

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Fiabilidade de Sistemas e Componentes de UAV's

Paula Alexandra Veiga Gonçalves

Tese de Doutoramento em Engenharia Mecânica

Orientador: Prof. Doutor Luís António de Andrade Ferreira

Co-orientador: Prof. Doutor José Augusto da Silva Sobral

<2016>

© Autor, 2016

Resumo

Nesta tese abordou-se o problema do desenvolvimento do Plano Inicial de Manutenção de novos bens aeronáuticos, os Sistemas Aéreos Não Tripulados¹ (SANT), ou *Remotely Piloted Aerial Systems* (RPAS), anteriormente designados por *Unmanned Aerial Systems* (UAS) para os quais existe escassez de dados fiabilísticos. A nossa abordagem é dupla. Propõe-se um modelo para a criação do Plano Inicial de Manutenção para uso na certificação de RPAS baseado nos princípios da fiabilidade e nas análises morfológicas, e uma modelação em redes de Petri do processo *de Safety Assessment* de RPAS. Os modelos propostos são aplicáveis aos RPAS cuja operação depende da obtenção de uma Autorização/Certificação de aeronavegabilidade.

Os objetivos desta tese foram estruturados segundo três vertentes: a fiabilidade dos bens, através do desenvolvimento de uma metodologia para obtenção dos dados fiabilísticos dos RPAS; o plano inicial de manutenção dos sistemas do RPAS, e a respectiva certificação de aeronavegabilidade.

É notório em todo o mundo o crescente interesse em Sistemas Aéreos Não Tripulados sendo vários esforços envidados no sentido da integração no espaço aéreo civil das operações seguras de RPAS. Actualmente, as operações de RPAS estão restringidas à utilização especial do espaço aéreo, ou seja, o seu acesso está limitado por questões de segurança, sendo o processo de certificação/autorização restritivo. O esforço atual das Autoridades Reguladoras Nacionais e Internacionais está direccionado para a obtenção e demonstração de elevados padrões de segurança e fiabilidade dos RPAS, sendo materializado através de uma minuciosa avaliação de segurança aquando do processo de certificação, reforçada pela apresentação de um plano de manutenção eficaz. Este terá grande impacto sobre o desempenho e disponibilidade do RPAS e também reforça a capacidade da aeronave para atender aos requisitos de aeronavegabilidade e de segurança exigidos. O desenvolvimento de um plano inicial de manutenção para sistemas recentes, para os quais existe pouca informação disponível sobre o seu comportamento em operação, o caso dos RPAS, configura-se num enorme desafio, sendo, no entanto, ultrapassado através de metodologias e ferramentas de suporte.

Nesse sentido, para a consecução dos objetivos estabelecidos foi analisada a literatura existente relevante e foram realizados estudos de casos e simulações. Foram também recolhidos dados empíricos

¹ Sistemas aéreos não tripulados - sistema que inclui no mínimo os seguintes elementos: a aeronave não tripulada_UAV, a estação de controlo remota e o canal de comando e controlo. Fonte: AAN, 2013.

por meio de análise documental, de questionários e de observações do sector aeronáutico. Para a análise dos dados, a tomada de decisão assentou na combinação de teorias e metodologias relacionadas com a fiabilidade e com o risco, assim como nas melhores práticas da indústria aeronáutica.

Um dos resultados desta tese é o desenvolvimento de uma base de dados de fiabilidade passível de ser aplicada aos RPAS baseada nas análises morfológicas. Outro resultado é o desenvolvimento de uma metodologia sistemática para a elaboração de um plano de manutenção inicial para RPAS utilizando a metodologia MSG-3 (*Maintenance Steering Group - 3rd Task Force*). O terceiro resultado é uma modelação do processo de *Safety Assessment* de RPAS, através de redes de Petri com a integração da dinâmica real do RPAS, que permita estimar a ocorrência de estados críticos do RPAS.

Estes resultados estão relacionados com desafios específicos da indústria dos RPAS, e espera-se ter contribuído para o aumento da capacidade de tomada de decisões eficazes e eficientes durante o desenvolvimento e a certificação de sistemas aéreos não tripulados.

Palavras-chave

Fiabilidade; *Maintenance Steering Group-3*, Plano de Manutenção Inicial; Sistema Aéreo Não Tripulado; *Safety Assessment*; Veículos Aéreos Não Tripulados; *Unmanned Aerial Systems*, *Remotely Piloted Aerial Systems*

Abstract

In this thesis, it was addressed the problem of developing the Initial Maintenance Plan for new aeronautical products, Remotely Piloted Aerial Systems (RPAS), previously designated by Unmanned Aerial Systems (UAS²) for which there is a lack of reliable data. The approach is two-fold. We propose a model for the creation of the Initial Maintenance Plan for use in the RPAS certification based on the reliability principles and on the morphological analysis. Also, a Petri nets modeling of the RPAS Safety Assessment process. The proposed models are applicable to RPAS whose operation depends on obtaining an Airworthiness Authorization / Certification.

The objectives of this thesis were structured according to three aspects: the reliability of assets, through the development of a methodology for obtaining the reliable data of the RPAS; the initial maintenance plan of the RPAS systems, and their respective airworthiness certification.

The increasing interest in remotely piloted aerial systems is well known all over the world, and several efforts are being made to integrate safe RPAS operations into civil air space. Currently, RPAS operations are restricted to the special use of airspace, that is, their access is limited by security issues, and the certification / authorization process is restrictive. The effort is focused to achieve and demonstrate high standards of safety and reliability of RPAS operation and is materialized through a systematic safety assessment, which will be reinforced by an effective maintenance plan. This will have great impact on the performance and availability of the RPAS, and ultimately enhances the aircraft's ability to meet the airworthiness and safety requirements. The development of an initial maintenance plan for newer systems, for which little information is available, RPAS case, sets up a huge challenge, but can be overcome by methods and supporting tools.

In this sense, to reach the established objectives, the relevant existing literature was analyzed and case studies and simulations were carried out. Empirical data were also collected through documentary analysis, questionnaires and observations done in the aeronautical sector. For data analysis, the decision-making was based on the combination of theories and methodologies related to the reliability and the risk, and the best practices in aerospace industry.

² Unmanned Aerial Systems - A system comprising at least the following elements: the unmanned aircraft, the remote-control station and the command and control channel. Source: Circular N°. 1/2013 of the AAN.

One result of this research is the development of a reliability database to be applied to RPAS based on morphological analysis. Another result is the development of a systematic process for creating an initial maintenance plan for RPAS using the MSG-3 methodology. The third result is a modelling of the Safety Assessment process of the RPAS through Petri nets with integration of the real dynamics of the RPAS, which allows estimating the occurrence of critical states of RPAS.

These results are related to specific RPAS industrial challenges, and are expected to increase the capacity of making effective and efficient decisions during the development and certification of unmanned aerial systems.

Keywords

Maintenance Steering Group-3, Initial Maintenance Plan; Reliability; Safety Assessment; Unmanned Aerial Vehicle; Unmanned Aerial System, Remotely Piloted Aerial Systems

Agradecimentos

A conclusão deste trabalho não poderia deixar para trás aqueles que para ela tanto contribuíram direta ou indiretamente. Assim, e em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao Professor Doutor Luís António de Andrade Ferreira e ao Professor Doutor José Augusto da Silva Sobral, meus orientadores, pela sua exímia exigência, sugestões relevantes indicadas durante a orientação, por toda a ajuda, entusiasmo e paciência demonstrados ao longo destes anos de trabalho e ressaltar ainda a persistência incansável que motivou a evolução da presente investigação.

Agradeço ao Professor Doutor João Paulo Barros pela sua preciosa ajuda e ensinamentos relacionados com as redes de Petri, sem o qual não seria possível ultrapassar algumas das dificuldades sentidas.

Ao CIAFA/CIDIFA, pelo apoio técnico e enorme disponibilidade, sem a qual esta investigação não teria tomado este formato. Agradeço em especial aos militares do Núcleo de Investigação e do Núcleo de Operações do CIAFA/CIDIFA pela pronta disponibilidade e rapidez de resposta. Não podendo deixar de reconhecer e enaltecer os prestimosos ensinamentos e extremosa e paciente colaboração do Capitão Tiago Oliveira e do Capitão Gonçalo Cruz, sem o qual o percurso da investigação seria muito penoso. O meu sincero e muito obrigado!

O meu especial agradecimento também aos vários militares que durante as diferentes fases do trabalho foram determinantes através da sua mestria e conhecimento pois as suas questões fizeram-me refletir e melhorar a investigação. Refiro-me então, aos Senhor Coronel Gustavo Gomes, Senhor Tenente-Coronel Delfim Dores, Senhora Tenente-Coronel Alice Rodrigues, Senhora Tenente-Coronel Teresa Cabral, Senhor Capitão Diogo Duarte. Um bem-haja para Todos Vós!

À minha família, pelo apoio e compreensão pelos momentos em que estive

ausente e pela escassa atenção que lhes dei durante todo o tempo de elaboração da investigação.

E, por último, mas fundamentalmente, agradeço a Deus que me deu a possibilidade de realizar esta investigação, e proveu-me da perseverança, da determinação e das faculdades intelectuais necessárias à sua consecução. E ainda, presenteou-me com um marido e filha maravilhosos, que suportaram a minha ausência quase diária, me apoiaram nos momentos mais difíceis, entenderam as minhas dúvidas e angústias, estiveram sempre a meu lado, a quem dedico todo este trabalho, pois sem eles não se teria concretizado.

Índice

Resumo	iii
Abstract	v
Agradecimentos	vii
Índice	ix
Lista de figuras	xii
Lista de tabelas	xv
Abreviaturas	xvii
Símbolos	xx
Capítulo 1.....	1
Introdução	1
1.1 - Introdução	1
1.2 - Enquadramento	7
1.3 - Objectivos	7
1.4 - Motivação	8
1.5 - Metodologia de Investigação	9
1.6 - Estrutura.....	10
Capítulo 2.....	12
<i>No Data Problem</i> -Metodologia	12
2.1. Introdução.....	12
2.2. Método Comparações Emparelhadas (<i>Paired Comparisons</i>)	14
2.3. Análises Morfológicas (<i>Morphological Analysis</i>)	16
2.4. Método Delphi.....	20
2.5. Análise de Modos de Falha e Efeitos (<i>Failure Modes and Effect Analysis</i>).....	22
2.6. <i>No Data Problem</i> Metodologia proposta	26
2.7. Sumário	28
Capítulo 3.....	30

Desenvolvimento de Programas de Manutenção no Sector Aeronáutico	30
3.1. Introdução.....	30
3.2. Manutenção Centrada na Fiabilidade RCM.....	33
3.3. <i>Maintenance Steering Group MSG-3</i>	38
3.2.1. Sistemas - <i>Systems/Powerplant</i>	42
3.2.2. Estruturas - <i>Aircraft Structures</i>	47
3.2.3. Zonas – <i>Zonal Inspections</i>	52
3.4. Sumário	54
Capítulo 4.....	55
Certificação no Sector Aeronáutico	55
4.1. Introdução.....	55
4.2. Certificação de Veículos Não-Tripulados.....	56
4.3. <i>Safety Assessment</i> de Veículos Aéreos Remotamente Pilotados RPAS.....	63
4.3.1. <i>Safety Assessment</i>	64
4.4. Redes de Petri.....	69
4.4.1. Redes de Petri - Elementos	71
4.4.2. Gráfico de Marcações (Marking graphs).....	72
4.4.3. Análise do Modelo PN - Propriedades	73
4.5. Sumário	74
Capítulo 5.....	75
Estudo de Caso.....	75
5.1. Introdução.....	75
5.2. Fase 1 – Safety Assessment ANTEX-X02 Alpha Extended.....	76
5.3. Fase 2- Recolha e Análise Inicial de Dados de Avaria.....	84
5.4. Fase 3 – Determinação da Taxa de Avaria de Referência	90
5.5. Fase 4 – Desenvolvimento do Plano inicial de manutenção	92
5.6. Pressupostos de Operação RPAS	99
5.7. Construção do modelo do <i>Safety Assessment</i> do RPAS	101
5.8. Análise de Resultados	115
5.9. Sumário	119
Capítulo 6.....	120
Conclusões e Trabalhos Futuros	120
6.1. – Conclusões da Tese.....	120
6.2. Trabalhos futuros.....	124
Trabalhos Publicados.....	126
Bibliografia e Referências bibliográficas.....	128
Anexo I – Licenças Especiais de Aeronavegabilidade emitidas aos UAV ANTEX-X02 Alpha Extended.....	140
Anexo II – Determinação da base de certificação a aplicar a novas aeronaves (baseado CAA CAP 722).....	151

Anexo III – Sistemas das Aeronaves segundo o ATA 100.....	155
Anexo IV – Mapa de avarias das aeronaves CHIPMUNK MK 20.....	157
Anexo V – Relatório das Análises MSG-3	161

Lista de figuras

Figura 1 - Esquema da metodologia das Comparações Emparelhadas. (Fonte: Spark, 2015).....	15
Figura 2 – Etapas de execução do Método de Delphi. (Fonte: adaptado de Landetta, 1999).....	21
Figura 3 - Processo das análises FMEA. (Fonte: Adaptado de http://pixgood.com 29-01-15).....	23
Figura 4 – Método baseado nas Análises Morfológicas.....	27
Figura 5 – Processo de Desenvolvimento de um Programa Manutenção segundo RCM.....	36
Figura 6 - Esquema da Lógica de Decisão da RCM	37
Figura 7 - Evolução da metodologia do Maintenance Steering Group. (Fonte: adaptado de FAA, 2012).....	39
Figura 8 - Processo do <i>Maintenance Review Board</i> inserido no processo de Certificação de Aeronavegabilidade de produtos aeronáuticos. (Fonte: adaptado de EASA, 2010).....	41
Figura 9 - Processo de Desenvolvimento de Programas de Manutenção através do método MSG-3. (Fonte: Ahmadi, 2010).....	43
Figura 10 - Diagrama da Lógica de Decisão do MSG-3. (Fonte: adaptado de ATA, 2007).....	46
Figura 11 – Classificação das estruturas das aeronaves segundo o MSG-3 (Fonte: EADS CASA, 2007).....	48
Figura 12 - Procedimentos de determinação dos danos associados às diversas estruturas da aeronave. (Fonte: adaptado de Boeing, 2012).	50
Figura 13 - Esquema do desenvolvimento de programa de manutenção de estruturas (Fonte: adaptado de ATA, 2007).....	52

Figura 14 - Esquema do desenvolvimento do programa de inspeção de zona. (Fonte: adaptado de ATA, 2003).....	54
Figura 15 - Esquema do Processo de Certificação de UAV's militares em Portugal (Fonte: Bento, 2011).....	62
Figura 16 – Decomposição funcional de <i>Top-level</i> do RPAS.	76
Figura 17- Decomposição da função “Comunicar” para o ANTEX-X02 ALPHA EXTENDED.....	77
Figura 18 - Arquitetura interna_ <i>Top Level</i> do RPAS ANTEX- X02 Alpha Extended ..	81
Figura 19 – Arquitetura interna do RPAS ANTEX- X02 Alpha Extended_ Sistema de Navegação (Fonte: INCOSE, (2010).	84
Figura 20 – Recolha de dados de avaria no SIAGFA relativa à aeronave CHIPMUNK MK20.....	85
Figura 21 – Mapa de avarias das aeronaves CHIPMUNK MK 20.....	88
Figura 22 – Frequência por Modo de Falha das aeronaves CHIPMUNK MK20.....	89
Figura 23 – Frequência por CUT Modo de Falha das aeronaves CHIPMUNK MK20 ..	89
Figura 24 – Determinação do Coeficiente de Ponderação para o CUT 6500 Transponder.....	91
Figura 25 – Excerto dos cálculos para a determinação da taxa de avaria do CUT 6500 Transponder.....	92
Figura 26 - Análise aos Sistemas/Motores segundo o MSG-3. (Fonte: Synthesis Reliasoft).....	94
Figura 27 - Análise às Estruturas segundo o MSG-3. (Fonte: Synthesis Reliasoft)	95
Figura 28 - Análise às Zonas segundo o MSG-3. (Fonte: Synthesis Reliasoft)	96
Figura 29 – Análise aos Sistemas/Motores segundo o MSG-3 para o sistema Transponder. (Fonte: Synthesis Reliasoft).....	97
Figura 30 – Seleção das tarefas de manutenção para o sistema Transponder. (Fonte: Synthesis Reliasoft)	98
Figura 31 - ANTEX-X02 Alpha Extended.....	99
Figura 32 - Classificação dos níveis de autonomia do RPAS (Fonte: Adaptado do Cummings, 2003).	100
Figura 33 - Percentagem de falhas relativas ao sistema de propulsão, aos controladores de voo e às comunicações.	101

Figura 34 - O submodelo RdP referente às fases de voo da missão de Vigilância e Reconhecimento marítimo do RPAS.....	103
Figura 35 – O submodelo RdP referente à ocorrência de falha com impactos classificados de “Sem Efeitos na Segurança”.....	105
Figura 36 – O submodelo RdP referente à ocorrência de falha com impactos classificados de “Maior”.....	106
Figura 37 – O submodelo RdP referente à ocorrência de falha com impactos classificados de “Perigoso”.....	107
Figura 38 - O submodelo RdP referente à ocorrência de falha com impactos classificados de “Catastrófico”.....	108
Figura 39 – O submodelo RdP referente à ocorrência de falhas e do Safety Assessment dos MFE.....	109
Figura 40 - O submodelo em RdP referente à inibição da missão do RPAS devido à ocorrência de falha.....	112
Figura 41 - O submodelo RdP resultante da integração dos vários submodelos.....	114
Figura 42 - Fiabilidade da missão do RPAS.....	117

Lista de tabelas

Tabela 1 - Modelo de DOE atributos e ponderações dos equipamentos (Fonte: Andrews e Moss, 1996).	20
Tabela 2- Classificação de RPAS. (Fonte: adaptado de Bento, 2011).	59
Tabela 3- Matriz do Risco (Fonte: adaptado de Dores et al, 2015).	66
Tabela 4- Classificação das Condições de falha (Fonte: adaptado de Dores et al, 2015).	66
Tabela 5 – Relação entre a Severidade e os efeitos causados nos RPAS (Fonte: adaptado de NASA, 2007).	68
Tabela 6 – Definição dos <i>Most Feared Events</i> (Fonte: adaptado de NATO, 2009).	69
Tabela 7- Excerto da FHA para a função “Transmissão de dados do Transponder” (Fonte: adaptado de NASA (2007)).	78
Tabela 8 – Funções Básicas do RPAS ANTEX- X02 Alpha Extended. (Fonte: adaptado de EMFA, 2013)	79
Tabela 9 – Funções Específicas do RPAS ANTEX-X02 Alpha Extended. (Fonte: adaptado de EMFA, 2013)	79
Tabela 10 – Requisitos operacionais do RPAS ANTEX-X02 Alpha Extended (Fonte: adaptado de EMFA, 2013).	80
Tabela 11 – Excerto do SSA do sistema “Transponder” do RPAS ANTEX-X02 Alpha Extended (Fonte: adaptado de FAA (2011)).	81
Tabela 12 – Excerto da análise FMEA do sistema Transponder do RPAS ANTEX-X02 Alpha Extended.	83
Tabela 13 - Códigos de Tipo de Manutenção.	86
Tabela 14 - Códigos de Avaria.	87

Tabela 15 – Taxas de disparo das transições e estados do modelo RdP das fases de voo da missão de Vigilância e Reconhecimento marítimo do RPAS.....	104
Tabela 16 – Taxa de disparo das transições e os estados referentes à ocorrência das falhas do modelo do Safety Assessment of Most Feared Events.	111
Tabela 17 – Taxa de disparo das transições e estados referentes ao submodelo RdP da inibição da missão do RPAS devido à ocorrência de falha.	113
Tabela 18 – Número médio de <i>tokens</i> em cada estado terminal da missão de Vigilância e Reconhecimento marítimo do RPAS.	116
Tabela 19 – Número médio de disparos das transições.....	118

Abreviaturas

AAN	Autoridade Aeronáutica Nacional
AD	Accidental Damage
AFA	Academia da Força Aérea
ALS	Airworthiness Limitations Section
A-NPA	Advance Notice Propose Amendment
ARP	Aerospace Recommended Practice
ATC	Air Traffic Control
ATM	Air Traffic Management
BTID	Base Tecnológica Industrial da Defesa
CAA	Civil Aviation Authority
CAV	Código de Avaria
CE	Comissão Europeia
CIAFA	Centro de Investigação da Academia da Força Aérea
CMA	Common Mode Analysis
CMR	Critical Maintenance Requirement
COA	Certificado de Operador Aéreo
CTM	Código de Tipo de Manutenção
CUT	Código de Unidade de Trabalho
DET	Detailed Inspection
DGAIED	Direção-Geral de Armamento e Infraestruturas de Defesa
EASA	European Aviation Safety Agency
ED	Environment Deterioration
EDA	European Defense Agency
ELOS	Equivalent Level of Safety
EMAAG	European Military Aviation Authorities Group
EMACC	European Military Airworthiness Certification Criteria
EUROCAE	European Organization for Civil Aviation Equipment

EUROCONTROL	European Organization for the Safety of Air Navigation
FA	Força Aérea
FAA	Federal Aviation Administration
FAP	Força Aérea Portuguesa
FD	Fatigue Damage
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
FFAA	Forças Armadas
FFI	Failure Finding Inspection
FHA	Functional Hazard Assessment
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
FMECA	Failure Modes Effects and Criticality Analysis
GRIF	Graphical Interface for Reliability Forecasting
GVI	General Visual Inspection
HIR	Hazard Rate
ICA	Instructions of Continuing Airworthiness
ICAO	International Civil Aviation Organization
IMAAC	International Military Aviation Authorities Conference
ISC	Industry Steering Committee
JCGUAV	Joint Capability Group UAV
MAWA	European Military Airworthiness Authorities
MFA	Manual da Força Aérea
MFE	Most Feared Events
MRB	Maintenance Review Board
MRBR	Maintenance Review Board Report (Equivalente ao PMI)
MSG-3	Maintenance Steering Group 3
MSG	Maintenance Steering Group
MSI	Maintenance Significant Item
NATO	North Atlantic Treated Organization
PERSEUS	Protection of European BoRders and Seas trough the IntElligent Use of Surveillance
PITVANT	Projecto de Investigação e Tecnologia em Veículos Aéreos Não Tripulados
PM	Programa de Manutenção
PMI	Plano de Manutenção Inicial
PN	Petri Nets
PSE	Principal Structure Element
PSSA	Preliminary System Safety Assessment
RCM	Reliability Centred Maintenance

RdP	Redes de Petri
RPAS	Remoted Piloted Aerial System (formerly of UAS)
RST	Restoration
RTCA	Radio Technical Commission for Aeronautics
SAA	Safety Assessement Analysis
SAE	Society of Automotive Engineers
SANT	Sistema Aéreo Não Tripulado
SE	Systems Engineering
SF	Systems Failure
SSA	System Safety Assessment
SSI	Significant Structure Item
STANAG	Standard Agreement
TC	Type Certificate
TCB	Type Certification Basis
TII	Trabalho de Investigação Individual
UAS	Unmanned Aerial System
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
USAR	Unmanned Systems Airworthiness Requirements
WG	Working Group

Símbolos

λ	Taxa de avarias
α	Porção do modo de falha
h	Hora
I	Função de entrada das transições
k	Fator de <i>stress</i>
kg	Quilograma
km	Quilómetro
M	Conjunto finito das marcações da rede de Petri
MN	Milhas Náuticas
O	Função de saída
P	Conjunto de lugares finitos
P	Probabilidade
T	Conjunto finito de transições
X	Média de ponderações dos atributos

Capítulo 1

Introdução

1.1 - Introdução

Desde 1917, data em que ocorreu o primeiro voo controlado de um avião não tripulado, o desenvolvimento dos veículos aéreos não tripulados (*Remotely Piloted Aerial Systems*-RPAS) tem sido notável, especialmente no domínio militar durante os recentes períodos de guerra (Degarmo, 2004). Esta grande evolução dos RPAS causou uma importante difusão desses sistemas e, actualmente existe uma crescente procura alicerçada no seu crescente potencial comercial (Adamyan & He, 2003).

