âmbito da gestão dos explosivos e munições. A fatalidade decorrente de OEA pode sê-lo de forma indirecta devido à projecção de fragmentos pelo que a tomada de decisão deve incluir este tipo de dano no ser humano. Cabe ainda salientar que a determinação da probabilidade de

fatalidade é complexa, não sendo consensual no seio das nações da NATO, pelo que o cálculo desta probabilidade de fatalidade. Este argumento é comprovado pelo AASTP-4 [2], um manual ainda não ratificado pelo Estado português, mas que foi a base para a elaboração deste trabalho.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- [1] **AASTP-1 - Manual of NATO Safety Principles for Storage of Military Ammunition and Explosives**, Edition 1, NATO International Staff – Defence Investment Division, Maio 2006;
- [2] **AASTP-4 - Manual on Explosives Safety Risk Analysis**, Edition 1, NATO International Staff – Defence Investment Division, Novembro 2008;
- [3] **User's Reference Manual for the Safety Assessment For Explosives Risk Software**, Department of Defense Explosives Safety Board, Alexandria, Julho 2009;

# A Avaliação de Desempenho na Administração Pública

## O SIADAP 3 e a sua Influência na Motivação dos Trabalhadores Civis da Força Aérea



Autoras:

Eunice Barreto, Tenente Aluna da Licenciatura em Pessoal e Apoio Administrativo  
Otilia Manso, Aspirante Aluna da Licenciatura em Pessoal e Apoio Administrativo  
Academia da Força Aérea

Orientador: Paes de Carvalho, Major Técnico de Pessoal e Apoio Administrativo  
Direcção de Pessoal  
Força Aérea



**Resumo.** A avaliação de desempenho apresenta-se como sendo um mecanismo privilegiado na gestão dos recursos humanos nas organizações. A importância atribuída ao seu impacto na produtividade levou ao repensar dos sistemas de avaliação de desempenho. Tendo em consideração o impacto decisivo que a Administração Pública (AP) tem na competitividade e sustentabilidade da economia nacional, esta foi alvo de uma profunda reforma, constituindo-se a avaliação de desempenho na AP como um dos pontos-chave dessa reforma. Neste contexto, foi criado o Sistema Integrado de Gestão e Avaliação do Desempenho na Administração Pública (SIADAP) que visa a melhoria do desempenho e a promoção da motivação dos recursos humanos que a integram. Procurou-se, então, analisar quais as implicações, resultantes da implementação do Subsistema de Avaliação do Desempenho do Trabalhadores da Administração Pública (SIADAP 3), ao nível da motivação dos trabalhadores da AP que prestam serviço na Força Aérea, mediante a aplicação de um questionário aos trabalhadores civis. A análise dos dados recolhidos permitiu concluir que os trabalhadores não possuem uma percepção positiva do sistema de avaliação de desempenho em causa; contudo, tal não tem influência na sua motivação.

**Palavras-Chave:** SIADAP, Administração Pública.

## 1. INTRODUÇÃO

A avaliação de desempenho é um aspecto muito importante e sensível da gestão organizacional. Tendo em conta que o sucesso de qualquer organização depende em grande medida do desempenho dos seus colaboradores, é fundamental que o sistema de avaliação seja adequado, espelhando de forma objectiva a medição e reconhecimento deste desempenho. Esta premissa é também válida quando consideramos o contexto particular da Administração Pública (AP).

As diferentes pressões de índole económica, financeira, ideológica e política, levaram a repensar os modelos de gestão pública e à introdução de reformas estruturais profundas da AP não tendo Portugal ficado alheio a esta necessidade. Acolhendo novas perspectivas de gestão orientadas para a eficiência e para a responsabilização da acção administrativa, houve necessidade de uma mudança na lógica da gestão dos recursos humanos que integram a AP Portuguesa. O Sistema Integrado de Gestão e Avaliação do Desempenho na Administração Pública (SIADAP), instituído pela Lei n.º 66-B/2007 [1], constituiu-se como um dos instrumentos privilegiados de aplicação da reforma administrativa, procurando incutir e reforçar a cultura do mérito, da responsabilidade e da qualidade na AP.

Para além dos militares que integram as fileiras da FA, esta instituição conta também com o contributo de trabalhadores civis para o cumprimento da sua missão, razão pela qual a opção por este tema constitui uma oportunidade de investigação de um aspecto particular da instituição militar, que converge num universo muito mais abrangente que é o da Administração Pública e da sua reforma.

No artigo 6.º da Lei n.º 66-B/2007 [1] são enunciados os objectivos globais do SIADAP e, tendo em conta o objectivo enunciado na alínea d) desse artigo: “Promover a motivação e o desenvolvimento das competências e qualificações dos dirigentes e trabalhadores, favorecendo

a formação ao longo da vida”; pelo que faz sentido investigar até que ponto o SIADAP, particularmente o subsistema SIADAP 3, consegue de facto promover a motivação profissional dos trabalhadores da Força Aérea.