Segundo o Guardian (2012), o *International Institute for Strategic Studies* identificou pelo menos onze países que possuem RPAS, sendo que os EUA lideram em termos de tamanho, variedade e sofisticação, secundado talvez por Israel, que tem um mercado muito forte para os RPAS militares, pese embora tenha adquirido alguns aos EUA para fins militares e de segurança interna. Outros países, tais como o Japão, a Coreia do Sul, a Austrália, a França, a Inglaterra, a Itália, a Alemanha e a Suécia possuem programas de desenvolvimento de RPAS. Em termos quantitativos o Japão lidera mundialmente, com aproximadamente 2000 RPAS operacionais, utilizados fundamentalmente para pulverização agrícola e operações de plantação. Existe um elevado número de modelos de RPAS no mundo, aproximadamente 200 a 300, sendo que a grande maioria (cerca de 90 a 95 por cento) são militares, e na maior parte são utilizados para missões de vigilância (International Security, 2013). No que diz respeito à operação, são conhecidos cerca de 41 países que operam RPAS (International Security, 2013).

Em Portugal o Projecto de Investigação e Tecnologia em Veículos Aéreos Autónomos Não-Tripulados (PITVANT) da Academia da Força Aérea (AFA), foi pioneiro no desenvolvimento de RPAS e enquadrou-se no domínio das actividades

naturais da Força Aérea. Este Projecto centrava-se primordialmente no desenvolvimento de novas tecnologias e de novos conceitos de operação em sistemas de veículos aéreos não tripulados de pequena dimensão, sem entanto descuidar a realização de testes de transição para sistemas de veículos aéreos não tripulados de maior dimensão (AFA e FEUP, 2011). As entidades responsáveis pelo desenvolvimento do projecto PITVANT foram a Academia da Força Aérea (AFA) e a Faculdade de Engenharia do Porto (FEUP), que possuem uma grande experiência e conhecimento do saber fazer nesta área. A AFA atua na área de projecto, optimização, e fabrico de veículos aéreos pilotados remotamente, e a FEUP detendo o conhecimento tecnológico e experiência operacional no controlo de veículos autónomos.

No projecto de investigação PITVANT destacava-se o desenvolvimento de tecnologias nas mais diversas áreas, nomeadamente (AFA e FEUP, 2011): i) o Projecto, construção e teste de plataformas de pequena e média dimensão; ii) o Controlo cooperativo de vários veículos com iniciativa mista; iii) a Interoperabilidade de sistemas; iv) os Sistemas de visão avançados, v) a Fusão de dados e vi) os Sistemas de navegação, tendo em vista a sua integração em sistemas autónomos de veículos aéreos não-tripulados. Com o intuito da articulação dos objetivos das diferentes áreas, foram desenvolvidos e construídos três modelos diferentes de plataformas de duas classes de RPAS³, para aplicação, ensaio e demonstração das tecnologias desenvolvidas no âmbito do projecto PITVANT. As plataformas a utilizar serão: os micro-UAV (UAVs de 1kg e com um metro de envergadura), os ANTEX-X02 (UAVs de 15 aos 25 kg e com três metros de envergadura) e os ANTEX - X03 (UAV de 110 kg e com seis metros de envergadura) (AFA e FEUP, 2011).

Estas plataformas foram submetidas a um amplo programa experimental englobando várias baterias de ensaios, demonstrações e a avaliação para posterior certificação das tecnologias empregues, visando o desenvolvimento de conceitos de operação de natureza e militar, mas que também seja aplicável no âmbito civil. Os veículos aéreos não tripulados para desempenharem as suas missões terão que partilhar o espaço aéreo com as aeronaves tripuladas. Só assim será aproveitado todo o seu potencial. Contudo,

³ Os UAVs são tipificados em três Classes: Classe I; Classe II (150 <= peso/kg <= 600), e Classe III (peso/kg > 600). A Classe I subdivide-se em: -, Mini (2 < peso/kg < 20) e *Small* (peso/kg > 20). Fonte: CAA,2015.

terão que demonstrar que possuem os requisitos exigidos para operarem num espaço aéreo partilhado (*Civil Aviation Space - CAS*) (DoD, 2004).

As aeronaves tripuladas para operarem no espaço aéreo têm que cumprir vários requisitos, plasmados em extensos regulamentos, que salvaguardam a segurança das suas operações. Um quadro abrangente de regulamentos, como o que existe para aeronaves tripuladas, terá que ser desenvolvido para os Sistemas Aéreos Não Tripulados. Regra geral é feita uma adaptação da legislação existente para as aeronaves tripuladas. Os regulamentos aplicados às aeronaves tripuladas estabelecem os requisitos que garantem a segurança das operações (Ahmadi et al, 2010). De semelhante modo, a Organização da Aviação Civil Internacional (*International Civil Aviation Organization – ICAO*), preconiza que os RPAS irão operar de acordo com as normas existentes para as aeronaves tripuladas, bem como quaisquer normas especiais e específicas que abordem as diferenças operacionais, legais e de segurança entre operações de aeronaves tripuladas e não tripuladas (ICAO, 2011).

Presentemente, a maioria das operações com RPAS são limitadas ao espaço aéreo segregado, onde as operações podem ser realizadas sem a ameaça de causar danos aos outros utilizadores do espaço aéreo ou a terceiros no solo (Clothier e Wu, 2012).

Na ausência de regulamentação específica, as Autoridades de Aviação Nacionais (*National Aviation Authority - NAA*) gerem os riscos associados às operações de RPAS, através de exigências mais conservadoras (Clothier e Wu, 2012). Geralmente, a gestão do risco é realizada através do:

- a) Desenvolvimento e promulgação de um quadro abrangente de padrões de segurança e regulamentos que abrangem:
 - i. Projecto, operação, produção e manutenção dos RPAS;
 - ii. Treino e certificação do pessoal envolvido nessas operações;
 - iii. Apoio às estruturas organizacionais, a definição de responsabilidades, políticas e práticas de organização para a realização das actividades com RPAS.
- b) Supervisão da indústria dos RPAS.
- c) Aplicação de normas de segurança.

Deste modo as operações com aeronaves não tripuladas são permitidas, mas o acesso ao espaço aéreo não-segregado exigirá que a operação com RPAS tenha a demonstração de um nível de segurança equivalente (*Equivalent Level of Safety - ELOS*) ao das aeronaves tripuladas, e a garantia de serem vistos tanto para os responsáveis pela gestão

do tráfego aéreo (*Air Traffic Management - ATM*), como para os restantes utilizadores do espaço aéreo.

Atualmente, as regras a aplicar variam de país para país de acordo com as Autoridades Nacionais, uma situação que gera maiores dificuldades para fabricantes e operadores, para além de abrandar o ritmo da progressão em direção a uma estrutura unificada a nível mundial.

Ao nível nacional, europeu e das agências internacionais decorre um esforço conjunto para convergir, desenvolver e produzir um corpo coerente de legislação, protocolos e tecnologias mutuamente acordadas. Isso permitirá a certificação e operação de RPAS em espaço aéreo não controlado, não apenas europeu, mas também global.

Contrariamente a essa situação e a nível europeu, a *European Aviation Safety Agency* (EASA) estabeleceu que para fuselagens com uma massa superior a 150 quilos é necessária a obtenção do certificado de aeronavegabilidade. Analogamente, a Autoridade de Aviação Civil do Reino Unido (*Civil Aviation Authority - CAA*) definiu um conjunto de regras para os modelos de aeronaves rádio controladas de pequena dimensão, (ver Anexo I). Para os RPAS de maiores dimensões é feita uma adaptação dos regulamentos existentes para as aeronaves tripuladas, sempre que adequado, a fim de aproveitar sinergias. A CAA publicou recentemente a terceira atualização do documento, *Civil Aviation Procedure - CAP 722* e vários países europeus manifestaram interesse na coordenação seguindo esta base de certificação.

Ao nível militar foram desenvolvidos os requisitos de aeronavegabilidade aplicáveis aos sistemas aéreos não tripulados de asa fixa, que estão definidos em várias publicações militares sobre aeronavegabilidade, tais como STANAG 4671, STANAG 4702 e STANAG 4703. Os STANAG foram desenvolvidos para refletir, tanto quanto possível, a estrutura e o conteúdo das especificações de certificação (*Certification Specifications*). O pressuposto da garantia de segurança assenta no princípio de que os requisitos utilizados num processo de certificação são globalmente os mesmos ou equivalentes aos da certificação de tipo de aeronaves tripuladas. E sempre que os procedimentos de certificação usados por uma Autoridade diferirem substancialmente desta abordagem, esta deverá assegurar que o processo utilizado para certificação assegura o nível equivalente de segurança (NATO, 2009).

No sector aeronáutico é exigida a obtenção de certificação de aeronavegabilidade continuada a todos os intervenientes, relacionados com atividades de projeto, produção ou operação, e uma certificação de aeronavegabilidade permanente a todos os intervenientes, relacionados com atividades de manutenção abrangendo tanto o pessoal como as organizações (CE, 2003). A EASA através do *Regulation (EC) n.º 1592/2002* do Parlamento Europeu determina os requisitos mínimos para a certificação de aeronavegabilidade e proteção ambiental RPAS (EASA, 2002).

No que diz respeito à certificação de aeronavegabilidade de bens aeronáuticos (sistemas, motores e estrutura de aeronaves), a metodologia doutrinária comumente aceite (FAA, CAA e EASA) para garantir o cumprimento dos requisitos de segurança aplicáveis é a denominada de *Maintenance Review Board*, que utiliza o método *Maintenance Steering Group* (MSG-3) no desenvolvimento de programas iniciais de manutenção de novas aeronaves. O MSG-3 orienta a organização geral do processo de tomada de decisão na determinação dos requisitos iniciais da manutenção programada, com o intuito de preservarem a ciclo de vida das aeronaves e manter os níveis de segurança e de fiabilidade inerentes.

O MSG é o método que os fabricantes de aeronaves, os operadores e os reguladores utilizam para desenvolver o programa inicial de manutenção do fabricante, como parte integrante do processo de certificação de aeronaves (Adams, 2009). A FAA, através do FAA AC 121-22-A relativo à certificação de aeronavegabilidade preconiza que os procedimentos da análise MSG-3 sejam utilizados no desenvolvimento do *Maintenance Review Board Report* (MRBR) (FAA, 1997). O MRBR é o documento oficial que descreve os requisitos de manutenção e inspeção a serem utilizados no desenvolvimento de um programa inicial mínimo de manutenção programada, visando a obtenção da certificação tipo, aeronavegabilidade continuada (*Type Certificate – TC*), e posteriormente o certificado de aeronavegabilidade permanente para a fuselagem, motores, sistemas e componentes de um determinado tipo de aeronave em operação (Adams, 2009). O MRBR é elaborado pela comissão de revisão de manutenção, o *Maintenance Review Board* (MRB), que é constituído por fabricantes, autoridades reguladoras, fornecedores, e operadores da indústria aeronáutica (Ahmadi, 2010).

Portanto, de acordo com a revisão da literatura realizada, constata-se que aos RPAS aplicar-se-á a legislação existente relativa às aeronaves tripuladas com as devidas adaptações inerentes às suas especificidades (ICAO, 2011), na qual é exigido a

realização de um processo de certificação de aeronavegabilidade, que inclui desenvolvimento de um plano inicial de manutenção para cada novo tipo de aeronave (ATA, 2003).

Neste sentido, antes que os veículos aéreos não tripulados desenvolvidos no âmbito do projeto PITVANT possam ser integrados no dispositivo das Forças Armadas Portuguesa, ou colocados à disposição da sociedade civil, terão que ser submetidos a um processo de certificação de aeronavegabilidade, que entre outros procedimentos engloba o desenvolvimento do plano inicial de manutenção (AAN, 2013).

O desenvolvimento de plano de inicial manutenção para RPAS segundo esta metodologia é uma atividade inédita em Portugal. Por esse facto, a principal contribuição desta tese é o desenvolvimento de uma metodologia para a criação de um plano de manutenção para uso na certificação de RPAS, tendo sido vertido num artigo científico publicado na revista *Aircraft Engineering and Aerospace Technology* com o título “*Establishment of an Initial Maintenance Program for UAVs based on Reliability Principles*”. O plano de manutenção aqui apresentado é único a nível nacional e pretende ser uma mais valia para o desenvolvimento do quadro regulamentar padrão.

O segundo contributo é a criação de uma base de dados de fiabilidade para RPAS com base nos princípios das análises morfológicas, aproveitando o conhecimento e comportamento de sistemas semelhantes aos quais é aplicado um fator de correção, de acordo com as diferenças de Projecto (D), Operação (O) e Meio Ambiente (E), que resultou no artigo científico, *Reliability Database for Unmanned Aerial Vehicles based on Morphological Analysis*, publicado na revista *The Aeronautical Journal*.

O terceiro contributo é a modelação do processo de *Safety Assessment* de RPAS através de redes de Petri, considerando as premissas recomendadas no STANAG 4671_ *UAV Airworthiness Requirements Specification* (USAR) para análise das condições de falha que levam ao evento mais temido, que resultou no artigo científico, *Unmanned Aerial Vehicle Safety Assessment Modelling through Petri Nets*, também submetido a revista internacional *Reliability Engineering and Systems Safety*.

A investigação realizada no âmbito da presente tese de doutoramento deu origem a várias comunicações em técnicas conferências nacionais e internacionais conforme se indica na seção de trabalhos publicados.

1.2 - Enquadramento

A realização deste trabalho de investigação insere-se no âmbito da tese de doutoramento em Engenharia Mecânica. Os resultados obtidos foram vertidos nos projetos em curso no Centro de Investigação da Academia da Força Aérea (CIAFA), nomeadamente no projeto PITVANT (AFA e FEUP, 2011), projeto PERSEUS e projeto SEAGULL (CIAFA, 2014), assim como nos projetos atualmente em curso no Centro de Investigação Desenvolvimento e Inovação da Força Aérea (CIDIFA), projeto SUNNY e projeto TROANTE.

1.3 - Objectivos

Da revisão do estado da arte relativamente às metodologias utilizadas no desenvolvimento de programas de manutenção para aeronaves concluímos que o MSG-3 e a Manutenção Centrada na Fiabilidade (*Reliability Centered Maintenance* - RCM) são as geralmente utilizadas. Todavia, nenhum trabalho foi encontrado sobre metodologias aplicáveis ao desenvolvimento de planos de manutenção de aeronaves aéreas não tripuladas. Atendendo a facto dos RPAS e as tecnologias desenvolvidos no âmbito do projeto PITVANT necessitarem de obter uma certificação de aeronavegabilidade prévia à sua exploração, foram utilizados como objeto de estudo desta investigação, sendo os seus objetivos desenhados segundo três vertentes:

- A fiabilidade dos bens;
- O seu plano inicial de manutenção,
- A certificação dos bens e das tecnologias desenvolvidas.

A vertente da fiabilidade dos bens é alcançada através da aplicação do modelo proposto, e metodologias e ferramentas adequadas à modelação das avarias que foram identificadas e apresentadas no Capítulo 2.

A vertente da manutenção foi consubstancializada através do desenvolvimento de um plano inicial de manutenção ajustado ao tipo de operação e à aplicação expectável do RPAS.

A vertente da certificação traduziu-se na obtenção junto da Autoridade Aeronáutica Nacional de permissões para voo de várias plataformas. A obtenção dessa permissão engloba três áreas: a regulamentação, os testes e os ensaios, e as instruções de aeronavegabilidade permanente. A regulamentação abrange as especificações relativas

à aeronavegabilidade e os requisitos de projeto e fabrico das aeronaves não tripuladas (AAN, 2013).

Os programas de testes incluíram a realização de ensaios em laboratório, no solo e em voo que permitiram demonstrar que os RPAS satisfazem as exigências operacionais: de funcionamento de sistemas (base e missão), redundância de sistemas (quando aplicável), emergências, desempenho operacional (alcance, autonomia operacional, etc). Os resultados dos testes realizados serviram como meio de demonstração de evidência de que os requisitos estipulados foram cumpridos (AAN, 2013).

O desenvolvimento das instruções de aeronavegabilidade permanente é um requisito fundamental no processo de certificação e engloba a elaboração de manuais relativos: à operação da aeronave e dos vários subsistemas, à manutenção da aeronave e dos seus subsistemas, à massa e centragem, aos ensaios não destrutivos, ao manual das práticas normalizadas, ao catálogo de peças, aos diagramas das cablagens, a pesquisa de avarias, e outros elementos constitutivos dos RPAS. Não existindo ainda, propõe-se o desenvolvimento de um plano inicial de manutenção para RPAS segundo a metodologia o MSG-3.

Salienta-se novamente o contributo desta investigação nos projetos realizados pela Força Aérea e para Portugal, o que concorreu para que, pela primeira vez fosse atribuído uma Licença Especial de Aeronavegabilidade a aeronaves não tripuladas (ver Anexo I).

1.4 - Motivação

Em Portugal, a temática dos veículos aéreos não tripulados ainda é muito recente. Está-se atualmente a dar os primeiros passos nesta área, estando algumas empresas a iniciar o desenvolvimento e fabrico deste tipo de aeronaves.

Para fins militares, a Força Aérea Portuguesa, no seu centro de investigação (local onde o autor desempenha funções), desenvolve e fabrica diversas classes deste tipo de aeronaves, que posteriormente as utiliza nos diversos projetos que tem em curso.

Portanto, a realização deste trabalho de investigação revelou-se numa oportunidade de desenvolver uma metodologia inovadora para estimar parâmetros de fiabilidade na ausência de dados, situação em que os RPAS se inserem, que posteriormente são utilizados para criar um plano inicial de manutenção. Por outro lado, consubstanciou-se

como uma oportunidade para contribuir para a criação de conhecimento relativo às questões inerentes à certificação de aeronavegabilidade de RPAS, operação, manutenção e integração destes sistemas no âmbito das missões alocadas à Força Aérea Portuguesa.

1.5 - Metodologia de Investigação

Um projeto de investigação é um processo de várias etapas que devem ser realizadas para alcançar as metas estabelecidas. O método de investigação adotado para a presente tese foi composto por seis atividades:

Atividade I: Revisão da literatura

Nesta atividade foi analisada e recolhida a informação relativa ao tema, de forma a obter-se uma visão sobre o estado da arte nesta área de investigação, avaliando a sua relevância através da análise e estudo dos modelos e das metodologias existentes. Desta forma foi possível estabelecer o ponto de partida, permitindo estruturar a construção do modelo e da metodologia a seguida.

Atividade II: Definição do modelo ou metodologia

Nesta atividade foi realizada a estruturação do modelo e da metodologia adotada, tendo em consideração os sistemas alvo de análise, nomeadamente os RPAS desenvolvidos no CIAFA e CIDIFA no âmbito dos seus projetos. Foram identificadas as técnicas e as ferramentas mais apropriadas à realização da investigação proposta, tanto de natureza mais teórica (modelos matemáticos, modelos fiabilísticos, análises de risco, etc.), como de cariz mais prático, tais como, o recurso a aplicações informáticas, ou a testes e ensaios, laboratoriais ou no terreno. Assim, foi ainda recolhida a informação que permitiu determinar as estratégias de manutenção a aplicar, frequências das inspeções e da execução das tarefas de manutenção e os parâmetros a controlar.

Atividade III: Aplicação do modelo e da metodologia

Nesta atividade aplicou-se o modelo desenvolvido na Atividade II, a par da metodologia referida na fase anterior, a fim de materializar a vertente prática da investigação através da descrição detalhada do sistema alvo do estudo e da construção

das bases de dados para a elaboração de um plano inicial de manutenção, visando o cumprimento dos requisitos de uma futura certificação de aeronavegabilidade de aeronaves não tripuladas.

Atividade IV: Elaboração do Plano Inicial de Manutenção

Tendo em conta o trabalho realizado na atividade anterior, o objetivo a atingir nesta atividade centrou-se na elaboração de um Programa Inicial de Manutenção, que por si só garanta e demonstre que os requisitos mínimos ao nível da segurança foram salvaguardados e alcançados, assim como serão mantidos ao longo do ciclo de vida dos RPAS.

Atividade V: Descrição do processo de certificação de aeronavegabilidade

O principal objetivo desta atividade foi identificar e descrever o processo de certificação de aeronavegabilidade expectável de ser aplicado aos RPAS. No decurso das experiências do autor relativamente ao processo de obtenção de Licenças Especiais de Aeronavegabilidade (LEA) para aeronaves não tripuladas, surgiu a motivação para o desenvolvimento de um modelo através das redes de Petri para a realização do *Safety Assessment* de RPAS (Murata, 1989). Trata-se de algo inédito, e o método desenvolvido é inovador e visa auxiliar as Autoridades Aeronáutica na análise e verificação de determinados eventos relativos aos RPAS.

Atividade VI: Escrita da Tese

Tal como o próprio nome indica, o objetivo a alcançar nesta atividade foi a elaboração de um documento que reflita todo o trabalho de pesquisa, investigação e desenvolvimento sobre o tema proposto.

1.6 - Estrutura

Este documento tem o propósito de apresentar o trabalho de investigação desenvolvido no âmbito da tese de doutoramento (Fiabilidade de Sistemas e Componentes de RPAS, realizado na Faculdade de Engenharia da Universidade do

Porto, Departamento de Engenharia Mecânica, sob a supervisão do Professor Doutor Luís Andrade Ferreira e do Professor Doutor José Sobral. Esta tese foi estruturada em seis capítulos e quatro anexos que materializam os objetivos definidos.

No primeiro capítulo é realizada a introdução do trabalho de investigação.

No segundo capítulo é apresentada a metodologia proposta para determinação de parâmetros fiabilísticos de novos bens quando não existe muita informação disponível, assim como alguns os métodos utilizados nessas situações, nomeadamente, *Paired Comparison*; *Delphi Method*; *Morphological Analysis*, a Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos.

No terceiro capítulo descrevem-se as metodologias utilizadas no sector aeronáutico para o desenvolvimento dos planos iniciais de manutenção com vista à obtenção de um certificado de aeronavegabilidade ou de uma licença especial de aeronavegabilidade, a saber, a Manutenção Centrada na Fiabilidade, RCM e o *Maintenance Steering Group*, MSG-3.

No quarto capítulo descreve-se o processo de certificação de aeronavegabilidade exigido aos produtos do sector aeronáutico, devido ao facto de que o RPAS necessitará de uma autorização da Autoridade Aeronáutica Nacional para operar. Nesse sentido é também apresentado o processo de *Safety Assessment*, fundamental para a demonstração de que um nível aceitável de segurança foi atingido. E, pretendendo-se contribuir para a criação de evidência do nível de segurança alcançado, apresenta-se um modelo em redes de Petri para conduzir o *Safety Assessment* de RPAS.

No quinto capítulo é apresentada a materialização da metodologia proposta para obtenção de parâmetros fiabilísticos perante a escassez de informação, inserida na aplicação prática do processo de desenvolvimento de um plano inicial de manutenção para RPAS proposto, onde se incluí a condução do processo de *Safety Assessment*, utilizando o RPAS ANTEX-X02 Alpha Extended como objecto de estudo.

Por último, apresentam-se as conclusões que refletem todo o trabalho de investigação desenvolvido. Termina-se com recomendações e a sugestão de trabalhos futuros.

Capítulo 2

No Data Problem-Metodologia

2.1. Introdução

Uma das dificuldades que os analistas e profissionais da área da fiabilidade, da manutenção e do risco se deparam com elevada frequência diz respeito à falta de dados que lhes permitam conhecer e caracterizar os bens. Esta lacuna é fundamentalmente sentida quando se trata de bens relativamente recentes em que a informação é escassa, ou quando os bens se encontram ainda numa fase muito inicial do projeto.

O desconhecimento das características das avarias potenciais, nomeadamente do modo, da frequência de ocorrência, e quais as consequências que terão impacto na segurança e ou produtividade dos bens, requer a utilização de metodologias formais de previsão. E assim surge a necessidade de identificar metodologias que permitam obter a informação fiabilística inicial, que servirá de base para a determinação das estratégias de manutenção e gestão dos bens ao longo do ciclo de vida, que será sistematicamente atualizada e “refinada” à medida que existam dados operacionais.