Existe uma estreita relação entre motivação e desempenho e, a importância do desempenho individual e a sua correcta avaliação é um aspecto crítico na gestão dos recursos humanos nas organizações, contribuindo de forma definitiva para o seu sucesso. Julgamos que tanto a instituição como os próprios trabalhadores civis, poderão beneficiar com a realização deste trabalho, na medida em que este poderá contribuir para a identificação de eventuais dificuldades no processo de avaliação e sensibilização para as diferentes percepções que os trabalhadores têm sobre o sistema.

## 2. OBJECTIVO

De acordo com o enquadramento acima, o presente artigo visa, a partir do Subsistema de Avaliação do Desempenho dos Trabalhadores da Administração Pública (SIADAP 3), apresentar os resultados das implicações da sua implementação na Força Aérea (FA), particularmente ao nível da motivação dos trabalhadores da AP que nela prestam serviço.

## 3. METODOLOGIA

Para compreender um fenómeno, é essencial que este seja analisado no contexto real no qual ocorre, daí a opção pelo estudo de caso. O objecto deste estudo é a Avaliação de Desempenho na Administração Pública, restringindo-se ao SIADAP 3 na FA. Relativamente a este subsistema, pretendeu-se estudar a vertente motivacional da avaliação de desempenho dos trabalhadores.

Tendo em conta que um dos objectivos do SIADAP consiste na promoção da motivação profissional dos trabalhadores e, sabendo que esta está relacionada com melhores desempenhos, afigurou-se importante estudar em que medida este objectivo estava a ser atingido. Assim, o objectivo geral que orientou a investigação consistiu em compreender de que forma o SIADAP 3 influencia a motivação dos trabalhadores civis na Força Aérea. Dentro do objectivo geral enunciaram-se um conjunto de objectivos específicos, directamente relacionados, que o complementam. Estes objectivos relacionam-se com a análise da estrutura, implementação e efeitos do SIADAP 3 e com a percepção que os próprios trabalhadores têm desses aspectos.

Recorrendo ao método de Investigação em Ciências Sociais desenvolvido por Raymond Quivy e Luc Van Campenhout [2], foi formulada a pergunta de partida que serviu de fio condutor a esta investigação:

**Qual o impacto da implementação do SIADAP 3 na motivação dos trabalhadores na Força Aérea?**

Para responder a esta pergunta, tornou-se necessário decompô-la em questões derivadas a saber:

**Questão 1** – Qual a percepção que os trabalhadores da FA têm do SIADAP 3?

**Questão 2** – Qual a influência que a implementação do SIADAP 3 teve no desempenho dos trabalhadores da FA?

**Questão 3** – Qual a importância que os trabalhadores da FA atribuem aos efeitos da avaliação previstos pelo SIADAP 3?

No decurso do trabalho de investigação, foram levantadas três hipóteses de investigação, que se consubstanciam em respostas às três perguntas derivadas que concorrem para a resposta à questão de partida. As hipóteses em discussão são as seguintes:

**Hipótese 1 (H1):** O SIADAP 3 é percebido de forma positiva pelos trabalhadores.

**Hipótese 2 (H2):** A implementação do SIADAP 3 contribuiu para a melhoria do desempenho dos trabalhadores.

**Hipótese 3 (H3):** Os efeitos da avaliação mais valorizados pelos trabalhadores são de carácter pecuniário.

O questionário, enquanto técnica de recolha de dados, apresentou-se como o instrumento mais adequado para o desenvolvimento desta investigação, subdividindo-se em três partes específicas:

**Parte I – “Caracterização pessoal”,** onde se incluíram variáveis de caracterização dos sujeitos, tais como o sexo, a idade, as habilitações académicas, a carreira a que pertencem e os anos de serviço na organização.

**Parte II – “Motivação e Satisfação profissional”,** na qual se procedeu à auscultação do grau de importância que os indivíduos atribuem a várias dimensões da satisfação profissional, no sentido de perceber o que motiva cada indivíduo. Procurou-se também avaliar o grau de satisfação dos colaboradores com vários aspectos relacionados com a organização, as opções de gestão e o seu envolvimento.

**Parte III – “SIADAP”,** em que se questionou os trabalhadores no sentido de perceber o que representou para estes a implementação do SIADAP na FORÇA AÉREA, qual a sua percepção acerca deste sistema e o que valorizam ao nível dos efeitos que produz.

#### 4. CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

O presente estudo centrou-se no universo dos trabalhadores da Administração Pública que prestam serviço na FORÇA AÉREA, mais particularmente naqueles que integram as carreiras gerais, uma vez que só a estes se aplica o SIADAP 3.