As técnicas de recolha de dados e de análise da origem das causas das avarias foram desenvolvidas com o propósito de aumentar a fiabilidade dos componentes e dos sistemas. Consequentemente conduziu à especificação dos requisitos quantitativos de fiabilidade, dando início ao aspeto contratual da fiabilidade, que acarreta a problemática da previsão e determinação da fiabilidade de um bem, previamente ao seu fabrico e teste.

No sentido de colmatar a necessidade identificada para o conhecimento previsível dos bens na fase de projecto, em 1956 foi publicado pela *Radio Corporation of America*

(RCA) um extenso relatório sobre técnicas de previsão de Fiabilidade designado "*Reliability Stress Analysis for Electronic Equipment*" (TR-1100), sendo a RCA um dos principais fabricantes de tubos de vácuo à época (RCA, 1958). O relatório apresenta vários modelos analíticos para estimar as taxas de falha, e pode ser considerado o antecessor direto da norma militar, MIL-STD-217-*Reliability Prediction of Electronic Equipment*, publicada pela primeira vez em 1961 e muito utilizada até aos dias de hoje (DoD, 1991).

A previsão da fiabilidade de novos bens apresenta muitos desafios, sendo que o mais relevante está associado à definição de um modelo fiabilístico apropriado. Tal deve-se às características inerentes do bem e às incertezas relativas aos parâmetros de fiabilidade derivadas da inexistência de dados obtidas em operação (Krka et al, 2009).

Atualmente existem diversas metodologias de previsão fiabilística para os equipamentos eletrónicos, que se encontram consolidadas e definidas, como é exemplo a publicação MIL-HDBK-217, já citada.

Contrariamente aos casos anteriores descritos, existem poucas metodologias de previsão fiabilística para equipamentos mecânicos assentes em bases de dados que sejam consensuais, devido à multiplicidade de taxas de avaria que componentes aparentemente semelhantes apresentam. A inconstância associada às taxas de avaria dos equipamentos mecânicos resulta de vários fatores, designadamente (NSWC, 2011):

1. Os componentes mecânicos frequentemente desempenham mais do que uma função e a informação relativa às avarias associadas a uma aplicação específica, raramente está disponível;
2. As taxas de avaria dos componentes mecânicos não são normalmente modeladas através de distribuições constantes, devido ao desgaste, à fadiga e a outros mecanismos de avaria associados à degradação do equipamento. Nesta situação, a recolha de dados é dificultada, pois impossibilita a correlação dos tempos de ocorrência da falha com o total de horas de funcionamento;
3. A definição de avaria de um equipamento mecânico depende da sua aplicação;
4. Comparativamente, a fiabilidade dos equipamentos mecânicos é muito mais sensível aos seus modos de funcionamento e de utilização, que a fiabilidade dos equipamentos eletrónicos. As taxas de avaria determinadas, quando assentes

apenas no tempo de funcionamento, são geralmente inadequadas à previsão da fiabilidade de equipamentos mecânicos.

Os fatores enumerados anteriormente explicam algumas das discrepâncias encontradas na utilização das taxas de avarias retiradas de bases de dados. Por conseguinte, foram desenvolvidos vários métodos de previsão fiabilística que ajudam a ultrapassar as dificuldades descritas, como são exemplo o método das comparações emparelhadas (*Paired Comparisons*), o método *Delphi*, as análises morfológicas (*Morphological Analysis*) e a Análise de Modos de Falha e seus Efeitos (*Failure Mode and Effects Analysis*), entre outros (Andrews e Moss, 2002).

A similitude dos métodos referidos reside no facto de serem provenientes de abordagens formalizadas, que asseguram naturalmente os princípios da replicabilidade e rastreabilidade em análises subsequentes. Indubitavelmente os métodos apresentam algumas limitações, mas genericamente produzem resultados por que são aceites e sustentados pela sociedade (Andrews e Moss, 1996; Zwicky, 1998; Andrews e Moss, 2002). Todavia, a monitorização dos bens desde a sua entrada em funcionamento é fundamental, pois só assim será possível o reajuste das previsões iniciais (Andrews e Moss, 2002).

2.2. Método Comparações Emparelhadas (*Paired Comparisons*)

O método das Comparações Emparelhadas (*Paired Comparisons*) é apontado por Andrews e Moss como um dos métodos mais rápidos e fáceis para prever a taxa média de avaria quando existe informação disponível de equipamentos ou sistemas semelhantes (Andrews e Moss, 2002). O método das Comparações Emparelhadas pode ser genericamente descrito como sendo um processo de ordenação de todos os componentes de um bem em análise pelas taxas globais de avaria, sendo então inserido o componente cuja taxa de avaria é desconhecida nessa ordenação, conforme se ilustra na Figura 1.

CONJUNTO DE TAXAS DE AVARIAS	FASE	COMPARAÇÃO	RESULTADO
A B	I	D → D B → B	D B
C D E	II	A → A	D A B
	III	C → C	D A B C
	IV	E → E	E D A B C

Figura 1 - Esquema da metodologia das Comparações Emparelhadas. (Fonte: Spark, 2015)

A taxa de avaria desconhecida do componente é determinada por interpolação, recorrendo às taxas de avaria conhecidas dos componentes que se encontram ao seu lado na ordenação. Nesta metodologia assume-se que, quando não existem dados relativos à taxa de avaria de um componente, esta terá um valor compreendido dentro do envelope das restantes associadas aos componentes do bem (Andrews e Moss, 2002). Portanto, o método consiste na reunião das melhores estimativas disponíveis relativas às taxas de avaria dos componentes, procede-se à sua listagem por ordem de grandeza e por comparação insere-se nessa listagem o componente cuja taxa de avaria é desconhecida (Zwicky, 1998). A comparação é realizada em relação à menor taxa de avaria da lista e avalia-se se a taxa de avaria desconhecida do componente é maior ou menor. Caso seja maior, repete-se novamente o procedimento de comparação com a próxima “maior” taxa de avaria. As comparações emparelhadas continuam até que seja determinada a ordem da taxa de avaria desconhecida na listagem. Nesta fase as taxas de avarias listadas corresponderão a todos os modos de avaria conhecidos (Zwicky, 1998).

Por último, através de julgamentos de engenharia estima-se a taxa de avaria em função do modo de avaria, ou seja, multiplica-se a taxa de avaria obtida por interpolação por um factor que permite obter a taxa de avaria associada a um determinado modo de avaria do bem desenvolvido (Moss, 2005).

Face à escassez de dados fiabilísticos relativos aos sistemas que integram a arquitetura interna de RPAS não foi possível utilizar na presente investigação o método das comparações emparelhadas.

2.3. Análises Morfológicas (*Morphological Analysis*)

O método denominado por Análise Morfológica (*Morphological Analysis*) é um dos métodos utilizados na indústria para prever as características dos bens em função do tempo em áreas específicas tais como: motores, sistemas de comunicações e sistemas de produção de energia (Ritchey, 2009).

Hoje em dia, a morfologia está associada com várias disciplinas científicas na qual a estrutura formal é uma questão central. Em biologia relaciona-se com o estudo da forma ou forma de organismos, na linguística, com o estudo da formação de palavras e na geologia está associado com as características, a configuração e a evolução de rochas e acidentes geográficos (Ritchey, 2009).

Nos estudos de previsão técnica em engenharia o recurso a análises morfológicas é frequente como exemplificam os casos seguintes. Em Alvarez (2014) é apresentada uma abordagem morfológica aos projectos atuais de engenharia. Milman et al (1994) desenvolveram um estudo sobre a fractura das superfícies onde utilizam as análises morfológicas para preverem o dimensionamento de fracturas. Levin (2009) aborda a utilização das análises morfológicas no projecto de sistemas. Ritchey (2003) descreve os princípios das análises morfológicas e descreve as suas aplicações recentes na modelação de cenários de ameaça e revisão e avaliação dos níveis de preparação das instalações nucleares na Suécia. Belaziza et al (2000) apresentam uma ferramenta para auxiliar a integração de análise durante o processo de projecto de produtos baseada nas análises morfológicas.

Assim, segundo Ayres (1969) as análises morfológicas são um poderoso método de síntese de sistemas modulares em vários domínios, baseada na técnica “*dividir para*

reinar”, traduzindo-se numa estrutura hierarquizada de projeto de sistemas, separando todos os componentes, funções e atributos dos sistemas em análise.

De acordo com Ritchey (2009), as análises morfológicas são o método de identificar e investigar o conjunto de configurações e *interfaces* associado a um determinado problema complexo.

As análises morfológicas permitem efetuar previsões em produtos e serviços novos, através de um processo que consiste na definição das funções essenciais desses bens, e dos modos alternativos para o cumprimento de cada uma dessas funções. O método é válido sempre que existam bens semelhantes ao novo bem, sendo muito útil quando não existe muita informação disponível sobre esse bem (Vanston,1998). Genericamente, as análises morfológicas realizam-se em três etapas. Na primeira etapa, efetua-se a identificação de equipamentos semelhantes ao novo bem, cuja taxa de avaria é conhecida, tornando-se esta o valor de referência de taxa de avaria (Li et al, 2007). Na segunda etapa, realiza-se a comparação e quantificação das características de projeto, das condições de operação e das condições ambientais dos dois bens obtém-se o valor do fator de *stress* do projeto. Por último, aplica-se a ponderação do valor do fator de *stress* do projeto ao valor de referência da taxa de avaria (Vanston,1998).

De um modo geral, poder-se-á afirmar que as análises morfológicas baseiam-se em princípios genéricos, sendo uma abordagem de previsão fiabilística que permite obter dados de fiabilidade de um bem, quando estes não existem. Nas análises morfológicas é normalmente utilizada a taxonomia para os equipamentos não eletrónicos proposta por Andrews e Moss (2002), em que englobam as seguintes classes principais de equipamentos e as subdivisões em cada categoria:

1. Máquinas Rotativas;
2. Permutadores de Calor, Recipientes e Canalização;
3. Válvulas e Atuadores de Válvulas;
4. Auxiliares Mecânicos;
5. Auxiliares Elétricos.

Tabelas ordenadas por taxa de avaria para estas cinco classes podem ser retiradas de bases de dados de fiabilidade. Todavia, constata-se que as gamas de taxas de avaria, mesmo para as relativas às subclasses, são normalmente elevadas, pelo que é adotado o valor médio como referência para a taxa de avaria do bem (Cuhls e Kuwahara, 1994).

Segundo Andrews e Moss (2002), genericamente a obtenção de dados de falhas de novos bens, numa primeira instância, passa por fontes genéricas publicadas em livros, ou bases de dados de fiabilidade. No entanto, para bens que são considerados críticos para a segurança ou para a produção, esses dados podem não fornecer a confiança necessária à validação da previsão das características da falha. As previsões realizadas através de bases de dados genéricas têm de ser ajustadas para as condições específicas em que é expectável que o bem opere.

Para tal, Green e Bourne (1972) recomendam um modelo para estimar a taxa de avaria segundo a seguinte expressão

$$\lambda_{XA} = \lambda_B \alpha_A \prod k_i \quad (2.1)$$

em que λ_{XA} é a taxa de avaria estimada do bem X, no modo de avaria A, e λ_B é a taxa de avaria de referência do bem semelhante a X, sendo α_A a porção de avarias no modo A, e k_i o factor de stress para a tipologia i .

O modelo deriva do conhecimento acumulado dos autores em sistemas eletrónicos não reparáveis, através dos diversos programas de testes, em que se pressupõe que a degradação é improvável de ocorrer durante o período de duração da missão. Traduz-se na comparação das características do novo bem com as de outro semelhante, definido como referência e cuja taxa de avaria é conhecida. Os resultados dos programas de testes fornecem um precioso conhecimento sobre os efeitos dos diversos tipos de *stress*, o que, por sua vez, permite a determinação dos valores do fator de *stress* k . A determinação do fator de *stress* de projeto, para posterior aplicação ao valor da taxa de avaria de referência obtém-se por comparação e consequente alocação de ponderações: aos atributos de projeto do bem, às condições operacionais e às condições ambientais, originando o valor do fator de *stress* a aplicar (Moss, 2005), ou seja:

- a) Atributos de Projeto – As condições de projeto referentes a todos os aspetos relacionados com margens de segurança, níveis de potência, ou complexidade que irão afetar a resistência do bem à falha (e.g. a tipologia, a dimensão e potência, a velocidade e a complexidade);

- b) Atributos de Operação - As condições de operação, que são variáveis consoante a tipologia da indústria, e que originam uma multiplicidade de influências externas, tais como: a qualidade da manutenção; o modo de operação, os constrangimentos da operação e as interações com outros sistemas, com efeitos na fiabilidade do desempenho operacional (ex. modo de funcionamento, temperatura, pressão);
- c) Atributos de Ambiente - As diversas condições ambientais (ex: poeiras, humidades, vibrações, etc.), inerentes aos diferentes tipos de indústrias, que afetam significativamente a fiabilidade do desempenho do sistema, originando maiores incertezas relativamente aos dados disponíveis.

Todavia, não existe um conhecimento acumulado no que diz respeito aos sistemas mecânicos (Lees, 2005). A adequação do modelo inicial aos sistemas mecânicos, usualmente assume apenas dois fatores k , referentes aos efeitos ambientais e aos efeitos das condições de serviço (Andrews e Moss, 2002).

As análises morfológicas, como método de previsão da taxa de avaria de novos bens, incorporam os fundamentos do modelo DOE (*Design, Operation and Enviroment*). O modelo DOE foi proposto por Moss and Andrews (1996), e demonstra que diferentes amostras de equipamentos de controlo idênticos, submetidos a condições de operação diferentes, apresentam uma elevada gama de valores de taxas de avaria. Constatou-se que tipicamente existe uma razão de 1:10 entre a maior e a mais baixa taxa de avaria registada (Moss e Andrews, 1996). As variáveis linguísticas utilizadas no modelo DOE são: elevado (*high-H*), moderado (*moderate-M*) e baixo (*low-L*), associadas aos seguintes coeficientes de ponderação (-1), (0) e (+1), respetivamente. Os coeficientes são combinados com os atributos expectáveis de projeto, operação e ambiente, a fim de estimar a ponderação média (X), que posteriormente será utilizado para determinar o fator corrigido k (Moss e Andrews, 1996), segundo a seguinte expressão

$$k = 2^X$$

(2.2)

em que X é o valor médio das ponderações dos atributos de projeto, operação e ambiente, conforme Tabela 1. Ou seja, em primeiro lugar, executa-se a comparação dos

atributos de projeto, operação, e posteriormente, alocam-se as ponderações e determina-se o fator corrigido k .

Tabela 1 - Modelo de DOE atributos e ponderações dos equipamentos (Fonte: Andrews e Moss, 1996).

Atributos de Projeto			
Tipologia	Instrumento (-1)	Elétrico (0)	Mecânico (1)
Tamanho / Potência	Pequeno (-1)	Moderado (0)	Elevado (1)
Velocidade	Estático (-1)	Moderado (0)	Elevado (1)
Complexidade	Simples (-1)	Moderado (0)	Complexo (1)
Atributos de Operação			
Modo	Contínuo (-1)	Intermitente (0)	Standby (1)
Meio	Benigno (-1)	Médio (0)	Agressivo (1)
Pressão / Temperatura	Ambiente (-1)	<100 lbf/in ² /30°C (0)	<500 lbf/in ² /100°C (1)
Atributos de Ambiente			
Unidade Industrial	Nuclear (-1)	Amb. Industrial (0)	No mar (1)
Local	Controlado (-1)	Protegido (0)	Exposto (1)
Temperatura/ Humidade	Controlado (-1)	Amb. Industrial (0)	Extremo (1)

Na presente investigação as análises morfológicas foram utilizadas quer nos sistemas mecânicos do RPAS (Andrews e Moss, 1996; Andrews e Moss, 2002), mas também nos sistemas electrónicos. No entanto, os autores utilizam como base de dados sistemas semelhantes de aeronaves cujas condições operacionais e ambientais são também semelhantes às que o RPAS estará sujeito em operação.

2.4. Método Delphi

O método *Delphi* enquadra-se nas técnicas denominadas como subjetivas e intuitivas de previsão (Cuhls, 1994) baseando-se em pesquisas estruturadas, utilizando a informação intuitiva disponível dos participantes (fundamentalmente peritos). Por conseguinte, obtêm-se normalmente resultados qualitativos, embora também seja possível alguma quantificação (Cuhls, 1994). O método *Delphi* é um processo de

comunicação fortemente estruturado caracterizado pelo conhecimento incompleto e a incerteza relativa aos assuntos em análise (Linstone e Turoff, 1975).

Esta abordagem genérica tem sido utilizada diversas vezes desde que o estudo *Delphi* foi publicado pela primeira vez, no relatório sobre um longo intervalo de previsão realizado por Gordon e Helmer (Gordon e Helmer, 1964). São exemplos: Hallowell e Gambatese (2010), que desenvolveram uma investigação qualitativa onde efetuaram a aplicação do método Delphi à engenharia e gestão de construções (*Construction Engineering and Management - CEM*); Boulkedid et al (2011), que utilizaram o método de *Delphi* para seleccionar os indicadores de qualidade para os cuidados de saúde e Skulmoski et al (2007), que apresentaram o método de Delphi como um método de investigação flexível, adequado para uma grande variedade de projectos de investigação.

O método *Delphi* consiste numa abordagem de investigação utilizada para conseguir consensos através de duas ou três rondas de questionários, conforme se ilustra na Figura 2, onde a informação e os resultados são apresentados aos peritos entre cada ronda (McKenna, 1994).

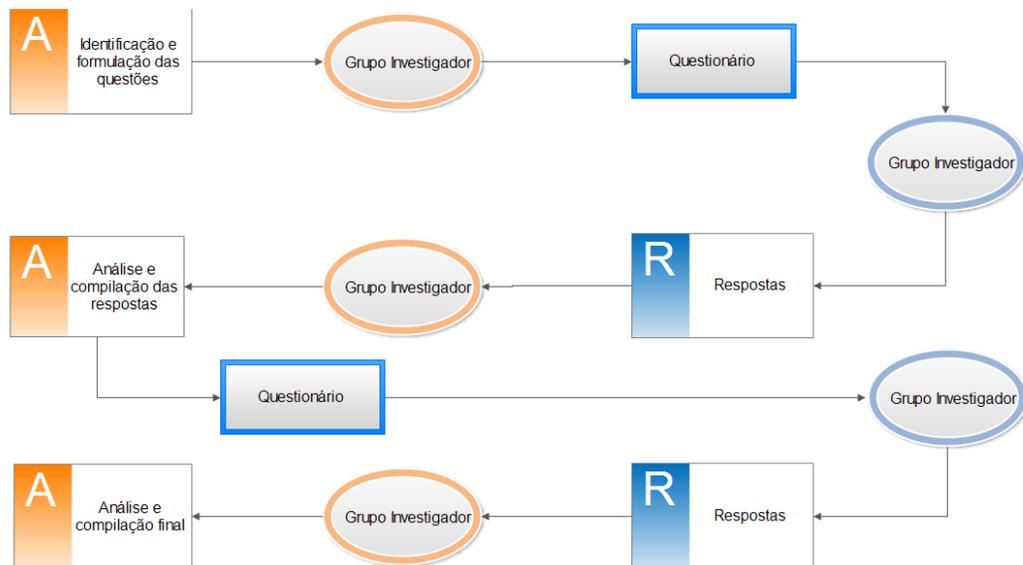


Figura 2 - Etapas de execução do Método de Delphi. (Fonte: adaptado de Landetta, 1999)

Após cada ronda é realizada uma análise estatística dos juízos apresentados, determinando-se a média e os quartis dos prognósticos recolhidos para aferir da existência de consenso (Gupta e Clarke, 1996).

O consenso sobre um assunto é alcançado se as opiniões emitidas se enquadrarem numa determinada gama (Miller, 2006). O critério recomendado por Green (1982), para a obtenção de consenso é que no mínimo setenta por cento das respostas dadas obtenham a classificação de três ou quatro pontos na escala *Likert-type*, e a média alcançada seja no mínimo de 3,25.

A aplicação do método *Delphi* requer que estejam reunidos determinados fatores, nomeadamente (Andrews e Moss, 2002):

- Um painel adequado de peritos;
- Definição de objetivos;
- Questionários apropriados;
- Uma estrutura de análise;
- Um calendário definido.

Em resumo, o método de Delphi está intimamente ligado à opinião de peritos (*expert judgement*), e é normalmente aplicado em várias rondas, a fim de prever quando um determinado acontecimento poderá ocorrer (Gonçalves et al, 2013).

O método de *Delphi* foi utilizado na investigação no decurso da realização das análises morfológicas na alocação das ponderações aos atributos de projecto, operação e ambiente, e ainda durante a realização das análises FMEA, na identificação dos efeitos e da respectiva severidade dos sistemas do RPAS.

2.5. Análise de Modos de Falha e Efeitos (*Failure Modes and Effect Analysis*)

A análise dos modos de falha e efeitos, *Failure Modes and Effect Analysis* (FMEA), é um estudo sistemático e estruturado das falhas potenciais que podem ocorrer num sistema. As análises FMEA são uma técnica de engenharia utilizada para definir, identificar e eliminar potenciais falhas de um sistema, projeto, processo ou serviço antes que estas ocorram, sendo exequível atingir a eficiência aquando da conceção de um

produto e garantir que os pré-requisitos definidos foram alcançados, conforme se ilustra na Figura 3 (Stamatis, 2003).

Segundo Gascard e Simeu-Abazi (2015), as análises de modos de falhas e efeitos são um método proativo utilizado antes que qualquer falha aconteça, a fim de identificar todas as falhas possíveis e estudar as consequências dessas falhas na operacionalidade do sistema.

Esmaeilian et al (2015) desenvolveram um quadro geral para a manutenção preventiva de equipamentos sensíveis em empresas de fabrico com processos contínuos, tais como refinarias e petroquímicas. A abordagem prática efetuada foi desenvolvida através da detecção das causas da falha em equipamentos sensíveis e da classificação executada utilizando as análises FMEA.

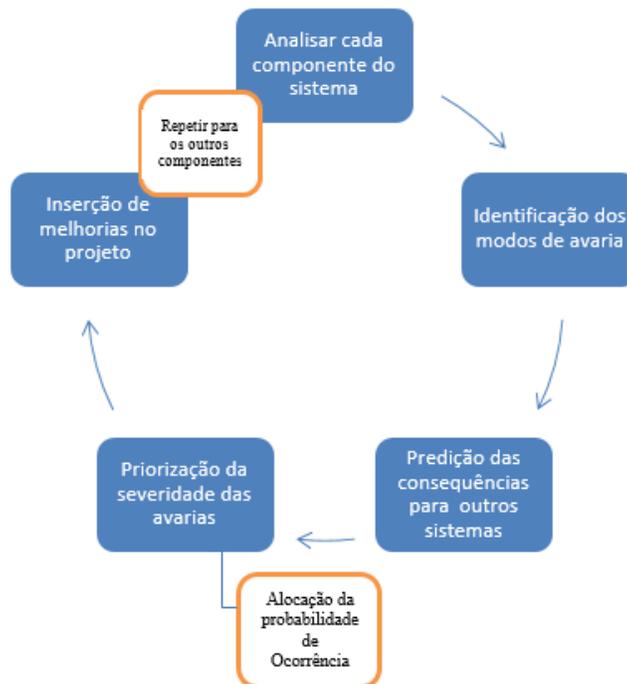


Figura 3 - Processo das análises FMEA. (Fonte: Adaptado de <http://pixgood.com> 29-01-15)

O desenvolvimento de novos produtos, serviços ou processos exige que exista a capacidade de análise, no sentido de verificar se os pré-requisitos definidos foram alcançados. Portanto, a sua não verificação dá origem à denominada falha no processo produtivo, seja este de um produto, serviço ou processo (Stamatis, 2003).

Para cada modo de falha é importante compreender as causas intrínsecas a esse acontecimento e as repercussões que este evento origina.

As análises FMEA são aplicáveis nas seguintes áreas:

- Produtos e processos novos;
- Produtos e processos modificados;
- Meios de produção;
- Produtos e processos e meios de produção actuando num ambiente diferente;
- Serviços.