Segundo o Relatório Anual de 2009 elaborado pela Repartição de Pessoal Civil (RPC) da Direcção de Pessoal (DP) da Força Aérea, em conformidade com a Lei n.º 66-B/2007, de 28DEZ [1], o número de efectivos nas carreiras gerais é de 15 Técnicos Superiores, 246 Assistentes Técnicos e 846 Assistentes Operacionais, o que perfaz um universo total de 1.107 trabalhadores avaliados através do SIADAP 3.

A amostra consistindo numa parte da população que se pretendia representativa do universo acima referido, foi constituída pelos 285 indivíduos que efectivamente responderam aos questionários. Tendo em conta a sua distribuição por carreira, foi possível inquirir 7 Técnicos Superiores, 77 Assistentes Técnicos e 201 Assistentes Operacionais.

Em termos de género, a amostra caracterizou-se por um relativo equilíbrio entre o género feminino e masculino, sendo que dos 285 inquiridos, 114 eram homens e 171 eram mulheres.

Relativamente à idade dos trabalhadores, salienta-se um claro envelhecimento, evidenciado pelo número significativo de indivíduos cuja idade se situava no intervalo entre 51 e 60 anos, característica que se coaduna com o aumento da idade de reforma e com as limitações de admissões de trabalhadores na AP.

Quanto ao nível de escolaridade dos indivíduos inquiridos, a maior percentagem (30,5%) registou-se no nível habilitacional mais baixo, correspondente ao 1º ciclo. A percentagem acumulada dos indivíduos cujas habilitações literárias correspondiam aos três níveis mais baixos, 1º, 2º e 3º ciclo, é de 67%, correspondendo a mais de metade dos inquiridos.

A maior frequência registada nestes níveis de escolaridade é condizente com o facto do maior número de inquiridos pertencer à carreira de Assistente Operacional e também com a sua antiguidade na organização.

Em relação ao tempo de serviço, as percentagens mais elevadas registaram-se no intervalo de 21 a 30 anos de serviço (47%) e no intervalo de mais de 30 anos de serviço (27,7%), o que aponta para a estabilidade do capital humano na Força Aérea.

O tempo de serviço que agrupa mais indivíduos (21 a 30 anos) está em sintonia com a faixa etária predominante (entre 51 e 60 anos).

#### 5. DISCUSSÃO DAS HIPÓTESES

Para a discussão da primeira hipótese (H1): **O SIADAP 3 é percebido de forma positiva pelos trabalhadores**, inquiriu-se os trabalhadores acerca da sua opinião sobre o SIADAP em comparação com o sistema de avaliação anterior, sobre as finalidades do sistema e sobre a sua satisfação relativamente a determinados aspectos organizacionais.

O resultado encontra-se descrito na tabela 1.

**Tabela 1:** Opinião sobre o SIADAP face ao sistema anterior

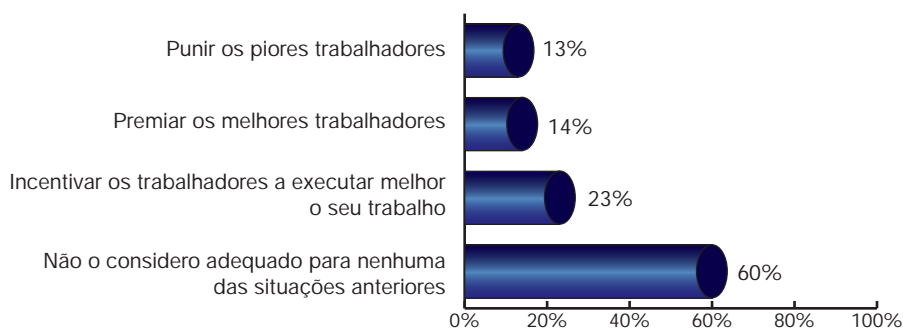
<i>O que pensa do SIADAP em comparação com o sistema de avaliação anterior?</i>	Frequências (n=282)
1. Não conheço o SIADAP.	39
2. Considero-o mais adequado do que o sistema anterior, porque permite reconhecer o mérito demonstrado pelos trabalhadores.	40
3. Considero-o injusto, porque nem todos os funcionários podem ser avaliados com Desempenho Relevante ou Excelente.	152
4. Não encontro diferenças entre os dois regimes que provoquem alterações na forma de executar o meu trabalho.	36
5. Outra opção.	15

Da análise de conteúdo dos comentários extraídos mediante a escolha de outra opção de resposta, encontrou-se um padrão alternativo de resposta que complementa a 3ª opção: “Considero o sistema injusto, porque nem todos os funcionários podem ser avaliados com Desempenho Relevante ou Excelente”.

A ideia recorrente destas respostas é a mesma patente naquela opção mas acrescenta a falta de objectividade como justificação. Para além de considerarem o sistema de quotas em si injusto, os trabalhadores encaram negativamente o facto de ele condicionar a progressão na carreira e apontam a falta de objectividade e transparência no processo de avaliação como um aspecto negativo.

Relativamente às finalidades do SIADAP, verificou-se que mais de metade dos trabalhadores (61%) não consideram o SIADAP adequado para nenhum dos fins apresentados nas opções de resposta.

De facto a percentagem mais significativa de respostas que se segue é de 23% que considera o SIADAP adequado para incentivar os trabalhadores a executar melhor o seu trabalho - ver figura 1.



**Figura 1:** Finalidades do SIADAP

A opinião dos trabalhadores sobre as finalidades para as quais consideram o SIADAP adequado, também permite compreender qual a sua percepção sobre o sistema, contribuindo para verificar H1. O SIADAP visa desenvolver uma cultura de mérito e excelência na AP, contudo

a apenas 14% dos inquiridos o consideraram adequado para premiar os melhores trabalhadores e, 23% consideraram-no adequado para incentivar a melhorar o seu desempenho. A maioria dos trabalhadores não considera o SIADAP adequado para nenhum dos fins apresentados.

Relativamente à forma como correu a implementação do SIADAP na Força Aérea, apenas 48% dos inquiridos emitiu opinião. Da análise do conteúdo das 149 respostas registadas, encontraram-se quatro ideias fundamentais.

Um número significativo de trabalhadores apresenta uma opinião negativa, não do processo de implementação do SIADAP na Força Aérea, mas do sistema em si e do facto de, mediante a sua obrigatoriedade, não ter havido possibilidade de uma implementação incrementada.

Outros consideram ainda que, existe uma cultura de favorecimento junto de certas chefias na organização. Muitos acham que a Força Aérea geriu de forma adequada a implementação do sistema, enquanto que, um grupo mais reduzido de indivíduos, alega falta de informação e esclarecimentos.

Na resposta a esta questão aberta, os inquiridos pronunciaram-se não só acerca do processo de implementação do sistema, mas sobretudo sobre o próprio sistema, reiterando a opinião negativa que têm do mesmo.

Na questão 3, procurou-se avaliar o grau de satisfação dos trabalhadores em relação a diversos aspectos organizacionais, concorrentes para a sua motivação, de acordo com uma escala de 1 a 4.

A tabela 2 apresenta os respectivos resultados.

**Tabela 2:** Frequências por nível de satisfação (n=285)

Aspectos organizacionais	1 Nada satisfeito	2 Pouco Satisfeito	3 Satisfeito	4 Muito satisfeito	Não respondeu
1. Contributo para o desempenho global da organização	0	7	139	135	4
2. Envolvimento e participação em actividades de melhoria e desenvolvimento	3	21	148	109	4
3. Tipo de comunicação efectuada pelas chefias	5	31	148	98	3
4. Forma como são fixados os objectivos individuais e comuns na organização	31	63	132	48	11
5. Sistema de avaliação de desempenho relativamente aos objectivos fixados	53	76	107	43	6
6. Sistema de recompensas dos esforços individuais e de grupo	49	77	104	41	14
7. Qualidade das relações interpessoais entre colegas, funcionários e chefias	3	25	142	110	5
8. Oportunidade para o desenvolvimento de novas competências profissionais	54	79	97	48	7

Aspectos organizacionais	1 Nada satisfeito	2 Pouco Satisfeito	3 Satisfeito	4 Muito satisfeito	Não respondeu
9. Igualdade de tratamento dentro da organização	34	84	110	52	5
10. Tarefas desempenhadas na organização	6	17	149	110	3
11. Reconhecimento do trabalho pelos superiores	35	55	106	86	3

Verificou-se que o maior número de respostas corresponde à escolha do nível 3 *satisfeito*. Observa-se ainda que, a segunda maior frequência apresenta uma variação positiva traduzida na escolha do nível 4 *Muito satisfeito* e uma variação negativa traduzida na escolha do nível 2 *Pouco satisfeito*.

Desta forma as médias globais da importância atribuída a cada um dos aspectos organizacionais considerados, em geral aproximam-se do valor 3 conforme podemos observar da tabela 3, sendo que as médias mais baixas reflectem a variação negativa acima referida.

**Tabela 3:** Médias da importância atribuída aos aspectos organizacionais

Aspectos organizacionais	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º	11º
Média	3,46	3,29	3,20	2,72	2,50	2,51	3,28	2,50	2,64	3,29	2,86

Quando se analisa a satisfação dos trabalhadores relativamente aos 11 aspectos organizacionais, verifica-se através da frequência das respostas que os aspectos com os quais eles se apresentavam menos satisfeitos estão relacionados com o sistema de avaliação de desempenho.

A forma como os objectivos são fixados o sistema de avaliação de desempenho face a esses objectivos o sistema de recompensas a oportunidade de desenvolvimento de competências e a igualdade de tratamento são os aspectos em que se registou uma média de satisfação mais baixa.