Esta metodologia pode-se dividir em dois tipos de análise, nomeadamente numa primeira fase a nível qualitativo e, posteriormente de uma forma mais quantitativa. Primeiramente é importante definir os limites do sistema e o nível de análise pretendido, sendo que este passo é realizado através da identificação e hierarquização dos seus diversos subsistemas e/ou componentes (Costa et al, 2006).

A análise concretiza-se geralmente com recurso à utilização de dados históricos, da investigação do processo em si por uma equipa *in-loco*, ou através da utilização de ferramentas como o *brainstorming* e/ou fluxogramas.

A análise qualitativa desta metodologia divide-se nas seguintes etapas:

- Descrição hierárquica dos itens;
- Análise Funcional - sendo a primeira das etapas, consiste no ato de listar todas as funções a desempenhar pelos bens (Costa et al, 2006);
- Identificação dos modos potenciais de falha - conhecidas as funções, efetua-se a identificação dos modos potenciais de falha. Por outras palavras, Stamatis (2003), entende como sendo a identificação dos modos em que se possa verificar a incapacidade do sistema, processo ou serviço cumprir com o previamente estabelecido. Nesta fase pretende-se responder às questões: como pode falhar um produto ou componente, ou como pode falhar potencialmente um processo ou um serviço? (Costa et al, 2006);
- Identificação dos efeitos dos modos potenciais de avaria - descrição física do modo em que a falha se manifesta, isto é, das consequências desta no sistema (Stamatis, 2003). Para cada modo potencial de falha identificado, deve listar-se as consequências dos efeitos potenciais negativos no próprio componente, sistema, produtos, e os efeitos globais (Costa et al, 2006);

- Identificação das causas dos modos potenciais de avaria - a causa da avaria é a raiz do acontecimento pelo qual surgiu o modo de falha (Stamatis, 2003). Para cada modo de falha, deve identificar-se e descrever as causas mais prováveis que estiveram na origem do seu aparecimento. Dado que um modo de falha pode ter origem em várias causas, as causas independentes e mais prováveis para cada modo de falha devem ser identificadas e descritas (Costa et al, 2006).

A análise quantitativa desta metodologia pode ser iniciada após serem identificados os modos de falha, assinalados os efeitos associados e apreendidas todas as causas que as originaram (Costa et al, 2006). Nesta perspetiva, os modos de falha são classificados quanto à probabilidade de ocorrência das suas causas e quanto à gravidade ou severidade dos seus efeitos ou consequências.

Para a classificação da probabilidade de ocorrência (O) de cada modo de falha, normalmente recorre-se ao histórico com informação das falhas já ocorridas (Costa et al, 2006). Para cada modo de falha é então atribuída uma classificação, por exemplo numa escala de 1 a 10, onde 1 representa uma probabilidade muito remota, e 10 significa um acontecimento muito frequente, quase certo.

A classificação da severidade das consequências (S) deve ter sempre em consideração inúmeros fatores, nomeadamente, os efeitos possíveis sobre os utilizadores e sobre o meio envolvente ou o desempenho funcional do sistema ou processo (Costa et al, 2006). A escala utiliza-se no formato de 1 a 10, em que 1 corresponde a uma gravidade inexistente ou impercetível e a classificação máxima de 10 relata a pior possibilidade ao nível de consequências vindouras.

O valor referente ao produto destes dois índices (OxS) representa o risco alocado a cada modo de falha. Em algumas análises integra-se um terceiro fator, denominado detetabilidade (D), que representa o grau de facilidade de deteção da falha antes da sua potencial ocorrência.

Finalmente, os modos de falha são listados de uma forma hierarquizada, numa escala de risco decrescente, salientando-se os modos de falha mais críticos, apontando-se ações no sentido de minimizar os seus riscos, quer seja através da implementação de medidas que reduzam a probabilidade de ocorrência, ou que minimizem a severidade das consequências, ou que eventualmente tornem mais fácil a deteção precoce.

Na investigação, as análises de modos de falha e efeitos foram utilizadas na condução do processo de *Safety Assessment* do RPAS para verificação de que os

requisitos de segurança e instalação alocados aos sistemas que integram a arquitetura interna são cumpridos, assim como, no desenvolvimento do plano inicial de manutenção na identificação dos itens críticos para a manutenção e para a estrutura do RPAS.

2.6. *No Data Problem* Metodologia proposta

O Centro de Investigação da Academia da Força Aérea na consecução dos objectivos dos seus projectos, nomeadamente no que diz respeito à aplicação, ao ensaio e à demonstração de tecnologias recorre a três tipos de plataformas: os micro-UAV, os ANTEX-X02 e os ANTEX-X03. Conforme mencionado anteriormente, no sector aeronáutico é exigida uma certificação de aeronavegabilidade prévia às aeronaves, sistemas ou produtos novos antes que possam entrar ao serviço (ATA, 2003). A emissão da certificação baseia-se na validação do cumprimento de um conjunto de requisitos demonstrado através do *Safety Assessment* e materializado, entre outras formas, no plano inicial de manutenção.

Portanto, para que os RPAS desenvolvidos no projecto PITVANT possam ser integrados no dispositivo operacional das Forças Armadas Portuguesas ou sejam colocados à disposição da sociedade civil terão que ser submetidos a um processo de certificação, com vista a obtenção da certificação de aeronavegabilidade ou o *Permit to Fly*, será desenvolvido no Capítulo 4. Esse processo englobará entre outros procedimentos o desenvolvimento do plano de manutenção. Para tal é necessário conhecer ou estimar as taxas de avaria dos vários equipamentos e sistemas.

Contudo, é muito recente o desenvolvimento e o fabrico deste tipo de aeronaves em Portugal, não existindo ainda muita informação disponível relacionada com os modos de falha, que permitam determinar os parâmetros fiabilísticos em que assentam os planos de manutenção.

Face ao problema da escassez de informação disponível sobre estes sistemas, associada à necessidade de os certificar, desenvolveu-se uma metodologia com base nos princípios das análises morfológicas, conforme ilustra a Figura 4. Seleccionadas entre as metodologias apresentadas nas secções anteriores, o método de *Delphi*, as análises de modos de falhas e os seus efeitos e as análises morfológicas, recorrendo ao conhecimento e ao comportamento de sistemas semelhantes aos do RPAS ANTEX-X02

Alpha Extended, afectado de um factor de correcção de acordo com as diferenças de projecto, (Design - D), de Operação (O) e ao Meio Ambiente (E) identificadas.

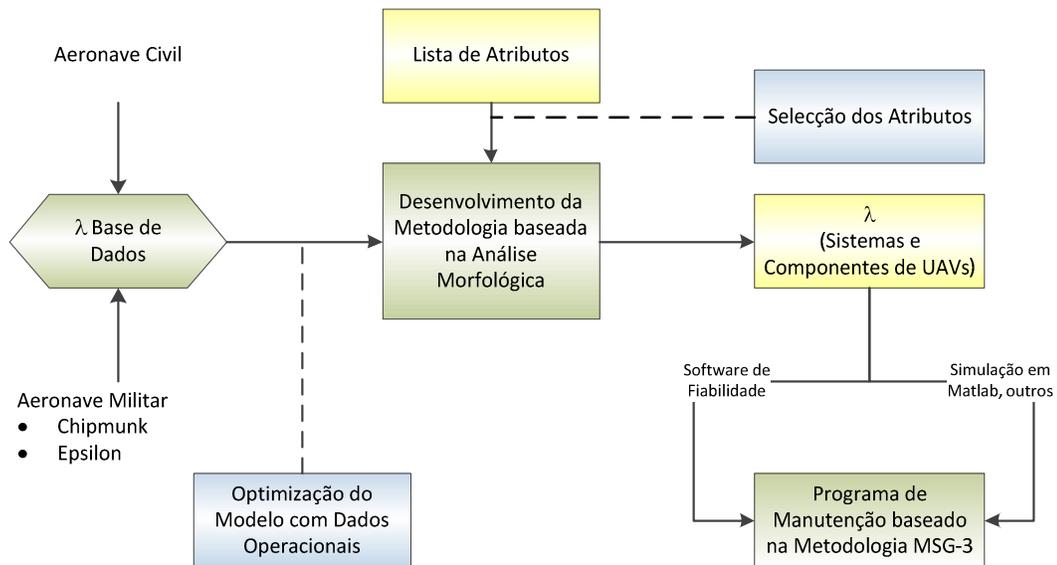


Figura 4 – Método baseado nas Análises Morfológicas.

A metodologia proposta compreende diversas fases, que vão desde a recolha de dados até ao desenvolvimento em si do plano inicial de manutenção. Após a determinação da arquitetura interna de sistemas do novo bem:

- I. Identificação da Base de Dados para obtenção de Taxas de Avaria: identificação de aeronaves civis ou militares que possuam sistemas idênticos aos que integram a arquitetura do novo bem, e que para os quais existam dados que permitam determinar os seus parâmetros fiabilísticos.
- II. Determinação de Taxas de Avaria dos sistemas de referência: para os sistemas identificados no ponto I é determinada a sua taxa de avaria, que posteriormente será utilizada para determinação da taxa de avaria de referência do novo bem.
- III. Análise Morfológica dos sistemas:
 - a. Aplicação do Modelo de DOE aos sistemas: os sistemas do novo bem desenvolvido são comparados em termos de características de projecto, de operação e ao meio ambiente em que operam com os sistemas considerados como referência, sistemas identificados no ponto I. Ou seja, são seleccionados e listados os diferentes atributos

que serão comparados a fim de se determinarem os factores de correcção a aplicar às taxas de avaria dos sistemas de referência.

- b. Determinação da Taxa de Avaria de Referência: as taxas de avaria dos sistemas identificados no ponto I são afetadas dos respectivos factores de correcção determinados na alínea anterior, determinado-se assim as taxas de avaria de referência dos sistemas do novo bem.

IV. Desenvolvimento do Plano Inicial de Manutenção baseado na Metodologia MSG-3:

- a. Identificação dos sistemas, estrutura e zonas da aeronave para posterior análise.
- b. Recorrendo ao software Synthesis da Reliasoft realizam-se as análises FMEA para determinar os modos de falha e os seus efeitos dos sistemas que integram a arquitetura do novo bem. A avaliação feita foi sustentada com recurso ao método de Delphi relativamente à identificação e classificação dos modos de falha e dos efeitos nos sistemas.
- c. Avaliam-se os efeitos da ocorrência das avarias em termos impactos na segurança, na operação e na economia para se identificarem os itens críticos para a manutenção, e deste modo se alocarem as tarefas de manutenção adequadas e os respectivos intervalos de tempo para a execução.

A aplicação prática da metodologia proposta será apresentada no Capítulo 5.

2.7. Sumário

Neste capítulo aborda-se a problemática inerente ao conhecimento da fiabilidade quanto ao desenvolvimento de bens novos, e apresentam-se algumas metodologias utilizadas para tratar esta questão. São descritas algumas metodologias existentes para estimar a taxa de falha inicial de equipamentos, nomeadamente o método das comparações emparelhadas (*Paired Comparisons*), o método de “*Dephi*” (*Delphi Method*), a análise morfológica (*Morphological Analysis*) e a análise dos modos de falha e seus efeitos (*Failure Mode and Effects Analysis*). Sendo que nesta investigação

são apenas utilizadas as três últimas, devido à dificuldade encontrada em reunir os elementos necessários para aplicação o método das comparações emparelhadas. Concluí-se o capítulo apresentando uma metodologia para obtenção de parâmetros fiabilísticos no desenvolvimento de bens novos em que existe escassez de conhecimento sobre o seu comportamento.

No capítulo seguinte serão abordadas as metodologias aplicadas para o desenvolvimento de programas de manutenção no sector aeronáutico.

Tendo presente essas metodologias, será apresentado o processo desenvolvimento de um Plano Manutenção Inicial para RPAS.

Capítulo 3

Desenvolvimento de Programas de Manutenção no Sector Aeronáutico

3.1. Introdução

A crescente consciência de que a manutenção para além de garantir um elevado nível de segurança, fiabilidade e disponibilidade dos sistemas, também cria valor no processo de negócio, faz com que a manutenção seja também o foco do pensamento estratégico de muitas empresas em todo o mundo (Kumar e Ellingsen, 2000).

Segundo o IPQ (2007), manutenção é a combinação de ações técnicas, administrativas e de gestão realizadas durante o ciclo de vida de um bem, com o intuito de mantê-lo, ou restaurá-lo para um estado em que ele pode executar a função pretendida. A fim de preservar a função do sistema é vital identificar as estratégias de manutenção necessárias à gestão dos modos de falha que podem causar falhas funcionais. Existem estratégias diferentes de manutenção, nomeadamente a manutenção preventiva e a manutenção corretiva (Nowlan e Heap, 1978; Gits, 1992; Moubray, 1997). A estratégia de manutenção preventiva é realizada em intervalos predeterminados ou de acordo com critérios previamente estabelecidos e destina-se a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um bem (IPQ, 2007). O conjunto dessas tarefas de manutenção preventiva é chamado de "manutenção programada".

A definição de um programa de manutenção eficaz é crucial para os equipamentos, entre os quais do sector aeronáutico, pois afeta diretamente a regularidade e a capacidade operacional da frota de aeronaves para atingir os objetivos traçados. Na

verdade, uma grande parte do Custo do Ciclo de Vida (*Life Cycle Cost - LCC*) está associada à manutenção e decorre das consequências das decisões tomadas durante a fase de desenvolvimento do programa inicial de manutenção (Blanchard, 1995). A vantagem competitiva que a manutenção proporciona a uma empresa prende-se com o seu papel preponderante no desempenho e disponibilidade dos bens, no cumprimento dos requisitos de segurança e aeronavegabilidade, que têm impactos diretos na relação custo-operação das aeronaves (Knezevic, 1997). Portanto, a manutenção deve ser considerada desde o início do ciclo de vida dos bens, nomeadamente: no projeto, fabrico e operação de bens aeronáuticos. A nível mundial, os fabricantes e operadores aéreos têm consciência que existe uma necessidade crucial para o desenvolvimento de programas de manutenção de aeronaves mais eficientes e eficazes (Jensen, 2007; Homsí, 2007; Karim, 2008; Candell, 2009).

Todavia, decisões inadequadas de manutenção ou a execução incorreta de tarefas de manutenção podem afetar negativamente a segurança do sistema e, assim, contribuir para inúmeras perdas e desastres (Knezevic, 1997; Holmgren, 2005). Uma vez que as decisões tomadas no desenvolvimento ou na adaptação dos programas de manutenção afetam fortemente a segurança das aeronaves é primordial considerar a eficácia de tarefas de manutenção em termos de redução de risco, no sentido de se obterem programas de manutenção eficientes e otimizados, a fim de serem cumpridos os requisitos de segurança e de aeronavegabilidade, e garantir-se a operação segura (Bauer, 1985).

Segundo a ATA (2007), a metodologia maioritariamente aplicada no sector aeronáutico para o desenvolvimento de programas de manutenção baseia-se na lógica do *Maintenance Steering Group* atualmente (MSG-3). De ressaltar que os responsáveis, reunidos no *Maintenance Review Board* (MRB), produzem o programa inicial de manutenção, o *Maintenance Review Board Report* (MRBR) que assenta num processo que analisa, avalia e compara a experiência adquirida em aeronaves similares, com exceção da determinação das tarefas de manutenção, e dos intervalos associados que se baseiam fundamentalmente da sua experiência em engenharia (Liu et al, 2006; Viniacourt et al, 2007). Esta abordagem contribui para que os requisitos de aeronavegabilidade sejam cumpridos, não existindo evidências suficientes para sustentar a afirmação de que o programa de manutenção derivado deste processo é o ideal ou o mais eficaz, isto do ponto de vista do operador (EASA, 2010a).

Na verdade, o MSG-3, como qualquer outra metodologia baseada na manutenção centrada na fiabilidade (*Reliability Centered Maintenance* – RCM), não é infalível. Contudo, para uma bem-sucedida implementação de todas as tarefas de manutenção preventiva e avaliação do intervalo das tarefas de manutenção é necessário que estejam disponíveis ferramentas e metodologias de apoio à decisão (Mokashi, 2002; Sharma, 2005). As metodologias e ferramentas que podem ser utilizadas no processo de análise são todas as que possibilitam: a identificação dos bens críticos para a manutenção e as consequências das suas falhas (fiabilidade e a gestão do risco), a determinação dos intervalos de manutenção (otimização de manutenção), assim como a seleção da estratégia mais eficaz dentro das aplicáveis (o processo de tomada de decisão na manutenção) (Ahmadi, 2010).

Todavia, existe o risco de que as atividades de manutenção e de inspeção contribuam para a introdução de falhas, especialmente na fase de desgaste dos bens (Nowlan e Heap, 1978; Reason, 1997; Moubray, 1997; Rankin, 2000).

Segundo Lienhardt et al, (2008) aproximadamente um terço das tarefas definidas aquando do desenvolvimento de planos iniciais de manutenção são tarefas do tipo de deteção de falhas (*Failure Finding Inspection* - FFI). Quando se tratam de falhas ocultas com consequências para a segurança, a função das FFI é reduzir o risco que lhes está associado a fim de garantir a segurança das operações. No entanto, para falhas ocultas com consequências que não afetem a segurança, as tarefas deverão ser rentáveis, o que significa que o custo total da tarefa proposta deve ser menor do que o custo de múltiplas falhas (ATA, 2007). A seleção de intervalos de inspeção mais curto reduz o custo associado à ocorrência de múltiplas falhas com efeitos indesejáveis, mas conduz ao aumento do custo de inspeção e de reparação, assim como o custo de oportunidade, devido a uma maior perda de produção (disponibilidade) da aeronave associadas às paragens para manutenção. Contudo, a seleção de intervalos de tempo de inspeção maiores poderá ter o efeito contrário (Ahmadi, 2010).

Na verdade, a extensão e a magnitude do intervalo de inspeção afetam diretamente a eficácia da tarefa de manutenção. Assim, surge o problema da determinação do intervalo ótimo para a execução das tarefas de FFI relacionadas com as falhas ocultas, baseando-se a solução no melhor *trade-off* entre os custos associados e a satisfação dos condicionalismos associados ao risco (Ahmadi, 2010).

A metodologia RCM e a metodologia MSG-3, bem como outras abordagens genéricas de gestão da fiabilidade e do risco, incluem a identificação dos perigos potenciais e das suas consequências, e dos controlos a utilizar no sentido de reduzir a frequência da sua ocorrência ou controlam as consequências. Segundo (NATO, 2007), os RPAS sem sistemas de segurança robustos, específicos e fiáveis, possuirão taxas de falha cerca de 100 vezes superior comparativamente às aeronaves tripuladas. Portanto, será razoável afirmar-se que a utilização das abordagens mencionadas anteriormente no desenvolvimento de um Plano de Inicial Manutenção diminuirá o risco e reforçará a segurança das operações.

3.2. Manutenção Centrada na Fiabilidade RCM

O Conceito da Manutenção Centrada na Fiabilidade, *Reliability Centered Maintenance* (RCM), foi desenvolvido no início da década de setenta, pelo “*Maintenance Steering Group*” da indústria da aeronáutica comercial (ATA, 2007). Inicialmente estruturado para colmatar as necessidades da indústria aeronáutica, a RCM foi implementada a uma vasta gama de áreas de manutenção, tais como, sistemas de armas e produtos, equipamentos, geradores, etc (Hossam, 2003).

A Manutenção Centrada na Fiabilidade é um processo de decisão lógico, estruturado, utilizado para identificar as políticas necessárias para gerir os modos de falha que podem causar falhas funcionais a qualquer bem físico num determinado contexto operacional (ATA, 2007). A RCM é uma metodologia para a avaliação do sistema, em relação ao ciclo de vida, que permite determinar o melhor programa global de manutenção programada preventiva. Baseia-se na suposição de que a fiabilidade inerente do equipamento é uma função do projeto e da qualidade de fabrico (Nowlan e Heap, 1978; Moubray, 1997; Rausand, 1998; Dhillon, 2002; Smith, 2004).

A ênfase é dada à definição de um programa de manutenção preventiva subjacente a uma relação custo-benefício, que assenta na previsão de fiabilidade na análise dos modos, e efeitos das falhas (*Failure Modes and Effects Analysis – FMEA*) (Blanchard, 2008). Ou seja, a RCM é uma abordagem sistemática de desenvolvimento de programas de manutenção preventiva eficazes e equilibrados sob a ótica do custo-eficiência/ risco (Blanchard, 2008). No entanto, pode também ser utilizado para avaliar programas de

manutenção preventiva já existentes, com o objetivo da melhoria contínua do bem (Blanchard, 2008).

A RCM pressupõe que a razão para a execução de tarefas de manutenção não é apenas evitar a ocorrência de falhas por si só, mas também evitar, ou pelo menos reduzir/controlar as suas consequências. Portanto, a RCM foca-se na preservação da função, em vez do foco no *hardware* em si (Nowlan e Heap, 1978; Kumar, 1990; Moubray, 1997). Ao utilizar uma abordagem baseada no nível de preservação da função do sistema, o RCM trata componentes diferentes, em termos de relação de importância, de acordo com a correlação entre o equipamento e a função do sistema.

A metodologia RCM para o desenvolvimento de programas de manutenção pressupõe (Nowlan e Heap, 1978; Moubray, 1997; Dhillon, 2002):

- I. A preservação da função para garantir o funcionamento do sistema e a disponibilidade dos equipamentos de proteção.
- II. Uma abordagem do tipo *top-down*, ao nível dos sistemas, para identificação das funções dos componentes.
- III. Uma abordagem orientada para as consequências das falhas, a fim de assegurar o controlo do risco, que pode ser de segurança, ambiental ou económico.
- IV. Uma abordagem orientada para a tarefa, no sentido da preparação do programa de manutenção.

As análises conduzidas segundo a RCM podem ser realizadas como uma sequência de atividades ou etapas, que inclui: a preparação do estudo; a seleção e identificação dos sistemas; a análise de falhas funcionais; a seleção dos bens críticos; a recolha de dados; a análise dos modos e efeito das falhas e a sua criticidade; a seleção das ações de manutenção; a determinação dos intervalos de manutenção; a análise comparativa da manutenção preventiva; o tratamento dos bens não críticos e a implementação de um serviço de recolha e atualização de dados (Rausand, 1998). Independente da estratégia adotada, a metodologia RCM deverá garantir que cada uma das seguintes questões seja respondida satisfatoriamente, na sequência apresentada para assegurar o sucesso do programa de manutenção (SAE, 1999):

- I. Quais são as funções e os padrões de desempenho associados do item no seu atual contexto operacional (funções)?
- II. De que forma é que um item não cumpre as suas funções (falhas funcionais)?
- III. Qual é a causa de cada falha funcional (modos de falha)?
- IV. O que acontece quando ocorre cada falha (efeitos de falha)?
- V. Qual a influência de cada falha (consequências da falha)?
- VI. O que pode ser feito para prevenir cada falha (tarefas pró-ativas e intervalos de tarefas)?
- VII. O que deve ser feito se não for encontrada uma tarefa preventiva adequada (ações padrão)?

Em suma, o processo da RCM é ilustrado pela Figura 5.

A seleção de tarefas de manutenção segundo a metodologia RCM baseia-se em critérios de aplicabilidade (viabilidade técnica) e de eficácia.

A aplicabilidade de uma tarefa depende da fiabilidade e características das falhas do bem (Vanston, 1998; Nowlan e Heap, 1978; MIL-STD-2173(AS), 1986; SAE, 2002). A eficácia de uma tarefa pode ser aferida através da quantificação do nível de cumprimento dos seus objetivos, que está dependente das consequências de falhas (Nowlan e Heap, 1978; DoD, 1986).

No âmbito da RCM, as tarefas de manutenção propostas têm como objetivo evitar a deterioração dos níveis inerentes de segurança e de fiabilidade dos bens ou repõe as capacidades de executar as funções. As estratégias de manutenção aplicáveis em função dos padrões das falhas podem ser classificadas do seguinte modo (Nowlan e Heap, 1978):

1. Manutenção *Hard-Time* aplicável para modos de falha que requeiram manutenção periódica em intervalos definidos de tempo ou de utilização.
2. Manutenção *On-Condition*, aplicável para modos de falha que requeiram inspeções periódicas, ou verificações a fim de quantificar o nível de deterioração de um item. De acordo com a avaliação feita tomar a decisão de executar ações de manutenção corretiva, ou deixar o item permanecer em serviço.
3. Monitorização da condição, *Condition Monitoring*, aplicável em componentes onde a falha é tolerável, em modos de falha que requeiram inspeções e

verificações inopinadas, ou em potenciais falhas possam ser detetáveis através de monitorizações de rotina durante o normal funcionamento.

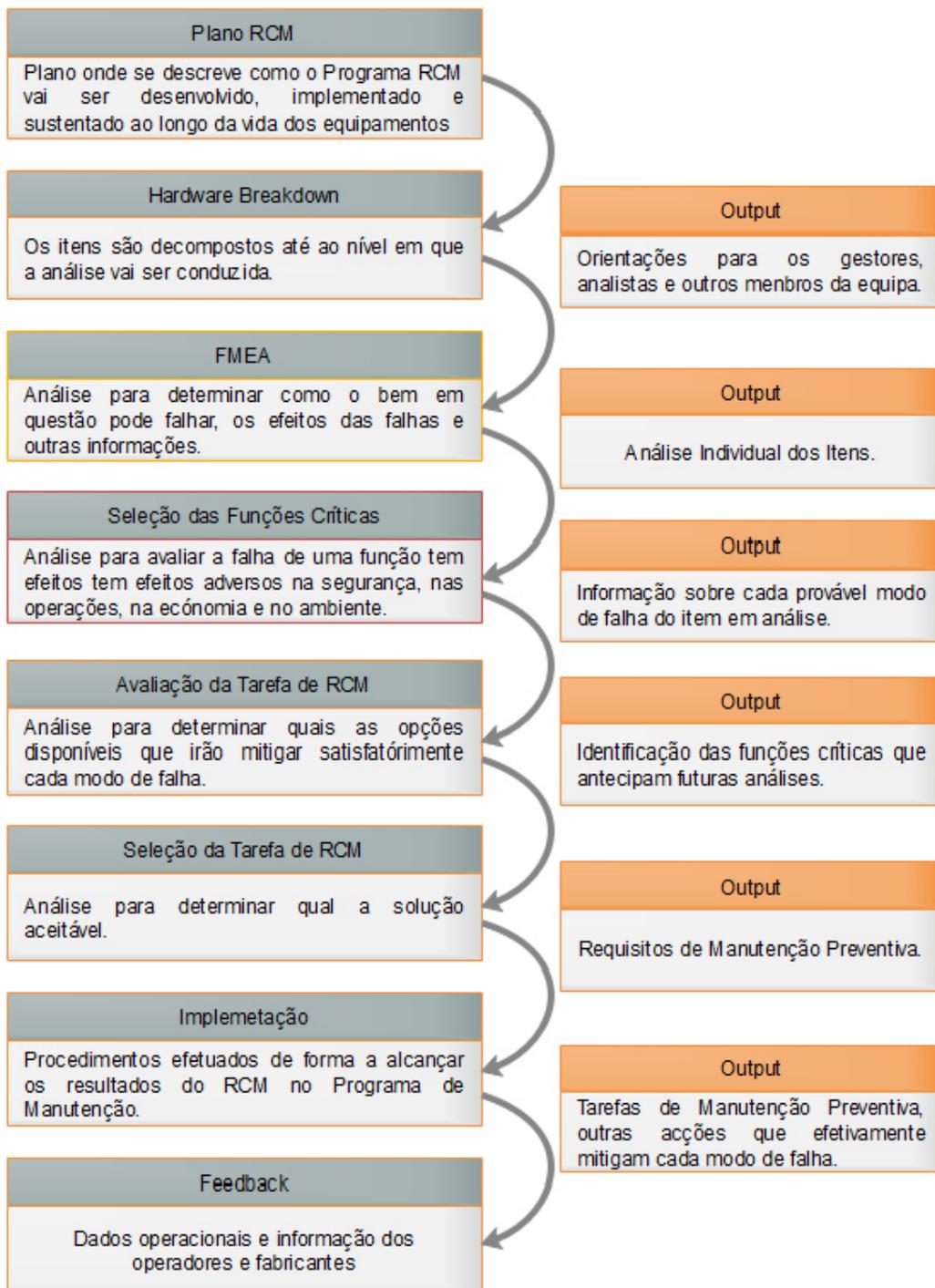


Figura 5 – Processo de Desenvolvimento de um Programa Manutenção segundo RCM.

Procedendo à seguinte distinção (Nowlan e Heap, 1978), conforme se ilustra na Figura 6:

- **Componentes, que não colocam em risco a Segurança:** as tarefas de manutenção periódica deverão ser executadas, apenas quando a execução da tarefa de manutenção reduzir os custos relacionados com o ciclo de vida do componente.
- **Componentes, que colocam em risco a Segurança:** as tarefas de manutenção periódica deverão ser executadas, apenas quando estas prevenirem um decréscimo na fiabilidade ou deterioração da segurança para níveis inaceitáveis, ou quando as tarefas reduzirem os custos relacionados com o ciclo de vida do componente.

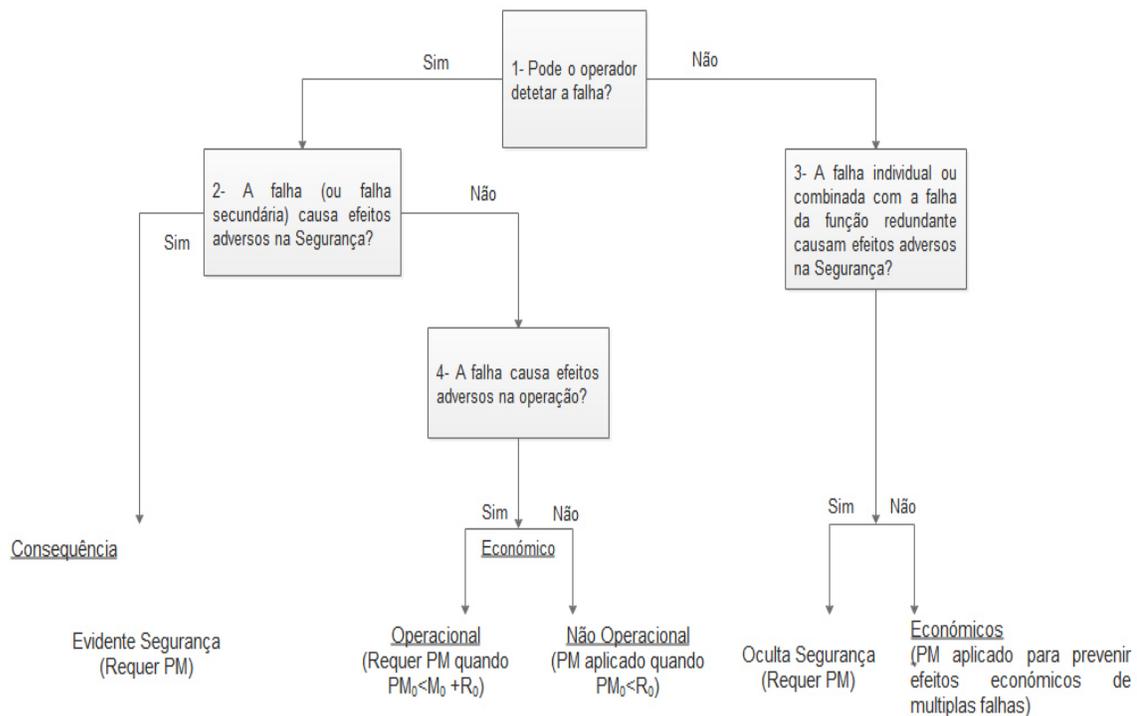


Figura 6 - Esquema da Lógica de Decisão da RCM

Assim, as tarefas de manutenção preventiva definidas na RCM são as seguintes (Nowlan e Heap, 1978; SAE, 1999; NAVAIR 00-25-403, 2005; IEC, s.d.):

1. Inspeção programada da condição: tarefa programada utilizada para detetar potenciais falhas.

2. Restauração programada: tarefa programada que repõe a capacidade de um bem em um intervalo especificado (limite potencial), independentemente da sua condição no momento, para um nível que garanta uma probabilidade tolerável de sobrevivência até ao final doutro intervalo específico de tempo.
3. Substituição programada: tarefa programada que implica a substituição do bem no final de um potencial especificado, independentemente da sua condição no momento.
4. Inspeção programada de deteção de falha: tarefa programada utilizada para determinar se ocorreu uma falha oculta.

No entanto, se não for encontrada uma tarefa de manutenção que seja aplicável e efetiva, deverá ser decidido uma das seguintes opções:

1. A não aplicação de qualquer tarefa programada de manutenção preventiva (*run to failure*), se o risco em termos globais o permitir;
2. Refazer o projeto, quando o risco não permitir.

Portanto, quando for tecnicamente inviável executar eficazmente uma tarefa de manutenção programada e/ou quando uma falha não afete a segurança, ou acarreta apenas reduzidas penalidades económicas, não executar qualquer tarefa de manutenção programada ou deixar operar até falhar são medidas aceites.

Assim, o desenvolvimento de programas de manutenção segundo a metodologia RCM é um processo sistemático e sequencial que garante que os bens permanecem em boas condições de funcionamento, mas também que cumprem os requisitos operacionais (IEC, 1999).

3.3. Maintenance Steering Group MSG-3

O *Maintenance Steering Group* foi criado em 1968, com a missão de desenvolver um processo de lógica de decisão a ser utilizado na definição dos requisitos iniciais de manutenção programada para aeronaves novas. O grupo é composto por diversas entidades na área aviação, incluindo a ATA, as companhias aéreas, os fabricantes de aeronaves, os fornecedores e representantes da FAA. Nesse ano desenvolveram uma metodologia que foi denominada de "MSG-1" referente à avaliação da manutenção e ao

desenvolvimento de programas, com propósito de ser utilizada no desenvolvimento do programa de manutenção da nova aeronave Boeing 747. Pela primeira vez utiliza-se um diagrama de lógica para este efeito, sendo que as tarefas de manutenção de rotina desenvolvidas seguiram as estratégias de manutenção *Hard-Time* e *On Condition* (Ackert, 2010).

Em 1970, o MSG-1 é atualizado para o MSG-2 com o intuito de torná-lo aplicável às aeronaves de última geração (L-1011 e CC-10), introduzindo um terceiro processo de manutenção definido como *Condition-Monitoring* (CM).

Em 1979, nasce o MSG-3 de um esforço conjunto de fabricantes, autoridades reguladoras, operadores e da Associação de Transporte Aéreo dos EUA da necessidade de melhorar o MSG-2 e de modo a tratar a nova geração de aeronaves de tecnologia avançada, ver Figura 7 (B757 e B767) (FAA, 1997; Transport Canada, 2003). Para além disso, o grupo de trabalho havia identificado uma série de deficiências na lógica de decisão do MSG-2 que teriam de ser colmatadas, o que levou ao desenvolvimento de um novo processo de manutenção, orientado para a tarefa, definido como MSG-3 (Ackert, 2010). A Figura 7 ilustra a evolução da metodologia do *Maintenance Steering Group*.

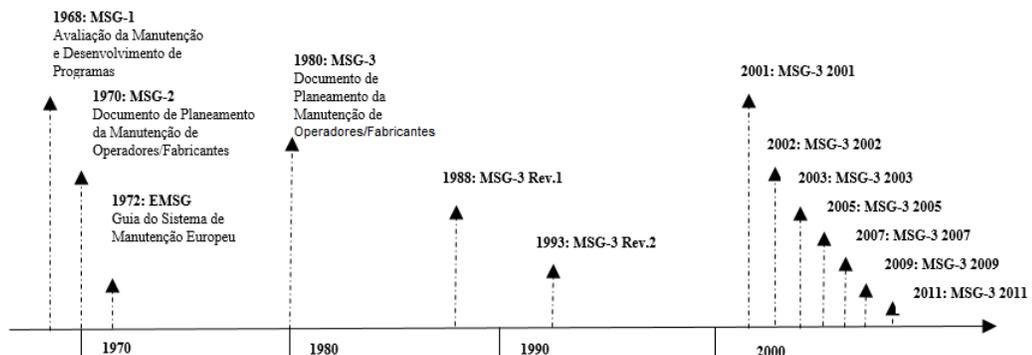


Figura 7 - Evolução da metodologia do Maintenance Steering Group. (Fonte: adaptado de FAA, 2012)

Devido à heterogeneidade do grupo de trabalho responsável, o MSG-3 implicitamente incorpora os princípios da filosofia (fundamentos) da Manutenção Centrada na Fiabilidade para justificar o desenvolvimento de tarefas, mas não os aplica integralmente no que à auditoria e à fundamentação das tarefas iniciais definidas diz respeito (Transport Canada, 2003).

O MSG-3 descreve a organização geral e o processo de decisão para determinar os requisitos de manutenção programada inicialmente projetados para preservar a vida da aeronave e seus sistemas, com o intuito de manter os níveis de segurança e fiabilidade inerentes da aeronave, conforme se ilustra na Figura 8. Esta metodologia divide as aeronaves em sistemas (*Systems/Powerplant*), estruturas (*Aircraft Structures*) e zonas (*Zonal Inspections*), e consoante o caso, preconiza procedimentos de análise diferentes.

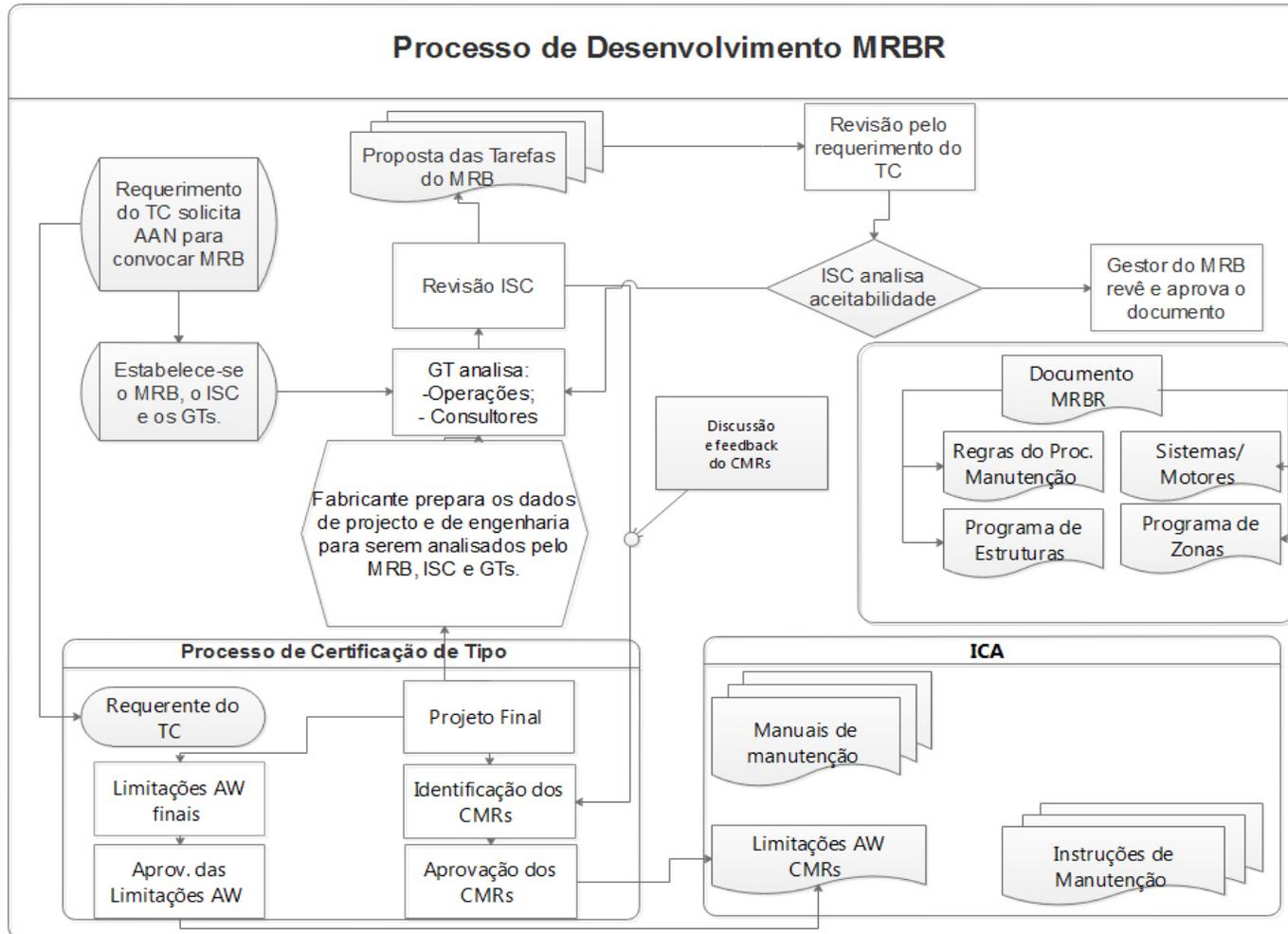


Figura 8 - Processo do *Maintenance Review Board* inserido no processo de Certificação de Aeronavegabilidade de produtos aeronáuticos. (Fonte: adaptado de EASA, 2010)

Segundo a ATA (2007), a manutenção programada eficiente de aeronaves possui os seguintes objetivos:

1. Assegurar os níveis de segurança e fiabilidade inerentes da aeronave.
2. Restaurar a segurança e a fiabilidade para os seus níveis inerentes sempre que ocorra a sua degradação.
3. Produzir as evidências necessárias para a melhoria do projeto dos bens cuja fiabilidade inerente se revele inadequada.
4. Consubstanciar o critério do custo total mínimo, incluindo os custos de manutenção.

Estes objetivos são atingidos através da realização de diferentes análises, compreendendo diversas etapas conforme sejam sistemas, estruturas ou zonas da aeronave. Não obstante das particularidades próprias de cada um dos casos, o processo de desenvolvimento de um programa de manutenção segundo a lógica de decisão MSG-3 pode ser observado na Figura 9. O modelo proposto para a criação de um plano inicial de manutenção para RPAS segue o processo do *Maintenance Review Board*, no entanto na fase de projecto os dados fiabilísticos são obtidos através de análises morfológicas a sistemas de outras aeronaves (FAA, 1997; FAA, 2012).

No entanto, se o requerente propuser utilizar um processo diferente do MRB, terá de demonstrar que os seus meios alternativos de cumprimento irão resultar num nível equivalente de integridade e segurança (EASA, 2010).

Sendo inédito em Portugal a aplicação desta metodologia no desenvolvimento de PMI de RPAS, nas seções seguintes procurar-se-á descrever o processo de análise definidos sob a lógica do MSG-3 para sistemas, estruturas e zonas da aeronave.

3.2.1. Sistemas - *Systems/Powerplant*

Segundo a ATA (2007), designam-se de sistemas da aeronave todos os constituintes do *Aircraft System* e do *Powerplant System* (ver Anexo II). Ou seja, compreende os sistemas de controlo, de navegação e de comunicação, assim como a fonte de energia da aeronave e os seus equipamentos associados.

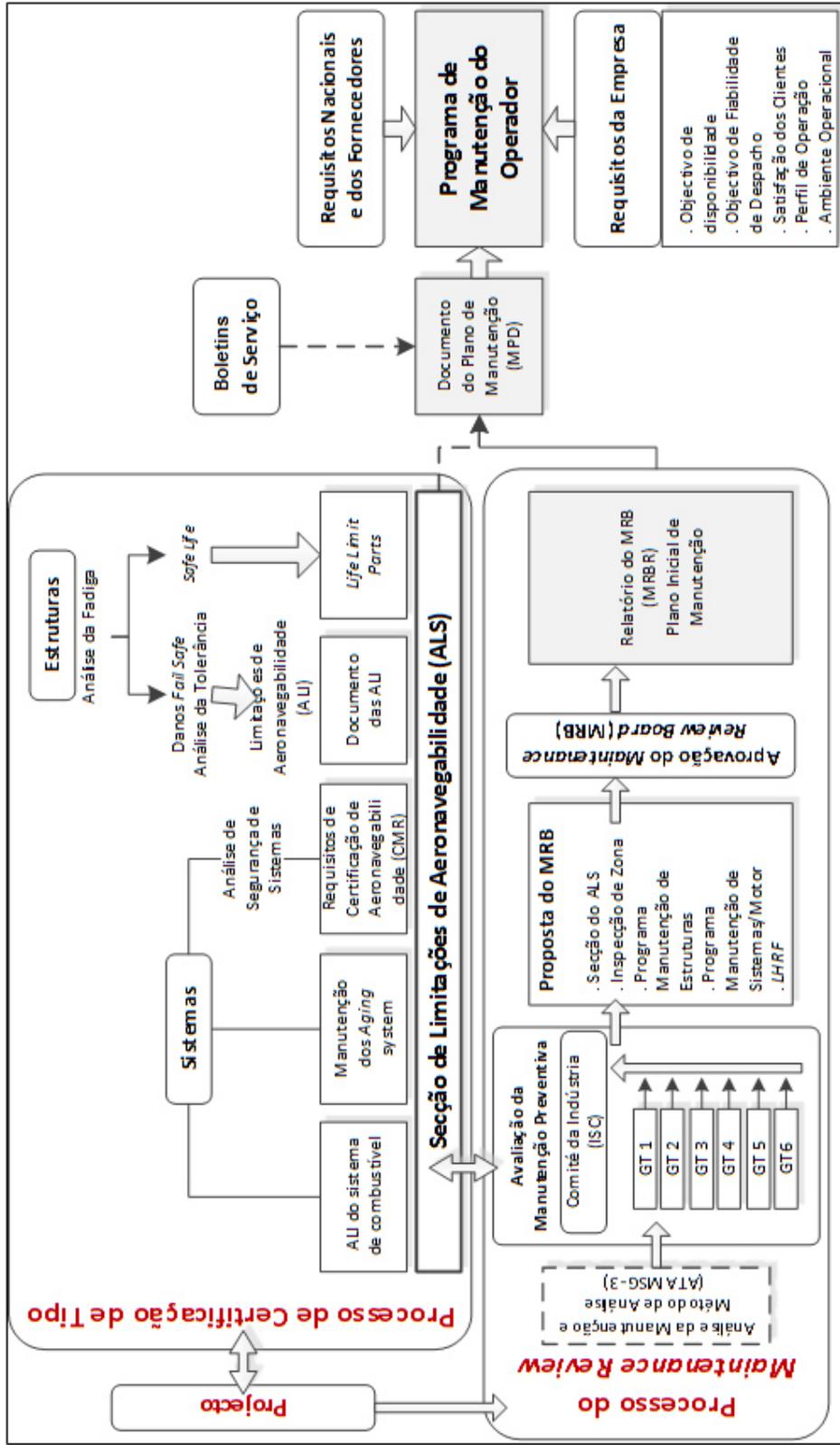


Figura 9 - Processo de Desenvolvimento de Programas de Manutenção através do método MSG-3. (Fonte: Ahmadi, 2010)

O MSG-3 para todos os sistemas da aeronave preconiza que seja realizada uma análise que está estruturada em duas etapas, nomeadamente (ATA, 2007):

- I. A seleção dos bens considerados críticos (*Maintenance Significant Item* - MSI);
- II. A análise dos MSI, que inclui a identificação: das suas funções, das suas falhas funcionais, dos seus efeitos de falhas e das causas da falha;

A seleção das ações de manutenção utilizando uma lógica de decisão, que inclui:

- a. A avaliação das consequências de falhas (análise nível 1);
- b. A seleção do tipo específico de tarefa (s) de acordo com a consequência de falha (análise nível 2).

Previamente ao início do processo do MSG-3 terão que ser claramente identificadas as funções, as falhas funcionais, os efeitos das falhas e as suas causas para cada um dos sistemas da aeronave. Para tal, normalmente utilizam-se as análises FMEA. O processo inicia com a divisão da aeronave nas suas principais áreas funcionais, segundo o estabelecido pela ATA para sistemas e subsistemas. Prossegue até que todos os itens rotáveis sejam identificados. A metodologia MSG-3 utiliza um conjunto de questões que auxiliam na avaliação, se a perda de função (falha) tem impactos na segurança, na operação ou resulta em perdas económicas. Deste modo, utilizando uma abordagem *top-down*, compila-se a lista de itens que irão ser sujeitos às seguintes questões de seleção de MSI (ATA, 2007):

- a) A falha pode ser impercetível ou é provável de não ser detetada pela tripulação durante funções normais?
- b) A falha pode afetar a segurança (no solo ou em voo), incluindo os sistemas ou equipamento de segurança/emergência?
- c) A falha tem impactos operacionais significativos?
- d) A falha tem impactos económicos significativos?