Conjugando este dado com a opinião dominante que considera o SIADAP injusto, é possível inferir que a percepção dos trabalhadores não pode ser positiva. Assim, considerando H1 concluiu-se, mediante a análise acima referida, que esta hipótese é falsa.

Relativamente à segunda hipótese (H2):

**A implementação do SIADAP 3 contribuiu para a melhoria do desempenho dos trabalhadores,** considerámos os dados relativos à questão 2 da Parte III

Na questão 2, respeitante às mudanças que a implementação do SIADAP trouxe para o trabalho dos inquiridos, 6 deles não apresentaram qualquer resposta, o que corresponde a 2,1%. Tendo em conta as respostas efectivamente dadas,

- 53% dos trabalhadores afirmou que não mudou nada;
- 12,2% respondeu que se preocupou em alcançar os objectivos definidos para não serem penalizados;
- 22,2% procurou melhorar o seu desempenho para obter boa classificação e progredir mais depressa na carreira;
- 6,8% afirma que reforçou a ajuda aos colegas para que o meu sector atingisse objectivos partilhados e prestasse serviços de qualidade.

As frequências das respostas referentes a cada opção, são as constantes na tabela 4.

**Tabela 4:** Mudanças resultantes da implementação do SIADAP

<i>O que é que mudou no seu trabalho com a implementação do SIADAP?</i>	Frequências (n=279)
1. Não mudei nada.	148
2. Preocupei-me em alcançar os objectivos que me foram definidos para não ser penalizado.	34
3. Procurei melhorar o meu desempenho para obter boa classificação e progredir mais depressa na carreira.	62
4. Reforcei a ajuda aos colegas para que o meu sector atinja objectivos partilhados e preste serviços de qualidade.	19
5. Outra opção.	16

Os trabalhadores que escolheram outra opção de resposta à pergunta correspondem a 5,7%. Da análise do conteúdo dessas respostas, observa-se que os inquiridos complementam a 1ª opção de resposta: “Não mudei nada”, acrescentando uma justificação. Esta justificação prende-se com o facto de, na sua opinião, não ter havido necessidade de ajustamento após a implementação do SIADAP, uma vez que o seu desempenho se pautava já pelo profissionalismo e qualidade. Os trabalhadores afirmam que independentemente do sistema de avaliação, sempre deram o seu melhor em prol da organização e continuá-lo-ão a fazer.

No que concerne à segunda hipótese, é necessário ter em conta que, como referido anteriormente no enquadramento teórico, a criação e implementação SIADAP, como instrumento de reforma da AP, visava produzir mudanças na actuação e na gestão dos recursos humanos que a integram. O sistema anterior, demasiado inflacionado, não reflectia de forma objectiva o desempenho dos trabalhadores na avaliação do mesmo. Baseando-se numa filosofia de gestão por objectivos pretendia-se conseguir uma melhoria do desempenho, o que implicava uma mudança de comportamentos.

Mediante as respostas obtidas na questão respeitante às mudanças que a implementação do SIADAP gerou no desempenho dos trabalhadores, verificou-se que a maioria (53%) afirma não ter mudado nada no seu trabalho. Cumulativamente, 5,7% dos trabalhadores escolheram outra opção de resposta, na qual corroboram esta ideia. Os trabalhadores afirmam que não mudaram nada porque, independentemente da implementação deste sistema, o seu desempenho era já de qualidade.



É de considerar também o facto de que uma parte dos trabalhadores (12,8%), na questão referente à opinião sobre o SIADAP (questão 1 da Parte III), afirmou que este regime, face ao anterior, não apresenta diferenças que levem a alterações no seu desempenho. Apesar de ser uma percentagem relativamente baixa, ela suporta a ideia de que os trabalhadores reconhecem não ter alterado o seu desempenho.

Da análise dos resultados acima apresentados, deduz-se que, segundo a opinião dos trabalhadores, a implementação do SIADAP não surtiu alterações no seu desempenho. Assim, no que concerne a H2 somos levados a concluir que esta hipótese é falsa uma vez que, não existindo mudanças na actuação dos trabalhadores, não pode ter havido melhorias no seu desempenho.

Na análise da terceira hipótese (H3):

**Os efeitos da avaliação mais valorizados pelos trabalhadores são de carácter pecuniário**, considerámos os dados relativos à questão 2 da Parte II e à questão 5 da Parte III.

Na questão 2 foi solicitado aos trabalhadores que classificassem um conjunto de aspectos que representam várias dimensões relativas à sua satisfação profissional, de acordo com uma escala em que o grau 1 corresponde à opção *Nada importante*, o 2 a *Pouco importante*, o 3 a *Importante* e o 4 a *Muito importante*.