Assim, todos itens que obtiverem pelo menos uma resposta afirmativa a uma das questões anteriores deverão ser considerados “candidatos a MSI” (ATA, 2007). Segundo ATA (2007), “*An MSI is usually a system or sub-system, and is, in most cases, one level above the lowest (on-aircraft) level*”. Em seguida, os candidatos a MSI são sujeitos à análise MSG-3, através das seguintes questões, a fim de determinar os efeitos das suas falhas funcionais (ATA, 2007):

1. A Falha Funcional é Evidente ou Oculta? (A tripulação operacional está ciente ou não da perda (falha) da função durante a execução do normal das suas funções)

2. O Efeito é Adverso Direto na Segurança? (A falha funcional atinge por si só o seu efeito, sendo que a segurança é negativamente afetada)
3. A Falha Funcional tem Efeito Oculto na Segurança? (A perda de uma função oculta em combinação com uma falha funcional adicional tem um efeito adverso na segurança operacional)
4. A Falha Funcional tem Efeito Operacional? (A avaliação da existência ou não de uma falha com efeito sobre a capacidade operacional)

Sendo que as falhas funcionais consideradas evidentes são analisadas como falhas individuais. Para as falhas consideradas como ocultas o seu o impacto global terá de ser analisado em conjugação com a ocorrência de outras falhas, normalmente relacionada com funções protegidas. A classificação de falha evidente ou oculta é vital para a avaliação dos equipamentos, sobretudo quando se tratam de equipamentos de proteção, dado a relevância das suas funções para a aeronave (ATA, 2007). Da avaliação dos efeitos das falhas funcionais resulta a alocação dos efeitos nas seguintes categorias: Segurança Evidente; Operacional Evidente; Económico Evidente; Segurança Oculta e Não-Segurança Oculta, que permite a posterior seleção da tarefa de manutenção mais adequada, conforme se ilustra na Figura 10 (ATA, 2007).

A seleção da tarefa manutenção específica em função das falhas funcionais utiliza uma lógica binária do diagrama de decisão (respostas sim/não), e pressupõe uma determinada ordem para a seleção da estratégia de gestão da falha, nomeadamente: primeiro, a inspeção *on-condition*; segundo, a restauração; terceiro, a substituição; quarto, a inspeção de deteção de falhas, e por último uma combinação das tarefas anteriores (ATA, 2007). As tarefas de manutenção recomendadas para os sistemas das aeronaves (com exceção do sistema estrutural) são as seguintes (ATA MSG-3, 2007):

- A Lubrificação / *Servicing*;
- O Check Visual / Operacional (falhas evidentes);
- A Inspeção / Check Funcional;
- A Restauração;
- A Substituição;
- A Combinação de tarefas de manutenção (categorias de segurança);
- O Reprojeter (consequência de segurança).

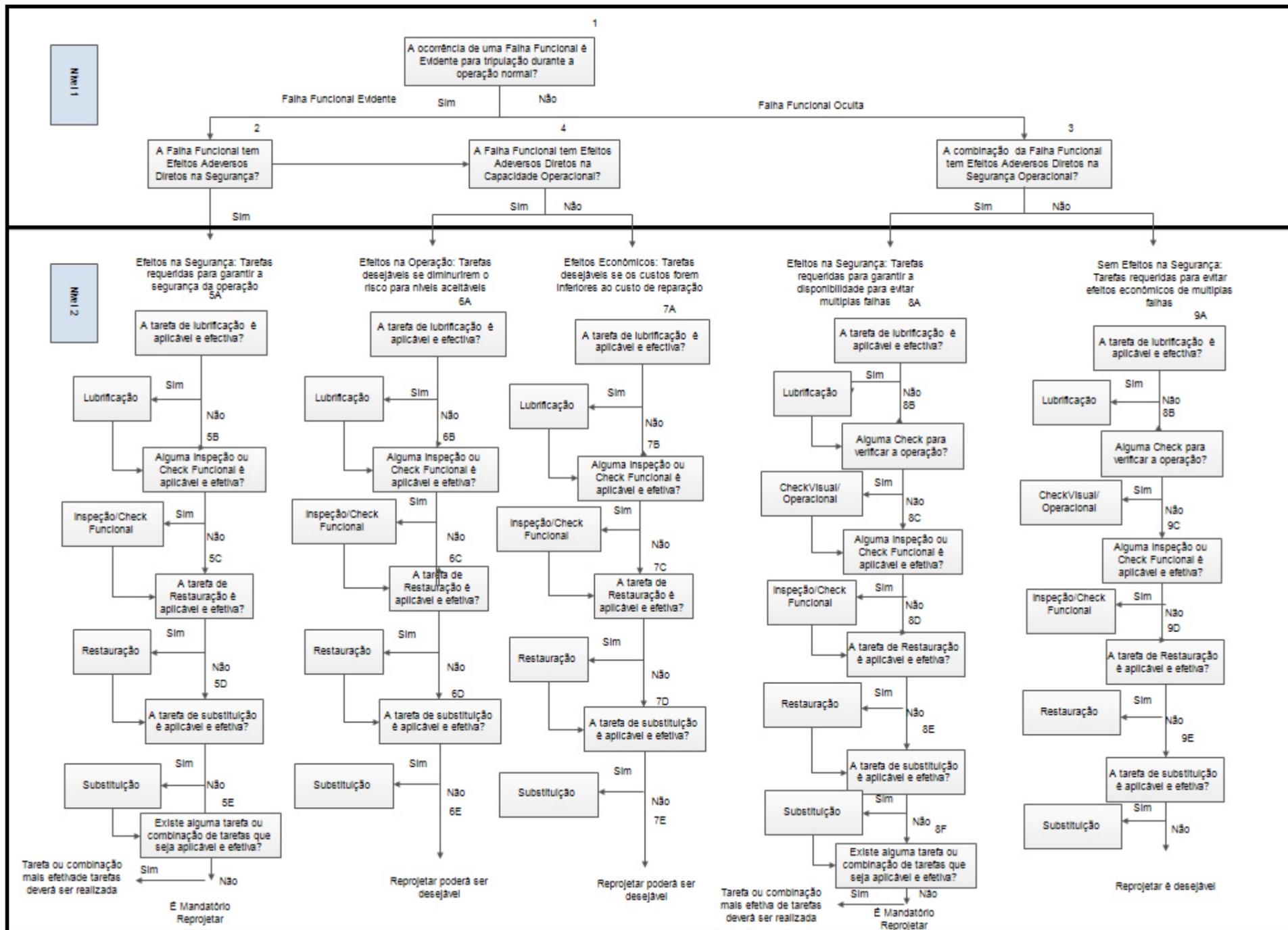


Figura 10 - Diagrama da Lógica de Decisão do MSG-3. (Fonte: adaptado de ATA, 2007)

O processo de seleção das tarefas de manutenção ilustrado na Figura 10 apresenta dois níveis de análise. No primeiro nível avalia-se o tipo de falha funcional e as suas consequências. No segundo nível realiza-se a seleção da estratégia de manutenção apropriada de acordo com as consequências das falhas.

Constata-se que, sempre que, sendo necessária, nenhuma tarefa de manutenção programada seja aplicável e ou eficaz, a opção será “reprojetar”, em virtude da satisfação do critério de aplicabilidade e eficácia. Semelhante abordagem é realizada para as falhas operacionais ou económicas, segundo o diagrama da lógica de decisão do MSG-3.

A seleção da tarefa de manutenção baseia-se única e exclusivamente, na antecipação das consequências das falhas, não se considerando a gravidade das consequências, num nível mais detalhado, ou a frequência da ocorrência. Portanto, esta metodologia é muito conservadora, pois quer os itens cuja falha é improvável de ocorrer, como aquelas em que o risco já se encontra num nível tolerável são considerados MSI (Transport Canada, 2003).

As tarefas de manutenção determinadas, assim como os seus intervalos, servem de base para o desenvolvimento para o programa inicial de manutenção para os operadores, destinada a regular a sua política de manutenção inicial (EASA, 2009a). No entanto, o aumento da experiência operacional permitirá que ajustes adicionais sejam efetuados pelo operador de modo a otimizar a sua estratégia de manutenção programada requerendo para tal autorização junto das Entidades Reguladoras.

3.2.2. Estruturas - *Aircraft Structures*

Designa-se de estrutura da aeronave, todos os componentes que suportam cargas, nomeadamente: as asas, a fuselagem, a empenagem vertical, os apoios dos motores, o trem de aterragem, as superfícies de controlo de voo e todos os pontos de ligação (ATA, 2007).

A análise preconizada no MSG-3 para estruturas é constituída por várias etapas, sendo que na primeira realiza-se a determinação dos diferentes componentes estruturais da aeronave. As estruturas da aeronave podem ser classificadas de estruturas críticas (*Significant Structure Item – SSI*), ou outras estruturas (*Other Structure*), dependendo das consequências das suas falhas em relação à segurança da aeronave. Os SSI poderão conter ou não elementos estruturais principais (*Principal Structure Element – PSE*), conforme se ilustra na Figura 11 (ATA, 2007). Os SSI são todo e qualquer conjunto, componente, que contribui significativamente para realização do voo e deslocação no solo, assim como suporta as cargas, cuja falha pode afetar a integridade estrutural necessária para a segurança da

aeronave. Os *PSE* são todos os componentes estruturais que contribuem significativamente para o desempenho da aeronave, quer em voo ou no solo, assim como o suporte das cargas, cuja consequência da falha é considerada catastrófica. Assim, todos os componentes não classificados de *SSI* são designados de “outras estruturas” (ATA, 2007).



Figura 11 – Classificação das estruturas das aeronaves segundo o MSG-3 (Fonte: EADS CASA, 2007).

Adicionalmente, as estruturas são avaliadas quanto à aplicabilidade e efetividade dos diferentes métodos de prevenção, de controlo e de deteção de danos estruturais ou de degradação, e quanto aos seus materiais de fabrico. Sendo classificadas de: estruturas *Fail-Safe*; estruturas *Safe Life*; estruturas metálicas e não metálicas, de acordo com as relações avaliadas (ATA, 2007).

As estruturas designadas de *Fail-Safe* são o tipo de estrutura tolerante ao dano, ou seja, são capazes de suportar o dano garantindo que a restante estrutura suporta razoavelmente, a aplicação de cargas até que o dano seja detetado na próxima ação de manutenção ou inspeção definida pelo programa de manutenção (ATA, 2007).

As estruturas designadas de *Safe Life* são o tipo estrutura onde a sua fiabilidade é assegurada através da substituição dos componentes antes do aparecimento expectável de fissuras (ATA, 2007).

As estruturas podem ser metálicas em compósitos (ATA, 2007). A lógica de decisão subjacente na análise de estruturas tem em consideração a suscetibilidade das fontes de degradação, a inspectabilidade, (em função da localização), as dimensões do dano, a tipologia de inspeção e a acessibilidade. A Figura 12 ilustra o conjunto de procedimentos que

constituem a análise das estruturas de uma aeronave com vista ao desenvolvimento do seu programa de manutenção.

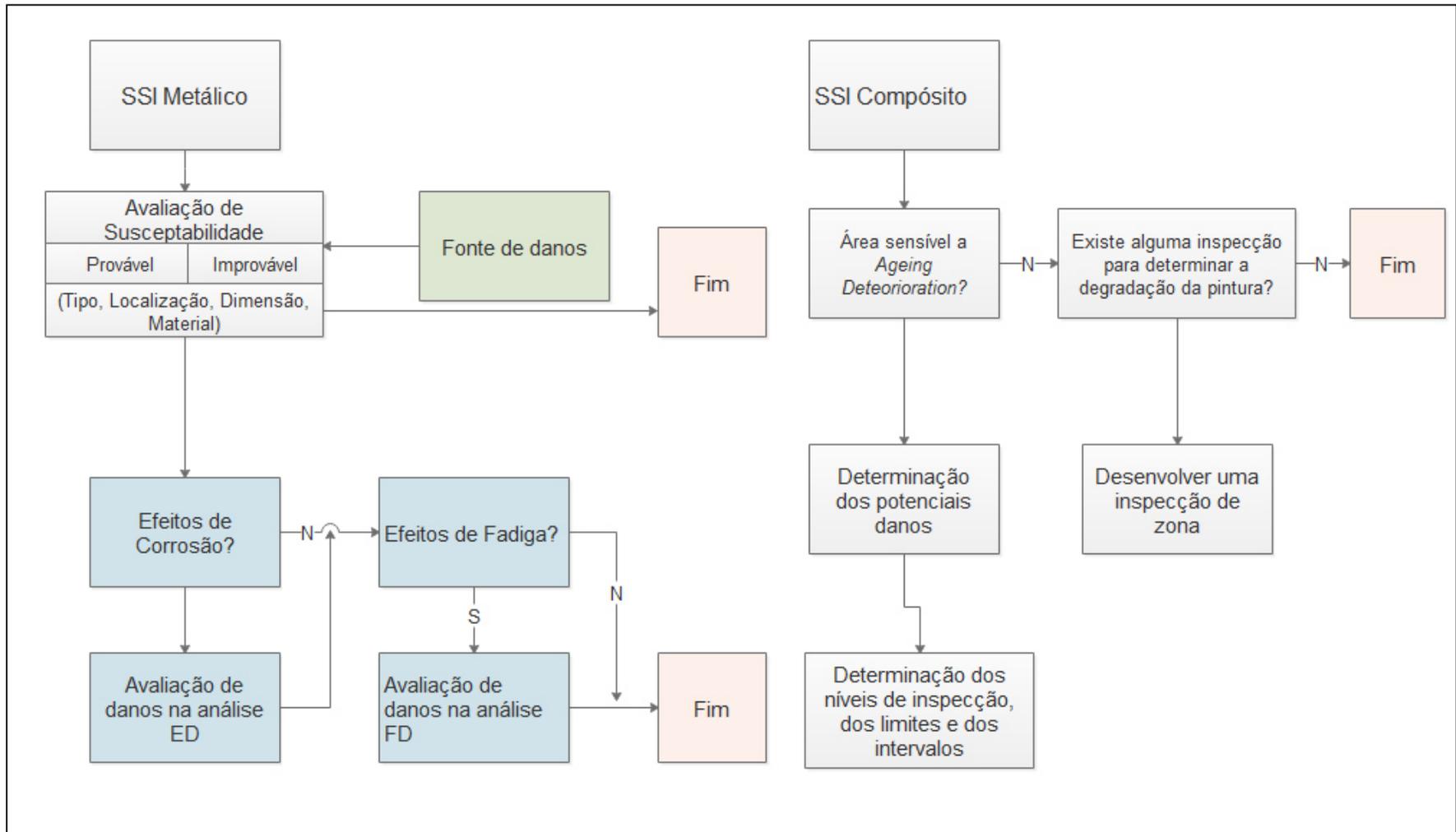


Figura 12 - Procedimentos de determinação dos danos associados às diversas estruturas da aeronave. (Fonte: adaptado de Boeing, 2012).

A avaliação inicial das estruturas da aeronave é crucial pois, permite desenvolver os procedimentos do programa de manutenção estrutural. Ou seja, se estamos presente uma estrutura não metálica, deverão ser analisados os efeitos causados: por danos acidentais (*AD*), por deterioração ambiental (*ED*), por fadiga (*FD*) e por o efeito da idade, *Aging deterioration*. No entanto, se estivermos perante uma estrutura metálica, deverão ser analisados quanto aos efeitos da deterioração acidental e da deterioração ambiental, nomeadamente os efeitos causados pela corrosão (ATA, 2007).

O dano acidental é a deterioração de um componente resultante de contactos acidentais com corpos estranhos à aeronave, ou seja, decorrentes do processo de fabrico ou danos causados por erro humano. O dano ambiental consiste na deterioração de um componente estrutural resultante de interações com o ambiente ou devido a condições climáticas. O dano por fadiga consiste no desenvolvimento e conseqüente aparecimento de fissuras resultantes de “ciclos de carga” aplicados às estruturas. O dano por *Aging deterioration* é toda a deterioração provocada na estrutura causada pelo contacto com o ambiente, pelos esforços (cargas) aplicados, ou pelo envelhecimento devido à operação, sendo mais evidente em materiais compósitos (ATA, 2007).

Segundo a metodologia MSG-3, as tarefas ou técnicas de manutenção aplicadas às estruturas são (ATA, 2007):

- Inspeção visual geral (*GVI*) é um exame visual usado na deteção de discrepâncias ou anomalias evidentes.
- Inspeção detalhada (*DET*) é um exame visual pormenorizado de um componente, de um equipamento, de um conjunto de componentes ou de um sistema.
- Inspeção especial detalhada (*SDI*) é um exame exaustivo a um determinado local ou detalhe, muito semelhante com a inspeção detalhada, mas com a particularidade de ser executada com recurso às técnicas de ensaios não destrutivos.

Pode-se afirmar que o programa de manutenção de estruturas resultará de um conjunto de análises, que para além de identificarem as tarefas de manutenção para cada componente estrutural, também possibilitam a definição das limitações de aeronavegabilidade, conforme se ilustra na Figura 13.

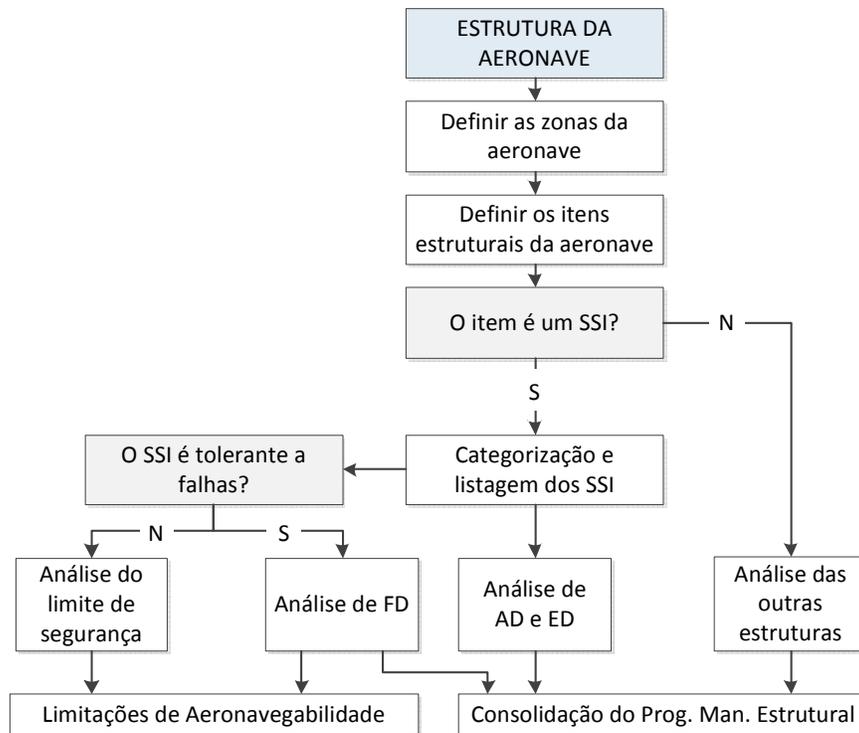


Figura 13 - Esquema do desenvolvimento de programa de manutenção de estruturas (Fonte: adaptado de ATA, 2007).

As estruturas designadas *Other Structure* são analisadas de modo próprio e vão dar origem a programa de inspeção de Zona, que será descrito na próxima secção.

3.2.3. Zonas - Zonal Inspections

A análise das zonas das aeronaves, segundo a metodologia MSG-3, permite a determinação das inspeções de zona. Só poderá ser conduzida após a realização das análises aos sistemas e às estruturas, para que as inspeções daí resultantes sejam também consideradas (ATA, 2007).

A lógica MSG-3 permite determinar as tarefas de manutenção aplicáveis e eficazes para minimizar a contaminação das zonas da aeronave e abordar as discrepâncias significativas relativas às cablagens elétricas que, de outro modo não poderiam ser detetadas de forma sistemática e fiável. As tarefas de manutenção específicas resultantes da análise de zona poderão ser posteriormente incluídas nas tarefas alocadas aos sistemas e às estruturas (ATA, 2007).

A análise às zonas preconizada pelo MSG-3 engloba a execução de vários procedimentos, numa sequência lógica, dos quais resultará o programa de inspeções de zona (ATA, 2007):

- I. Divisão interna e externa da aeronave em zonas segundo a (AECMA, 1999);
- II. Elaboração de um documento para cada zona identificada contendo informação relativa à sua localização, aos seus acessos, ao seu tamanho, aos tipos de sistemas e componentes aí instalados, etc;
- III. Determinação dos intervalos de repetição das inspeções de zona através do desenvolvimento de tabelas de classificação probabilidade de ocorrência do dano e a densidade de equipamentos instalados na zona;
- IV. Identificação das zonas, que simultaneamente contenham cablagens elétricas e materiais combustíveis;
- V. Realização de análises de zona que permitam determinar as inspeções e as tarefas de manutenção para mitigar os potenciais danos identificados.

As tarefas de manutenção utilizadas no programa de inspeção de zona são (ATA, 2007):

- Inspeção Visual Global (*General Visual Inspection* - GVI): exame visual para detetar condições e discrepâncias óbvias de insatisfação.
- Inspeção detalhada (*DETAILED Inspection* – DET): exame completo de um componente, instalação ou conjunto para detetar danos, falhas ou defeitos.
- Restauração (*ReSToration* – RST): reposição das condições originais aplicável às cablagens elétricas e às suas instalações, através de ações de limpeza ou substituição.
- Teste Funcional (*FuNctional check* – FNC): teste quantitativo à continuidade da impedância para determinar se uma ou mais funções de um item se encontram dentro dos limites especificados.

Os intervalos das tarefas de manutenção do programa de inspeções de zona baseiam-se na suscetibilidade ao dano dos equipamentos, no volume de atividades na zona e na experiência do operador e do fabricante em sistemas ou estruturas semelhantes (ATA, 2007). Para uma dada zona, mais do que uma tarefa de manutenção pode ser identificada e, neste caso, a frequência de inspeção é inversamente proporcional à quantidade de acessos requeridos; ou seja, quanto maior for o acesso exigido, menor deve ser a frequência de inspeção. A Figura 14 ilustra o esquema do desenvolvimento do programa de inspeção de zona.