Tendo em conta a média das respostas relativas a cada um dos oito aspectos considerados, não existe uma grande discrepância entre os valores. No geral, os trabalhadores consideram que todos os aspectos são importantes para a sua satisfação profissional. De entre a média das respostas, que se situa entre o 3 e o 4, a *estabilidade no emprego* é o aspecto que regista a média mais próxima do valor 4, correspondente ao grau *Muito importante* e, o *status e prestígio socioprofissional* o que regista a média mais próxima do valor 3, correspondente ao grau *Importante*, conforme se pode ver na figura 2.

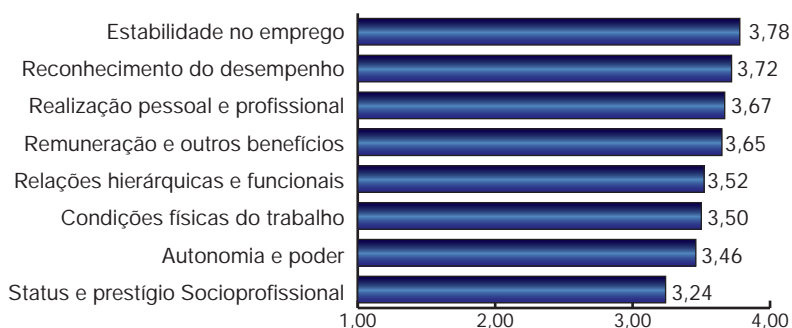


Figura 2: Médias de importância de aspectos da satisfação profissional

Uma vez que os indicadores estão ligados a diferentes motivações realizou-se uma análise factorial com o objectivo de encontrar diferentes componentes que estruturam as respostas dos inquiridos. Recorrendo ao programa comercial SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*), obteve-se a matriz de correlações apresentada na tabela 5, que

permitiu identificar dois componentes: o componente 1 agrega cinco factores: Relações de trabalho hierárquicas e funcionais; *Status* e Prestígio Socioprofissional; Realização pessoal e profissional; Autonomia e poder e Reconhecimento do desempenho; O componente 2 inclui dois factores: Remuneração e outros benefícios e Estabilidade no emprego. O factor: Condições físicas do trabalho, contribui para a identificação dos dois componentes.

	Componentes	
	1	2
Relações de trabalho hierárquicas e funcionais	,774	
<i>Status</i> e Prestígio Socioprofissional	,730	
Realização pessoal e profissional	,665	
Autonomia e poder	,631	
Reconhecimento do desempenho	,598	
Condições físicas do trabalho	,558	,490
Remuneração e outros benefícios		,856
Estabilidade no emprego		,792

Extraction Method: Principal Component Analysis.  
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.  
a. Rotation converged in 3 iterations.

Tabela 5. Matriz de correlações entre 8 aspectos da satisfação profissional

Da análise factorial efectuada relativamente à importância de 8 aspectos da satisfação profissional, resultaram dois componentes que estruturam as respostas dos trabalhadores. O componente 1 agrega variáveis que traduzem uma motivação de cariz intrínseco, tais como, as relações de trabalho, a realização pessoal, a autonomia e o reconhecimento. O componente 2 inclui factores de ordem extrínseca, tais como a remuneração e benefícios e a estabilidade. De acordo com a teoria de Herzberg, os primeiros factores geram satisfação e os segundos evitam a insatisfação. Embora se verifique esta estruturação nas respostas obtidas, o grau de importância que os indivíduos atribuem a uns e outros aspectos é relativamente semelhante. Não se verifica uma maior valorização dos aspectos extrínsecos da motivação.

Esta inexistência de diferenciação está também patente nos resultados relativos à importância que os trabalhadores atribuem aos diferentes efeitos da avaliação. Na pergunta 5, foi pedido aos trabalhadores para classificarem os efeitos da avaliação previstos pelo SIADAP, de acordo com a importância que lhe atribuem. Foi utilizada a escala de importância: **1 Nada importante; 2 Pouco importante; 3 Importante; 4 Muito importante.**

Analisando as frequências das respostas e considerando o número de abstenções os seguintes resultados relativamente à importância dos efeitos estão definidos na tabela 6:

**Tabela 6:** Frequências por grau de importância atribuída aos efeitos da avaliação

EFEITOS DA AVALIAÇÃO	1 Nada Importante	2 Pouco Importante	3 Importante	4 Muito Importante	Não respondeu
1. Desenvolver aptidões pessoais e profissionais.	18	34	99	124	10
2. Frequentar cursos/acções de formação	22	28	100	120	15
3. Melhorar as capacidades e formas de trabalhar	19	34	107	107	18
4. Melhoria ou alteração do posto de trabalho	22	43	116	85	19
5. Receber prémios de desempenho	27	41	104	93	20
6. Alterar a remuneração	30	17	85	136	17

Tendo em conta que as frequências mais elevadas se concentram nos níveis 3 (Importante) e 4 (Muito Importante) as médias das respostas relativas a cada um dos seis efeitos da avaliação, são as apresentadas na tabela 7.

**Tabela 7:** Frequências por grau de importância atribuída aos efeitos da avaliação

Efeitos da Avaliação	1°	2°	3°	4°	5°	6°
Média	3,20	3,18	3,13	2,99	2,99	3,22

Como se pode verificar a média das respostas ronda o valor 3 que corresponde à menção *Importante*, ou seja, relativamente aos efeitos da avaliação apresentados, os trabalhadores consideraram-nos todos importantes.

Ainda que a alteração da remuneração se apresente como um dos efeitos mais valorizados, tendo em conta as médias das respostas, os trabalhadores atribuem um grau de importância similar aos outros efeitos previstos. Verificou-se a concretização de uma das premissas da teoria ERG de Alderfer que prevê a possibilidade de uma pessoa se sentir motivada em simultâneo por necessidades de diferentes categorias.

Embora a Força Aérea tenha vindo a aplicar os efeitos da avaliação de desempenho de carácter pecuniário, ou seja, a alteração de posicionamento remuneratório dos trabalhadores e a atribuição de prémios de desempenho, verificou-se que os trabalhadores não distinguem estes efeitos, em termos de importância, dos demais previstos para a avaliação de desempenho.

Mediante estes resultados, podemos concluir que H3 é falsa, ou seja, os efeitos da avaliação de carácter pecuniário não são os mais valorizados pelos trabalhadores.

Através da análise dos resultados dos inquéritos, discutimos as nossas três hipóteses acabando por refutá-las. De forma a responder à nossa pergunta de partida, interessa ainda verificar qual o grau de importância que os trabalhadores atribuem à motivação para a qualidade do desempenho e se na verdade eles se sentem motivados para a execução do seu trabalho.

A questão 1 da Parte II permitiu aferir qual a importância que os trabalhadores atribuem à motivação para um bom desempenho, dentro de uma escala gradativa composta por quatro opções, extrairam-se os dados constantes na figura 3.

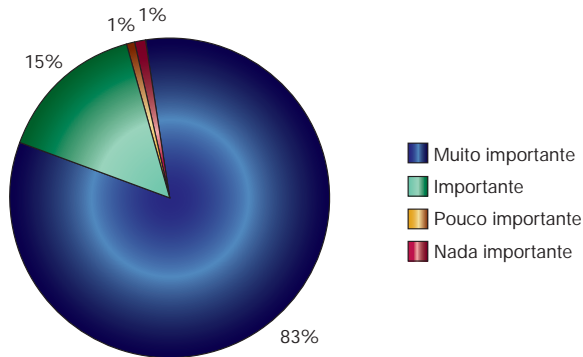


Figura 2: Importância da motivação para a qualidade do desempenho

Da análise do gráfico, verifica-se que a maior percentagem dos trabalhadores respondeu que considera a motivação muito importante para a qualidade do desempenho.

No que concerne ao nível de motivação dos trabalhadores, extraíram-se os dados relativos à pergunta 6, na qual se sondou os trabalhadores acerca da forma como se sentiam em termos de motivação para a realização do seu trabalho.

As percentagens de resposta correspondentes à escolha das diferentes opções estão expressas na figura 4.

Agrupando as respostas correspondentes a *Motivado* e *Muito Motivado*, verificamos que a maior percentagem, 69%, corresponde a estas duas primeiras opções. Apenas 29% dos trabalhadores escolheu as opções *Pouco Motivado* e *Nada Motivado*, o que nos permite aferir um nível de motivação positivo na generalidade dos trabalhadores.

Desta forma, considerando todas as hipóteses refutadas e um nível de motivação positivo na maioria dos trabalhadores, poderá responder-se à nossa pergunta de partida: “Qual o impacto da implementação do SIADAP 3 na motivação dos trabalhadores na Força Aérea?” Concluímos que a implementação do SIADAP 3 na FORÇA AÉREA não teve impacto na motivação dos trabalhadores. Tendo em conta que a motivação se traduz numa influência que direcciona o comportamento dos indivíduos para o alcance dos objectivos, verificou-se que mediante a informação recolhida, o SIADAP 3 não provocou alterações que traduzam essa influência.

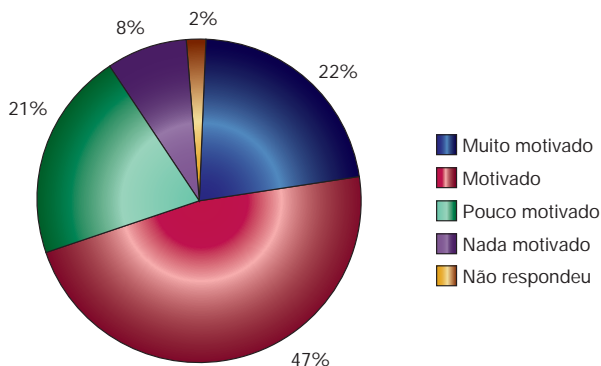


Figura 3: Médias de importância de aspectos da satisfação profissional

Para além de uma influência na direcção do comportamento, a motivação expressa também a intensidade do mesmo. Mediante a ausência de mudança na actuação dos trabalhadores, verificamos que não houve um incremento no esforço despendido. As expectativas dos trabalhadores relativamente ao reconhecimento do seu desempenho como *Relevante* ou *Excelente* são baixas, principalmente devido ao sistema de quotas, e a importância que eles atribuem aos efeitos da avaliação não os diferencia ou sobrevaloriza. Mediante esta situação, depreende-se que a motivação dos trabalhadores se manteve inalterada apesar da implementação do SIADAP.