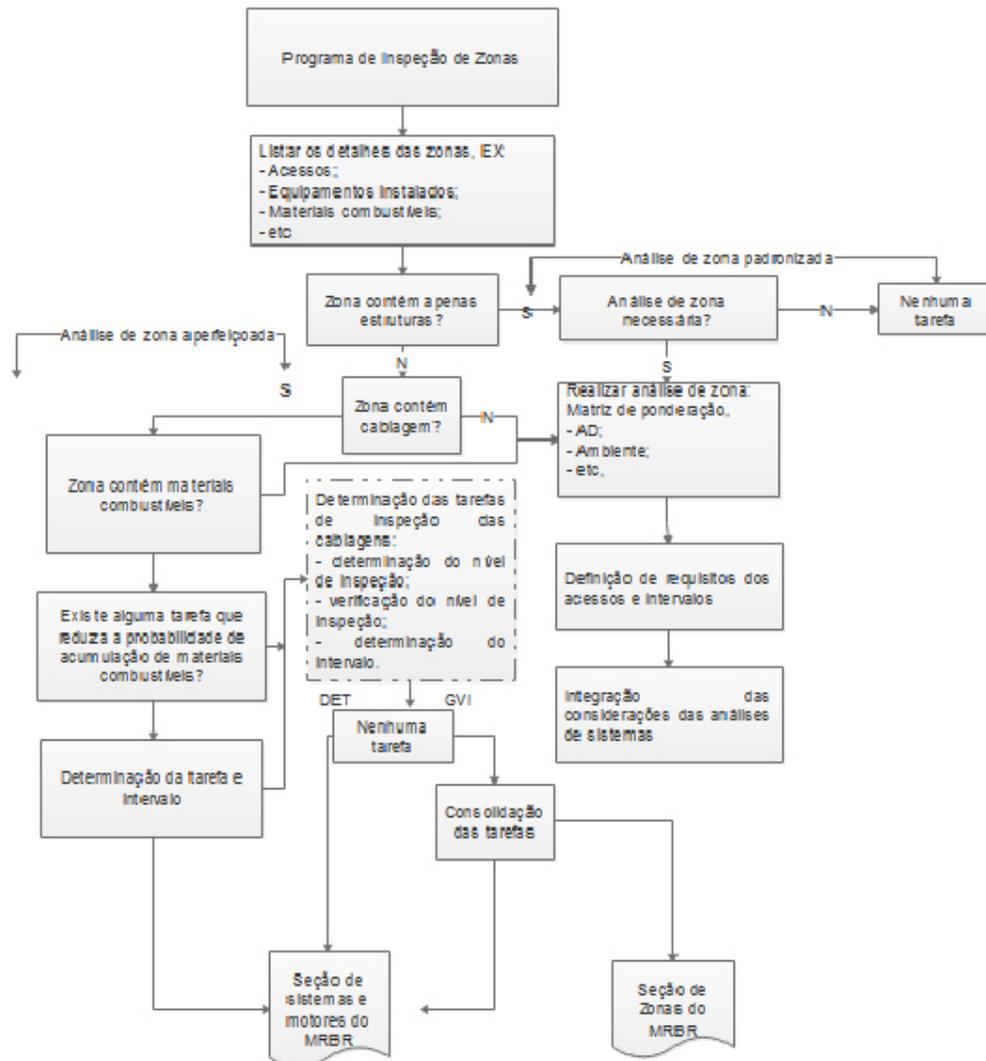


Figura 14 - Esquema do desenvolvimento do programa de inspeção de zona. (Fonte: adaptado de ATA, 2003)

3.4. Sumário

Neste capítulo foram abordadas as metodologias utilizadas no setor aeronáutico para o desenvolvimento de programas de manutenção inicial para aeronaves, nomeadamente: a Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM) e o MSG-3. Na metodologia proposta para o desenvolvimento do Plano Inicial de Manutenção serão incorporados os procedimentos da metodologia MSG-3.

No capítulo seguinte será abordado o processo de certificação de RPAS, no qual o programa de manutenção assume uma elevada importância na fase de demonstração de evidências de cumprimento dos requisitos de segurança e de aeronavegabilidade.

Capítulo 4

Certificação no Sector Aeronáutico

4.1. Introdução

No sector aeronáutico devido aos apertados requisitos de segurança existe a necessidade de promover a nível internacional padrões comuns em matéria de normas e regras de segurança da aviação civil, estabelecendo relações de cooperação adequadas com países terceiros e organizações internacionais (CE, 2008). Deverá garantir-se permanentemente na aviação um nível elevado e uniforme de protecção dos cidadãos através da aprovação de normas de segurança comuns e de medidas que assegurem que os produtos, as pessoas e as organizações neste sector as obedecem, assim como às normas de protecção ambiental. Os requisitos estão consignados num documento denominado de “Parte 21” da EASA relativamente à certificação de aeronavegabilidade e deverão contribuir para facilitar a livre circulação de mercadorias, pessoas e organizações (CE, 2008).

O Regulamento da Comunidade Europeia (CE, 2003) define os requisitos técnicos e procedimentos administrativos comuns que são necessários adoptar que assegurem a aeronavegabilidade e a compatibilidade ambiental dos produtos, das peças e dos equipamentos aeronáuticos.

Uma referência mais directa encontra-se no ponto (d) *Maintenance Programme – Reliability programmes* do capítulo *Continuing Airworthiness* da ED Decision N° 2003/19/RM e no ponto M.A.302 *Maintenance Programme da Subpart C Continuing Airworthiness da Commission Regulation* (EC) N° 2042/2003, na qual refere que os programas de manutenção de aeronaves devem conter um programa de fiabilidade. Estes devem ser baseados na lógica do MSG (CE, 2003).

Esses requisitos e procedimentos deverão especificar as condições para (CE, 2003):

- Emissão de certificados-tipo, de certificados-tipo restritos e certificados-tipo suplementar, bem como de alterações a esses certificados;
- Emissão de certificados de aeronavegabilidade e de certificados restritos de aeronavegabilidade, licenças de voo e certificados de aptidão;
- Emissão de aprovações de projectos de reparação;
- Demonstração do cumprimento dos requisitos de protecção ambiental;
- A emissão de certificados de emissão de ruído;
- A identificação de produtos, peças e equipamentos;
- A certificação de determinadas peças e equipamentos;
- A certificação de entidades de projecto e produção;
- A emissão de directivas sobre aeronavegabilidade.

Todas as aeronaves, assim como todos os produtos, peças e equipamentos nelas instalados, devem ter um certificado/autorização. Igualmente, as organizações responsáveis pela manutenção de produtos, peças e equipamentos devem demonstrar as suas capacidades e meios para desempenhar as tarefas relacionadas com as áreas de actividade. Essas capacidades e meios devem ser reconhecidos mediante a emissão de um certificado à organização (CE, 2003).

4.2. Certificação de Veículos Não-Tripulados

Conforme já referido anteriormente, actualmente não existe um quadro regulamentar para os veículos aéreos não tripulados, semelhante ao que existe para outros sistemas em funcionamento no sector aeronáutico, nomeadamente para as aeronaves tripuladas (ICAO, 2011).

No entanto, o processo de certificação de aeronavegabilidade poderá ser solicitado para RPAS cuja natureza pode ser “civil e ou militar”, envolvendo respectivamente organizações, entidades ou autoridades de natureza nacional, internacional, ou multinacional civis e ou militares (Austin, 2010).

Ao nível civil, a Convenção de Chicago de 1944 relativa à aviação civil, concretamente no seu Anexo 8, representa a base legal internacional relativamente a toda a aviação (ICAO, 2005). A EASA define-se como o seu representante legal para a aviação civil na Europa, à semelhança da sua homóloga Norte-Americana, a *Federal Aviation Administration* (FAA).

Para além destas, existem outras organizações multinacionais consideradas relevantes para esta temática, nomeadamente: a *European Joint Aviation Authorities* (JAA), a *European Organization for the Safety of Air Navigation* (EUROCONTROL), a *European Organization for Civil Aviation Equipment* (EUROCAE) e a *United Kingdom Civil Aviation Authority*, sendo que esta última tem um papel determinante no processo de certificação de aeronavegabilidade de RPAS tanto a nível civil como militar (EUROCONTROL, 2004).

Na aviação civil é clara e evidente a identificação de um “chapéu” regulamentador, materializado pela Convenção de Chicago. Contudo cada Estado pode com base neste regulamento criar a sua própria regulamentação nacional, através das suas Autoridades Nacionais (EASA, 2009a; EASA, 2010).

Embora, actualmente não exista um quadro legislativo militar para certificação de aeronavegabilidade, acredita-se que, a curto prazo, em face da variedade de actividades levadas a cabo com RPAS, o mesmo venha a ser criado (Maneschijn, 2010; DoD, 2004a). Nesse sentido, já em 2004 foi estabelecida a conferência internacional anual (*Internacional Military Aviation Authorities Conference* - IMAAC) onde se formou o grupo de trabalho focado em questões relacionadas com a aviação militar internacional (*European Military Aviation Authorities Group* – EMAAG). O EMAAG desempenha, relativamente à aviação militar, um papel semelhante ao que a EASA desempenha relativamente à aviação civil. O objectivo deste grupo é a promoção de questões relacionadas com segurança, regulamentos e normas comuns na aviação militar, mais do que, propriamente, questões relacionadas com aeronavegabilidade. Em 2008, ao nível da Europa e sob a égide da agência de defesa europeia (*European Defense Agency* – EDA), foi criado um fórum de autoridades de aeronavegabilidade militar (*European Military Airworthiness Authorities* – MAWA). Este fórum foi criado com o objectivo de harmonizar um quadro regulamentar de certificação de aeronavegabilidade militar à escala Europeia (Possel, 2008).

Analogamente, a EASA emitiu em 7 de novembro de 2005, o documento *Advance – Notice of Propose Amendment* (A-NPA) N° 16/2005, relativa aos RPAS, que resultou da iniciativa conjunta da *Joint Aviation Authorities* (JAA) e do *Eurocontrol* (EUROCONTROL, 2007; EASA, 2009). A A-NPA apresentou duas opções principais para tratar da certificação de RPAS: a abordagem convencional, utilizando como base de partida as especificações de certificação das aeronaves tripuladas (por exemplo, CS-23, CS-25) e a abordagem específica de segurança, que envolve a definição dum objectivo de segurança global para a aeronave

dentro dum contexto de missão e ambiente operacional definidos (Morier, 2008; EASA, 2009; EASA, 2009a).

A NATO, também em 2005, estabeleceu o grupo de trabalho *Joint Capability Group UAV* (JCGUAV) que se encontra organizado em vários subgrupos e actividades. Destes subgrupos destaca-se o *Flight in Non-segregated Airspace* (FINAS), que é constituído por especialistas na definição de requisitos de aeronavegabilidade para RPAS. O produto mais relevante deste grupo foi a aprovação do primeiro draft do STANAG 4671 dedicado às questões de aeronavegabilidade de RPAS (*Unmanned Aerial Vehicles Systems Airworthiness Requirements – USAR*) (DoD, 2002). Esta publicação aplica-se a todos os sistemas de asa fixa com massa máxima à descolagem entre 150 kg e 20000 kg. Foi ratificada por vários Estados membros da NATO, sendo que Portugal já efectivou a sua ratificação. Mais recentemente foi ratificado o STANAG 4703 (*Light Unmanned Aircraft Systems Airworthiness Requirements*) que se destina aos RPAS de massa máxima à descolagem inferior a 150 kg.

Ao nível nacional, em 2013, foi criada a Autoridade Aeronáutica Nacional (AAN), entidade responsável pela coordenação e execução das actividades a desenvolver pela Força aérea na regulação, inspecção e supervisão das actividades de âmbito aeronáutico na área da defesa nacional (Assembleia da República, 2013).

As entidades mencionadas anteriormente assumem um papel relevante no processo de certificação de aeronavegabilidade para a integração dos RPAS militares e civis em espaço aéreo não segregado, quer seja na definição de requisitos quer seja na supervisão do cumprimento dos mesmos na fase de operação (DoD, 2010). Assim, o processo exige que sejam cumpridos determinados requisitos na fase de desenvolvimento, fabrico e operação dos RPAS, de forma a demonstrar um nível equivalente de segurança (*Equivalent Level of Safety – ELOS*) ao que existe atualmente para as aeronaves tripuladas, antes de serem inseridas em espaço aéreo não segregado (Clothier e Wu, 2012).

Os requisitos de certificação de aeronavegabilidade dos RPAS têm em consideração a categorização destes sistemas, que assenta primordialmente, no critério da “máxima carga à descolagem”. Segundo a Organização do Tratado do Atlântico Norte (*North Atlantic Treaty Organization - NATO*) (NATO, 2009) a classificação dos RPAS é designada por *classificação por classes*, conforme mencionado na página 2, a qual se baseia, na massa máxima à descolagem do RPAS, bem como na altitude a que o mesmo visa operar. No entanto, a *United Kingdom Civil Aviation Authority* (CAA, 2002) propõe uma “*classificação por grupos*”, relativamente à qual está subjacente, não só a massa máxima à descolagem, mas

também a regulamentação a que o RPAS deverá estar sujeito de modo a poder integrar espaço aéreo não segregado. Na Tabela 2 apresenta-se a classificação adoptada pela NATO, atendendo que os sistemas que serão objecto de estudo são desenvolvidos por uma entidade militar.

Tabela 2- Classificação de RPAS. (Fonte: adaptado de Bento, 2011).

Classe (Classificação da NATO)	Grupo (Classificação da UK CAA)	Massa (Kg)	Categoria Civil	Categoria Militar (NATO)	Entidade Reguladora Civil	Entidade Reguladora Militar
Classe I (massa <150kg)	1	<20	<i>Small</i> RPAS	<i>Micro (<2kg)</i> <i>Mini (2-20kg)</i>	Nacional	Certificação NATO
	2	20-150	<i>Light</i> RPAS		Nacional	
Classe II (massa 150-600kg)	3	>150kg	RPAS	<i>Tactical</i> ⁴	EASA Para aeronaves de Estado: Nacional	
Classe III (massa >600kg)	3	>600kg	RPAS	<i>Strike Combat</i> ⁵	EASA	
				<i>Hale</i> ⁶		
				<i>(High-Altitude Long Endurance)</i>		
				<i>Male</i> ⁷		
				<i>(Medium-Altitude Long Endurance)</i>		

Conforme se pode constatar da tabela anterior, actualmente a NATO já possui normas para certificar todas as classes de RPAS, contudo os RPAS da classe III, por operarem a altitudes mais elevadas, não só não estão sujeitos às normas da NATO como também não estão sujeitos às normas da EASA (EASA, 2010a).

A Agência Europeia de Segurança da Aviação, apenas regulamenta os RPAS com peso superior a 150 kg e que não sejam empregues em missões militares, policiais, ou

⁴ RPAS concebidos para uma resposta rápida às necessidades de obtenção de informações de primeira linha.

⁵ RPAS concebidos com a capacidade de ataque em missões de elevado risco.

⁶ RPAS concebidos para desempenharem missões de longa duração a altitudes elevadas.

⁷ RPAS concebidos para desempenharem missões de longa duração a altitudes médias.

especialmente designados para investigação. No entanto, atribui a responsabilidade aos Estados de garantirem que esses RPAS cumpram, dentro do possível, com os regulamentos previstos (AAN, 2013; EASA, 2009). Em Portugal a competência de regulamentar os RPAS com peso inferior a 150 kg pertence ao Autoridade Nacional de Aviação Civil (ANAC), exceptuando aqueles que sejam empregues em missões militares, policiais cuja competência é da AAN. Tendo em consideração que o objecto de estudo deste trabalho de investigação são bens desenvolvidos cujas missões são essencialmente militares, convém concretizar o procedimento de certificação implementado.

A AAN, através da Circular Nº1/2013, estabeleceu os requisitos e procedimentos para emissão de Licenças Especiais de Aeronavegabilidade (LEA) para Sistemas de Aeronaves Não Tripulados (SANT), no domínio da Defesa Nacional. As LEAS são licenças nas quais a AAN atesta que o SANT de um determinado requerente, está em conformidade com os requisitos daquela Autoridade. No Anexo I apresentam-se algumas LEAS emitidas para os RPAS desenvolvidos pelo CIAFA/CIDIFA com base no presente trabalho de investigação.

A emissão de uma LEA para uma Aeronave Não Tripulada (ANT) requer o cumprimento dos seguintes os requisitos mínimos (AAN, 2013):

- (1) ANT estar registada na AAN;
- (2) A entidade responsável pela operação da ANT tenha efectuado um pedido de reserva de espaço aéreo;
- (3) A entidade responsável pela operação da ANT efectue um pedido de emissão de LEA onde conste o âmbito/objectivo do voo, duração e local;
- (4) A entidade responsável pela operação da ANT evidencie a existência do controlo de configuração do ANT;
- (5) A entidade responsável pela operação da ANT evidencie a existência do registo histórico de operação do ANT;
- (6) A entidade responsável pela operação da ANT evidencie as Instruções técnicas de operação da ANT;
- (7) A entidade responsável pela operação da ANT evidencie ter desenvolvido uma análise de risco/segurança de operação;
- (8) A entidade responsável pela operação da ANT evidencie a existência de Instruções de Aeronavegabilidade Permanente (requisitos de manutenção da ANT);
- (9) A entidade responsável pela operação da ANT evidencie as Qualificações do pessoal que vai operar e manter a ANT;

(10) A entidade responsável pela operação da ANT evidencie a existência de um sistema de informação para reportar à AAN qualquer acidente / incidente que venha a ocorrer na operação da ANT.

Actualmente, ainda não existe um quadro regulamentar para obtenção de certificado tipo (*Type Certificate-TC*) que atestaria que um projecto satisfaz os requisitos de aeronavegabilidade impostos, e assim poderia dar-se início à fase de produção em série e venda do produto. A Figura 15, apresenta um esquema do processo de certificação de aeronavegabilidade de RPAS conduzido pela Autoridade Aeronáutica Nacional.

A definição da base de certificação e dos requisitos adicionais de aeronavegabilidade é determinante para o sucesso da demonstração de conformidade no processo de certificação do RPAS. E, regra geral, a demonstração de conformidade no sector aeronáutico é realizada com recurso à condução do processo de avaliação de segurança, *Safety Assessment (SA)*, na fase de desenvolvimento do projecto (SAE, 2010).

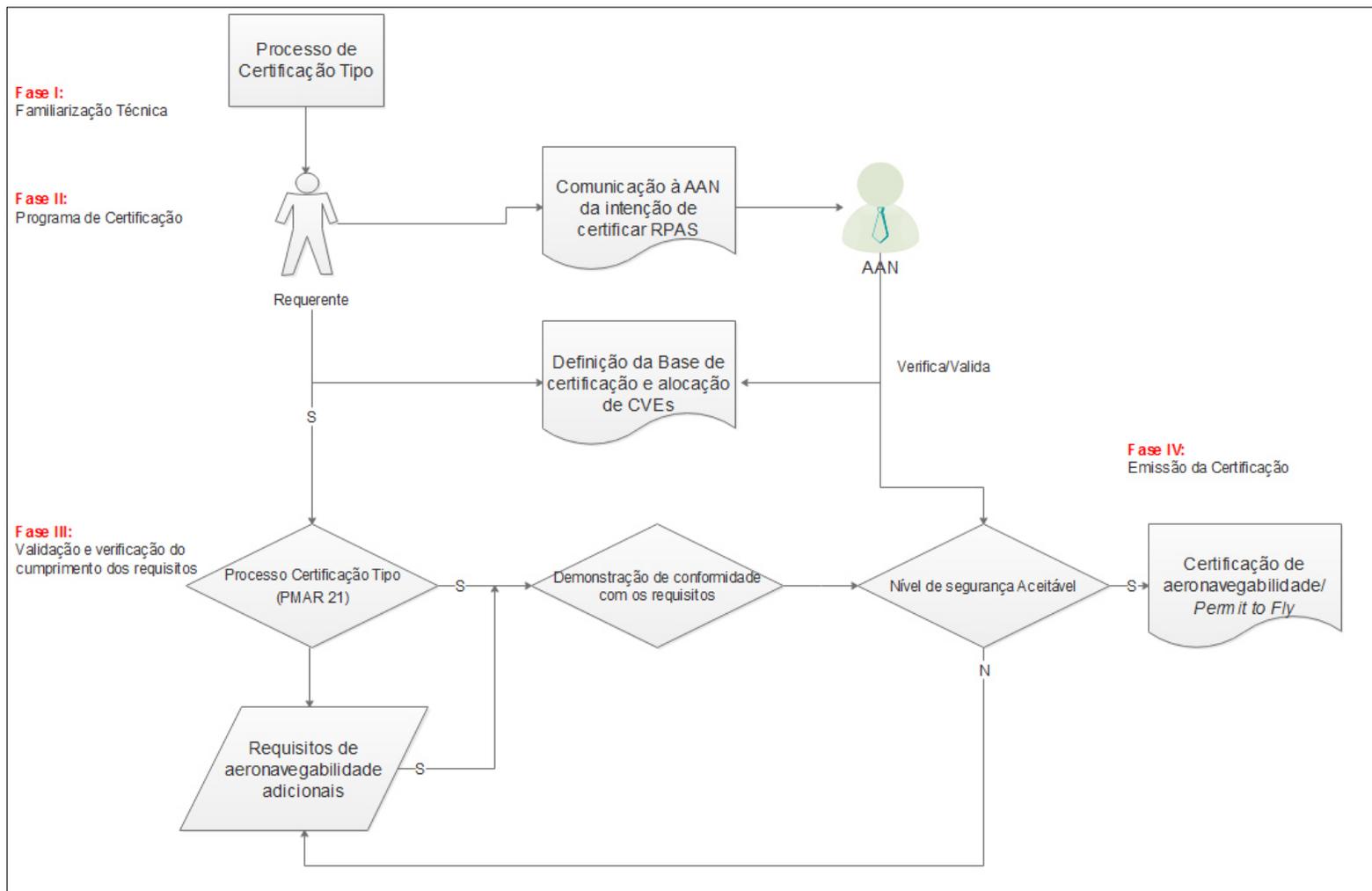


Figura 15 - Esquema do Processo de Certificação de UAV's militares em Portugal (Fonte: Bento, 2011).

4.3. *Safety Assessment* de Veículos Aéreos Remotamente Pilotados RPAS

É conhecida a elevada vulnerabilidade dos RPAS, devido quer ao acentuado número de falhas inopinadas dos seus sistemas, como da exposição ao meio ambiente (NASA, 2007).

É mandatário a redução dessa percepção. Entre outros aspectos, é necessário ter acesso a ferramentas de análise que demonstrem e comprovem os pressupostos de funcionamento de uma determinada aeronave (por exemplo, um estado prejudicial nunca será atingido) (FAA, 2011; FRN, 2007).

Para além disso, será desejável efetuar: o cálculo de métricas quantitativas relativas ao *Safety Assessment* da missão; a existência de taxonomias formais que sejam capazes de descrever os modelos funcionais dos sistemas, assim como dos modos de falha. O facto de actualmente não existir um modelo de análise consensual conduz a que as avaliações de segurança sejam, de um modo geral, realizadas de forma empírica com base em dados de voos reais e em requisitos de segurança definidos nas publicações de referência. E por isso, diferentes estratégias têm sido propostas na literatura no que respeita ao *Safety Assessment* de aeronaves não tripuladas (FAA, 2009).

A NASA (2007) propôs a definição e a classificação dos riscos associados aos sistemas aéreos não tripulados e indica o modo como essas definições poderiam ser aplicadas na avaliação preliminar dos riscos funcionais (*Functional Hazard Assessment* - FHA) de um sistema de aéreo não tripulado genérico. É descrito também o processo de avaliação do risco utilizado na aviação civil e de que forma esse processo poderia ser adaptado para abordar as especificidades dos RPAS (FAA, 2008).

A avaliação dos riscos funcionais de um RPAS é apresentada através da decomposição funcional; listam-se todas as funções de alto nível necessárias para que o RPAS opere em segurança (FAA, 2008b).

Analogamente, em Trigos et al (2010), foi apresentado um modelo e um diagnosticador de falhas aplicados a veículos aéreos não tripulados com recurso a redes de Petri híbridas. Nesse trabalho, o foco é a detecção das falhas críticas que podem conduzir a cancelamentos da missão ou a aterragens de emergência.

No seguimento do anteriormente exposto e tendo presente as dificuldades durante o processo de obtenção de autorização para voo ou de certificação de aeronavegabilidade dos

RPAS, propõe-se uma modelação do processo de *Safety Assessment* de RPAS que visa contribuir para demonstração de conformidade com os requisitos definidos.

Para este modelo foram utilizadas as Redes de Petri (RdP), *Petri Nets* (PN), com a integração da dinâmica real do RPAS, que será desenvolvido no capítulo seguinte. A utilização de redes de Petri para formulação do modelo prende-se com o facto de serem uma excelente ferramenta e permitir a realização de análises estatísticas e lógicas.

A formulação do modelo assenta em dois pressupostos: os RPAS efectuem navegação por *waypoints* e as condições de falha conducentes aos denominados eventos mais temidos, *Most Feared Events* (MFE), definidas no STANAG 4671, são evidentes para a tripulação do RPAS⁸.

O modelo de *Safety Assessment* proposto resulta da integração de vários submodelos, nomeadamente: o modelo representativo das fases de voo consideradas na missão de Reconhecimento e Vigilância do RPAS; o modelo relativo às condições de falha conducentes aos MFE e o modelo referente a cada MFE definido. Pretende-se dar resposta às seguintes questões:

- 1- O RPAS nunca entrará num determinado estado particular, (por exemplo, um dos MFE)?
- 2- Será o RPAS capaz de reagir perante a ocorrência de MFEs?
- 3- Será o RPAS capaz de alcançar um estado desejado?