Apesar de percepcionarem o sistema como injusto, tal não se manifesta negativamente na motivação dos trabalhadores para a realização do seu trabalho, ou seja, para a consecução dos objectivos, sendo que a maioria dos trabalhadores considera que se sente motivado. Este facto permitiu concluir que a motivação dos trabalhadores não é condicionada pelo sistema de avaliação de desempenho.

## 6. CONCLUSÕES

Dado que um dos objectivos globais enunciados pelo SIADAP consiste em promover a motivação dos trabalhadores e, tendo em conta que, a maioria dos estudos sobre a motivação sustenta a sua importância no desempenho, procurou-se averiguar sobre a concretização deste objectivo em contexto real. Deste modo, objectivo da investigação desenvolvida consistiu em, compreender de que forma o subsistema SIADAP 3 influencia a motivação dos trabalhadores da AP que desempenham funções na Força Aérea. O estudo de caso baseou-se na auscultação dos trabalhadores através da aplicação de um questionário.

Considerando a questão de partida que orientou a investigação: *Qual o impacto da implementação do SIADAP 3 na motivação dos trabalhadores na Força Aérea?*, procurou-se saber qual a percepção que os trabalhadores têm do SIADAP, nomeadamente da sua estrutura, processo de implementação e efeitos. Desta forma, em torno desta questão principal foi formulado um conjunto de três questões derivadas, que por sua vez, possibilitaram a elaboração de três hipóteses relativas a cada uma dessas questões.

A primeira questão derivada aferiu a percepção dos trabalhadores face ao SIADAP 3, conduzindo à formulação da hipótese H1: *“O SIADAP 3 é percepcionado de forma positiva pelos trabalhadores”*. Com base nos dados extraídos das respostas ao questionário, aferiu-se que a maioria dos trabalhadores considera o SIADAP um sistema injusto, principalmente devido ao sistema de quotas. Cumulativamente, os aspectos organizacionais na Força Aérea com que os trabalhadores se mostraram menos satisfeitos prendem-se com este novo sistema de avaliação. Mediante estes dados concluiu-se que a hipótese H1 era falsa, ou seja, a percepção que os trabalhadores têm do SIADAP não é positiva.

A segunda questão procurou averiguar qual a influência que a implementação do SIADAP 3 tinha tido no desempenho dos trabalhadores da Força Aérea, e a hipótese associada (H2): *“A implementação do SIADAP 3 tinha contribuído para a melhoria do desempenho dos trabalhadores”*. Mediante a análise dos dados, concluiu-se que ela também era falsa, com base

no facto de, os trabalhadores afirmarem que a implementação do SIADAP 3 não provocou qualquer alteração no seu comportamento, logo não existiu melhoria no seu desempenho.

Finalmente, a terceira questão derivada indagou sobre a importância que os trabalhadores da Força Aérea atribuíam aos efeitos da avaliação previstos pelo SIADAP 3, dando origem à hipótese H3 que considerava que os efeitos da avaliação mais valorizados pelos trabalhadores eram de carácter pecuniário. Verificou-se que, apesar da alteração na posição remuneratória se apresentar como o efeito com uma média de valorização mais elevada, esta não é relevante face à importância atribuída aos restantes efeitos. A diferenciação na valorização dos diferentes efeitos também não é nítida. Conclui-se portanto, que esta terceira hipótese é falsa, ou seja, os efeitos da avaliação de carácter pecuniário não são os mais valorizados pelos trabalhadores.

Mediante a refutação das três hipóteses, deduziu-se que a implementação do SIADAP 3 na FORÇA AÉREA não teve impacto na motivação dos trabalhadores, malgrado considerarem a metodologia de avaliação injusta.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Lei n.º 66-B/2007 de 28 de Dezembro
- [2] QUIVY, Raymond; CAMPENHOUDT, Luc Van – *Manual de Investigação em Ciências Sociais*. 5.ª ed. Lisboa: Gradiva, 2008. ISBN 978-972-662-275-8.



## **Academia da Força Aérea**

Granja do Marquês – 2715-021 Pêro Pinheiro

Tel.: 219 678 956 – Fax: 219 678 956



Entrada principal da Academia da Força Aérea