No melhor conhecimento da autora, o modelo proposto é o único que trata o tema do *Safety Assessment* de RPAS nesta perspectiva, onde a dinâmica real do RPAS é integrada com a presença de condições de falha que conduzem aos MFE. E deste modo, julga-se dar um contributo para a criação de evidências que demonstrem e fortaleçam a confiança na fiabilidade e na segurança das operações com RPAS, facto crucial no processo de obtenção da certificação/autorização de aeronavegabilidade desses sistemas.

4.3.1. Safety Assessment

O processo de *Safety Assessment* envolve o desenvolvimento e a verificação dos requisitos definidos através das actividades inerentes à fase de projecto de aeronaves. Este processo fornece uma metodologia para avaliar as funções da aeronave e o projecto dos sistemas que realizam estas funções, a fim de determinar se os riscos identificados foram adequadamente

⁸ Tripulação do RPAS: é o conjunto de pessoas em terra necessária para desempenhar uma missão com RPAS (FONTE: adaptado de SAE, 1996).

dirimidos (ESACS, 2001). Para realizar o *Safety Assessment* de um RPAS é necessário abordar outros aspectos para além da própria aeronave, nomeadamente: a estação de controlo de terra, onde se encontra a tripulação do RPAS; os *links* de dados; o planeamento da missão; a interoperabilidade com ATC e outras aeronaves; os ambientes operacionais; a tipologia das missões; as competências do operador e os seus procedimentos; os níveis de autonomia e sua previsibilidade; as emergências e condições de voo anormais (SAE, 1996; ICAO, 2011). O processo de *Safety Assessment* que é comumente aceite na indústria aeronáutica é qualitativo para a maioria das aeronaves. No entanto, pode ser quantitativo se incluir a realização de uma Avaliação dos Riscos Funcionais (FHA), uma Avaliação Preliminar da Segurança dos Sistemas (*Preliminary System Safety Assessment* - PSSA) e uma Avaliação da Segurança dos Sistemas (*System Safety Assessment* - SSA) (SAE, 1996; Grimsley, 2004).

A Avaliação dos Riscos Funcionais é uma análise das funções de aeronaves, realizada com o intuito de identificar e classificar as condições de falha dessas funções de acordo com a sua severidade (SAE, 1996).

A Avaliação Preliminar da Segurança dos Sistemas é uma avaliação sistemática da arquitectura dos sistemas e a sua implementação é baseada nos resultados obtidos na FHA, sendo que a classificação das condições de falhas identificadas permite estabelecer os objectivos a serem alcançados para todos os itens (SAE, 1996).

A Avaliação da Segurança dos Sistemas é uma avaliação sistemática de todos os sistemas que constituem o RPAS, realizada com a finalidade de demonstrar que os requisitos definidos são cumpridos (SAE, 1996).

Os requisitos de aeronavegabilidade abrangidos na execução do *Safety Assessment*, que visam certificar as operações com RPAS em espaço aéreo não-segregado, estão definidos em várias publicações militares sobre aeronavegabilidade, tal como referido, o STANAG 4671, STANAG 4702 e STANAG 4703.

Segundo o preconizado no (NATO, 2009), os RPAS devem ser projectados de modo a reduzir o risco para as pessoas, para a tripulação RPAS e de terceiros, para níveis que sejam aceitáveis para as Autoridades Reguladoras. Nessa publicação é indicada a matriz que serve de referência para a classificação do risco, que resulta da combinação dos sistemas de referência da severidade e da probabilidade. E assim, através da matriz de risco apresentada na Tabela 3, o nível mínimo de segurança aceitável para equipamentos e sistemas de RPAS e das suas instalações é determinado.

Tabela 3- Matriz do Risco (Fonte: adaptado de Dores et al, 2015).

Probabilidade (P)	Sem efeito na segurança	Menor	Maior	Perigoso	Catastrófico
Frequente $P > 10^{-3}/h$	A	I	I	I	I
Provável $10^{-3}/h \geq P > 10^{-4}/h$	A	A	I	I	I
Remoto $10^{-4}/h \geq P > 10^{-5}/h$	A	A	A	I	I
Extremamente Remoto $10^{-5}/h \geq P > 10^{-6}/h$	A	A	A	A	I
Extremamente Improvável $> 10^{-6}/h$	A	A	A	A	A

A-Aceitável; I - Inaceitável.

Neste sentido é importante compreender o conceito de “condição de falha”. Condição de falha é a condição que tem efeitos nas aeronaves ou nos seus ocupantes, ou em ambos, quer directa ou indirectamente, causada e com a sua contribuição por uma ou mais falhas ou tendo em consideração: a fase de voo; as condições adversas operacionais ou ambientais relevantes e ou outros eventos externos (NATO, 2009; Evans, 2007). As condições de falha podem ser classificadas de acordo com a sua severidade, como mostrado na Tabela 4.

Tabela 4- Classificação das Condições de falha (Fonte: adaptado de Dores et al, 2015).

Sem efeito na segurança: condições de falha que não têm impacto na segurança.
Menor: condições de falha que não reduzem significativamente a segurança do sistema RPAS e envolvem acções da tripulação do RPAS dentro das suas capacidades. Estas condições podem incluir uma ligeira redução das margens de segurança, ou das capacidades funcionais e um ligeiro aumento na carga de trabalho da tripulação do RPAS.
Maior: condições de falha que isoladamente, ou em conjunto com o aumento da carga de trabalho da tripulação, resultam, no pior resultado credível, na aterragem de emergência do RPAS, num local pré-definido, sendo expectável que não ocorram lesões graves.
Ou Condições de falha que podem potencialmente resultar em danos para a tripulação do RPAS, ou para o pessoal de terra.
Perigoso: condições de falha que isoladamente ou em conjunto com o aumento da carga de trabalho da tripulação do RPAS, resultam, no pior resultado credível, no término controlado da trajectória, ou numa aterragem forçada, conduzindo à potencial perda do RPAS, onde é expectável que não ocorram fatalidades.
Ou Condições de falha que podem potencialmente resultar em ferimentos graves para a tripulação do RPAS, ou para o pessoal de terra.
Catastrófico: condições de falha que, no pior resultado credível, resultam, pelo menos, num voo não controlado (incluindo voos fora de perfis pré-planeados, ou voos em perfis ou áreas de contingência) e ou em colisões não controladas, o que pode potencialmente resultar em fatalidades.
Ou Condições de falha que podem potencialmente resultar em fatalidades para a tripulação do RPAS, ou para o pessoal de terra.

A relação entre a severidade das condições de falha e os efeitos nos RPAS a considerar na avaliação de segurança é a preconizada pela NASA e é apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Relação entre a Severidade e os efeitos causados nos RPAS (Fonte: adaptado de NASA, 2007).

Classificação das condições de falha	Sem efeito na segurança	Menor	Maior	Perigoso	Catastrófico
Efeitos no RPAS	Sem efeito nas capacidades operacionais ou na segurança	Ligeira redução na capacidade funcional e nas margens de segurança	Significante redução na capacidade funcional e nas margens de segurança	Elevada redução na capacidade funcional e nas margens de segurança	Normalmente com perda não controlada da aeronave
Efeitos Externos ao RPAS	Sem efeito	Sem efeito	Potencial de desconforto físico	<i>Stress</i> físico, com potenciais lesões	Potencial para ocorrência de uma ou mais vítimas mortais, e ou lesões graves
Efeitos na tripulação do RPAS	Sem efeito na tripulação.	Ligeiro aumento da carga de trabalho, ou utilização de procedimentos de emergência	Desconforto físico ou significativo aumento da carga de trabalho	<i>Stress</i> físico ou excessivo aumento da carga de trabalho prejudicando a capacidade de realizar tarefas	Lesões fatais ou incapacitação

A avaliação das condições de falha deve considerar: os efeitos causados no próprio equipamento ou nas *interfaces* com outros subsistemas; os factores externos; as acções de mitigação realizadas pela tripulação do RPAS ou realizadas automaticamente; as fases de voo da missão do RPAS e a possibilidade de ocorrência de falhas ocultas (NATO, 2009). É possível a utilização de diversas ferramentas analíticas para a avaliação de condições de falha, nomeadamente: a análise dos modos de falha e dos seus efeitos (*Failure Modes, Effects Analysis - FMEA*); o resumo dos modos de falha e/ou seus efeitos (*Failure Mode and or Effects Summary - FMES*); análise de árvores de falhas (*Fault Tree Analysis - FTA*) e diagrama de blocos (*Reliability Block Diagram - RBD*), entre outros. Os resultados da avaliação das condições de falha deverão identificar os MFE, que são definidos no STANAG 4761 e são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Definição dos *Most Feared Events* (Fonte: adaptado de NATO, 2009).

MFE	Efeitos
Voo Não Controlado e/ ou Queda Não Controlada.	Pode resultar em fatalidades. Resulta na perda do controlo e ou manobrabilidade do RPAS.
Términus Controlado da Trajectória ou Aterragem Forçada	Potencialmente conduz à perda do RPAS, sendo expectável que sejam evitadas fatalidades. Impede que o RPAS aterre no local pré-planeado, embora o controlo e ou a capacidade de manobra do RPAS seja mantida.
Aterragem de Emergência	Aterragem do RPAS no local predefinido, onde expectável que não ocorram fatalidades; Impede o RPAS de aterrar no seu local de aterragem planeado principal, embora o RPAS seja controlável e manobrável; também pode realizar uma aterragem forçada numa área predefinida com baixa densidade populacional.

Considerando apenas as condições de falha que poderão conduzir aos MFE, procura-se contribuir para a melhoria do processo de demonstração de evidências que garantem a segurança e a fiabilidade da operação de RPAS. Julga-se que este contributo será uma mais-valia no processo de certificação de aeronavegabilidade destas aeronaves não só na perspectiva dos operadores e fabricantes, mas também na das Autoridades Reguladoras.

De seguida descrever-se-à a metodologia utilizada.

4.4. Redes de Petri

Uma das metodologias de modelação na análise da fiabilidade é a aplicação de redes de Petri (Sheldon e Benzinger, 2000; Volovoi, 2004; Balakrishnan e Trivedi, 1996). A metodologia de modelação da fiabilidade através de redes de Petri é semelhante à modelação através de redes de árvores de falhas, pois ambas utilizam a representação gráfica das relações entre as condições e os eventos (Adamyán e He, 2003; 2012; Hura e Atwood, 1988).

Segundo Marsan (1994), foram sendo desenvolvidos vários paradigmas diferentes para a descrição de sistemas complexos, mas apenas alguns deles permitem a integração de conceitos na análise de desempenho dentro da própria descrição. As redes de Petri são dos poucos paradigmas que permitem essa integração e podem com sucesso serem aplicadas em

uma grande variedade de áreas, que vão desde a arquitetura, a algorítmica, o hardware e componentes de software de computação; a produção flexível, os protocolos de comunicação, os sistemas de controlo, o transporte, etc. (Pinna, 2013). A previsão do desempenho de sistemas nas áreas mencionadas anteriormente, é geralmente um desafio, pois compreende geralmente várias atividades ou processos que procedem simultaneamente (Haas, 2002).

A aplicação de redes de Petri à engenharia de fiabilidade tem vindo a aumentar, sendo que alguns exemplos encontrados estão associados: à avaliação da fiabilidade (Hura e Atwood, 1988; Kumar e Aggrawal, 1993; Liu e Chiou, 1997), à análise de segurança e ao crescimento da fiabilidade (Levenson e Stolzy, 1987).

Segundo He e Adamyan (2001), os modelos formalizados em rede de Petri representam graficamente as relações das causas e dos efeitos sob os eventos e fornecem a capacidade de avaliar a qualidade e os impactos da fiabilidade relativamente às falhas inopinadas e às sequências delas (Nývlt e Rausand, 2012). Para além disso, representam e analisam as dinâmicas do comportamento dos sistemas e permitem realizar análises da falha e da fiabilidade dos sistemas, utilizando para o efeito marcadores (*tokens*), para simular as actividades concorrentes e dinâmicas dos sistemas (Murata, 1989; Hruz e Zhou, 2007).

As redes de Petri têm a capacidade de monitorizar os estados dos sistemas e as transições entre esses estados com base em alguns requisitos para a realização dos disparos, possibilitam a análise de modos de falha combinados e permitem estimar a sua severidade potencial, assim como a probabilidade de ocorrência dos modos de falha (He e Adamyan, 2001). Deste modo, é possível colocar em prática estratégias eficazes de prevenção dos impactos das falhas que poderá passar pelo desenvolvimento de planos de manutenção, de processos de mitigação ou de alterações no projeto (Kleyner e Volovoi, 2010; Németh, 2009).

No entanto, para avaliar a segurança e disponibilidade de sistemas, as normas recomendam vários métodos, nomeadamente: as árvores de falha; as FMECA, as análises de risco e operabilidade (*Hazards and Operability Analysis - HAZOP*); os diagramas de sequência; os diagramas de *data flow*; as cadeias de Markov e as redes de Petri temporizadas (Slovak et al, 2007).

Porém, Al-Jaar e Desrochers (1990) demonstraram que a modelação por redes de Petri é superior relativamente à modelação tradicional por cadeias de Markov, em que o número de lugares e transições aumenta ligeiramente à medida que a complexidade do sistema aumenta, contrariamente às cadeias de Markov em que o número de estados aumenta

exponencialmente. Ou seja, quanto maior for o número de estados incorporados maior é a complexidade da cadeia, aumentando de forma exponencial quer a sua complexidade como a dificuldade em obtenção de resultados. Também é apenas possível a sua aplicação a sistemas em fase de vida útil, com distribuição de falhas exponencial negativa.

Analogamente, Baccelli et al (1995) demonstraram que as redes de Petri fornecem um poderoso procedimento genérico e formal para modelação de várias classes de eventos discretos, podendo ser utilizado para propósitos qualitativos e de simulação, pois proporcionam uma melhor compreensão da dinâmica dos sistemas.

Segundo Cardoso e Vallete (1997), as vantagens da utilização das redes de Petri podem ser resumidas pelas seguintes considerações:

- I. Permite descrever uma ordem parcial entre vários eventos, tem em consideração a flexibilidade;
- II. Os estados, bem como os eventos, são representados explicitamente;
- III. Permite maior especificação através da modelação, da análise, da avaliação do desempenho e da implementação;
- IV. Permite a utilização nos diversos níveis da estrutura hierárquica do controlo, o que facilita a integração destes níveis;
- V. Permite a descrição precisa e formal das sincronizações, o que é essencial para obtenção da necessária segurança de funcionamento.

Sendo geralmente o desenvolvimento de aplicações práticas em redes de Petri realizado com recurso a ferramentas informáticas, no modelo proposto foi utilizado uma *interface* gráfica de previsão da fiabilidade (*Graphical Interface for Reliability Forecasting* - GRIF) através do módulo de Redes de Petri da SATODEV, a empresa fornecedora do *software*.

4.4.1. Redes de Petri - Elementos

No modelo proposto utilizou-se o conceito de condições e eventos, ou seja, os lugares representam condições e as transições representam eventos. Os elementos básicos das redes de Petri utilizados foram: os lugares (*places*); as transições (*transições*); os arcos (*arcs*) e os marcadores (*tokens*). Um lugar é representado por um círculo e as transições por uma barra. Os lugares podem conter *tokens* que são movimentados por transições, sendo que lugares e as transições estão ligados por arcos. O número de lugares e transições são finitos e não nulos. Um arco liga diretamente um lugar a uma transição, ou uma transição a um lugar. As

transições possuem um determinado número de lugares de entrada e saída que representam as pré-condições e pós-condições de um dado evento (Murata, 1989; Signoret et al, 2013).

O comportamento dinâmico das redes de Petri é governado pela Lei de disparo. Ou seja, uma transição só poderá disparar (ocorrência de um evento) se todos os lugares de entrada da transição, contêm pelo menos um *token* (Nývlt et al, 2015). Neste caso, a transição é ativada. O disparo de uma transição ativada remove um *token* de todos os seus lugares de entrada e coloca um *token* em cada um dos seus lugares de saída. O disparo da transição é uma operação atômica, ou seja, os *tokens* são removidos dos locais de entrada e depositado nos lugares de saída através de uma ação indivisível. (Fecarotti et al, 2015; Marsan et al, 1994).

A rede de Petri é constituída por quatro elementos, em que:

1. $PN = \langle P, T, I, O \rangle$
2. P : conjunto de lugares finitos, $\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$
3. T : conjunto finito de transições, $\{t_1, t_2, \dots, t_s\}$
4. F : é a relação do fluxo (arcos), $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$
5. I : a função de entrada, $(T \times P) \rightarrow \{0, 1\}$
6. O : a função de saída, $(T \times P) \rightarrow \{0, 1\}$

No modelo do processo de *Safety Assessment* de RPAS proposto os disparos das transições resultam da simulação dinâmica da rede tendo por base os vários estados e as probabilidades de ocorrência de falha dos eventos conducentes aos *Most Feared Events*.

4.4.2. Gráfico de Marcações (Marking graphs)

A distribuição de *tokens* na rede de Petri é denominada de marcação. A marcação de uma PN é o correspondente a um estado do sistema. O estado inicial do sistema é a marcação inicial, indicado como M_0 , em que (Murata, 1989):

1. $M_0: P \rightarrow N_0$ é a função da marcação inicial, onde
2. $N_0 = \{0, 1, 2, \dots\}$ (a marcação da rede é determinada pelo número de *tokens* em cada lugar).

Na representação gráfica, conforme mencionado anteriormente, os lugares são representados por círculos, as transições são representadas por barras ou quadrados, os *tokens* são representados por pontos dentro dos lugares e a ponderação dos arcos é representada por números inteiros positivos junto aos arcos associados (Wu, 2015).

As representações de uma marcação são (Murata, 1989):

- I. O vetor, $M = (m_1, m_2, \dots, m_n)$, onde m_i é o número de *tokens* no lugar p_i ;
- II. O conjunto de lugares, tal como $M = P_1, P_2, P_3$.

A marcação M , ou seja, o conjunto de lugares que contêm *tokens* num determinado momento, pode ser atingida a partir de outra marcação M' anterior, sempre que existir uma sequência de transições ativadas que permita passar do estado M' para o estado M . Sendo que, $R(M_0)$ é o conjunto de marcações atingível a partir da marcação M_0 inicial. Esta propriedade é extremamente importante para a verificação da atingibilidade/ocorrência de alguns eventos desejado ou indesejados (Wu, 2015).

4.4.3. Análise do Modelo PN - Propriedades

Esta seção apresenta as propriedades do modelo proposto em PN. As propriedades são predicados do próprio modelo e não um rastreio específico da execução, ou do desempenho do modelo. Para a construção e análise do modelo de *Safety Assessment* de RPAS utilizou-se o *software* GRIF 2015.

As propriedades relevantes para a análise foram as seguintes (Murata, 1989):

- *k-Boundedness*: uma rede de Petri (N, M_0) é *k-bounded* ou simplesmente *bounded* se o número de tokens em cada lugar não exceder um número finito k para qualquer marcação acessível de M_0 , isto é, $M(p) \leq k$ para cada lugar P e cada marcação $M \in R(M_0)$. Ou seja, todos os lugares têm no máximo k *tokens* em qualquer momento da execução;
- *Safety*: Uma rede de Petri (N, M_0) é considerada *Safe* se for *1-bounded*. Ou seja, todos os lugares têm um (1) *token* em qualquer momento da execução;
- *Liveness*: Uma rede de Petri (N, M_0) é *live*, se, independente da marcação que seja atingida a partir de M_0 , é possível, em última instância, disparar pelo menos uma transição da rede através da progressão de uma sequência de disparo. Ou seja, em qualquer momento da execução é sempre possível para disparar uma transição;

As propriedades mencionadas anteriormente podem ser inferidas através (Buali et al, 2012):

- Análise de *Reachability*: Conjunto de estados que podem ser atingidos a partir da marcação inicial da rede;
- *T-invariant*: a sequência de disparos que conduz à marcação inicial da rede;

- *P-invariant*: situação em que o número de *tokens* em um ou mais lugares mantém-se constante.

Analogamente, apresentam-se as regras que servirão para no capítulo seguinte avaliar o modelo proposto para a condução do *Safety Assessment*, que segundo Murata (1989) são muito úteis para inferir *boundness* and *liveness* das PN:

Regra 1. Se a PN possui *P-invariants* então a PN é *bounded*.

Regra 2. Se a PN é *live* e *bounded* então a PN possui *T-invariants*.

4.5. Sumário

Neste capítulo abordou-se a temática da certificação no sector aeronáutico, assim como a certificação de aeronaves não tripuladas. Foram apresentadas as entidades militares e civis envolvidas no processo e efectuada uma descrição desse processo.

No âmbito da certificação de aeronavegabilidade de aeronaves de modo, a demonstrar o cumprimento dos requisitos de aeronavegabilidade e o alcance de um nível aceitável de segurança, geralmente é exigido a condução do *Safety Assessment*. Assim, neste capítulo, foi descrito o processo de realização do *Safety Assessment*. No sentido de contribuir para a melhoria do processo de demonstração de evidências que garantam a segurança e a fiabilidade da operação de RPAS, foi proposto um modelo gráfico de *Safety Assessment* que será desenvolvido no próximo capítulo.

No capítulo seguinte será ainda apresentada uma aplicação prática da metodologia desenvolvida no âmbito da presente tese de investigação, relacionado com a previsão da taxa inicial de falha dos sistemas que equipam os veículos aéreos não tripulados desenvolvidos no âmbito do projecto PITVANT e que posteriormente serviram de base para o desenvolvimento do respectivo plano inicial de manutenção que visa a obtenção da certificação da aeronavegabilidade continuada.

Capítulo 5

Estudo de Caso

5.1. Introdução

Conforme mencionado anteriormente, para que os RPAS desenvolvidos no âmbito do projecto PITVANT possam ser integrados no dispositivo operacional das Forças Armadas Portuguesas ou sejam colocados à disposição da sociedade civil terão que ser submetidos a um processo de certificação, com vista à obtenção da certificação de aeronavegabilidade ou do *Permit to Fly*.

Perante esta situação e à exigência de certificação, no âmbito da presente investigação desenvolveu-se uma metodologia com base nos princípios das análises morfológicas para desenvolver um Plano Inicial de Manutenção para RPAS, que integra as metodologias apresentadas no Capítulo 2, nomeadamente, o método de Delphi e as análises de modos de falha e seus efeitos, recorrendo ao conhecimento e ao comportamento de sistemas semelhantes aos do RPAS ANTEX-X02 Alpha Extended, afectado de um factor de correcção de acordo com as diferenças de projecto, *Design (D)*, de Operação (O) e ao Environment (E) identificadas. A metodologia compreende diversas fases, que irão ser descritas nas secções seguintes (5.1-5.4), que vão desde a recolha de dados até ao desenvolvimento em si do Plano Inicial de Manutenção de acordo com a Figura 4.

No âmbito da certificação de aeronavegabilidade de RPAS, foi ainda proposto um modelo gráfico de *Safety Assessment* através de redes de Petri, a fim de contribuir para a melhoria do processo de demonstração de evidências que garantam a segurança e a fiabilidade da operação de RPAS. Na formulação do modelo foi tido como referência a missão de vigilância

e reconhecimento do RPAS ANTEX-X02 Alpha Extended e a qual será descrita nas secções 5.5-5.7.

5.2. Fase 1 - Safety Assessment ANTEX-X02 Alpha Extended

O processo de condução do *Safety Assessment* preconizado no ARP 4761 pode ser, na sua essência, aplicado diretamente aos RPAS (NASA, 2007). Por isso foi utilizado para conduzir a avaliação de segurança do RPAS ANTEX-X02 Alpha Extended.

A avaliação de segurança iniciou com a decomposição de funções do RPAS, ou seja, pelo *Functional Hazard Assessment* (FHA). Nesse sentido, de acordo com NASA (2007), as principais funções do RPAS são: voar, navegar, comunicar e mitigar. Voar, compreende todas as acções relacionadas com o comando e controlo da aeronave e dos seus subsistemas, e assim como, com o seu movimento no ar e no solo. Navegar, engloba a gestão e a execução dos planos de voo. Comunicar engloba todos os meios necessários às comunicações entre o RPAS e o Controlo de Tráfego Aéreo (*Air Traffic Control-ATC*) e as outras aeronaves. Mitigar inclui todas as acções para prevenir e conter situações perigosas (NASA, 2007), como mostrado na Figura 16.

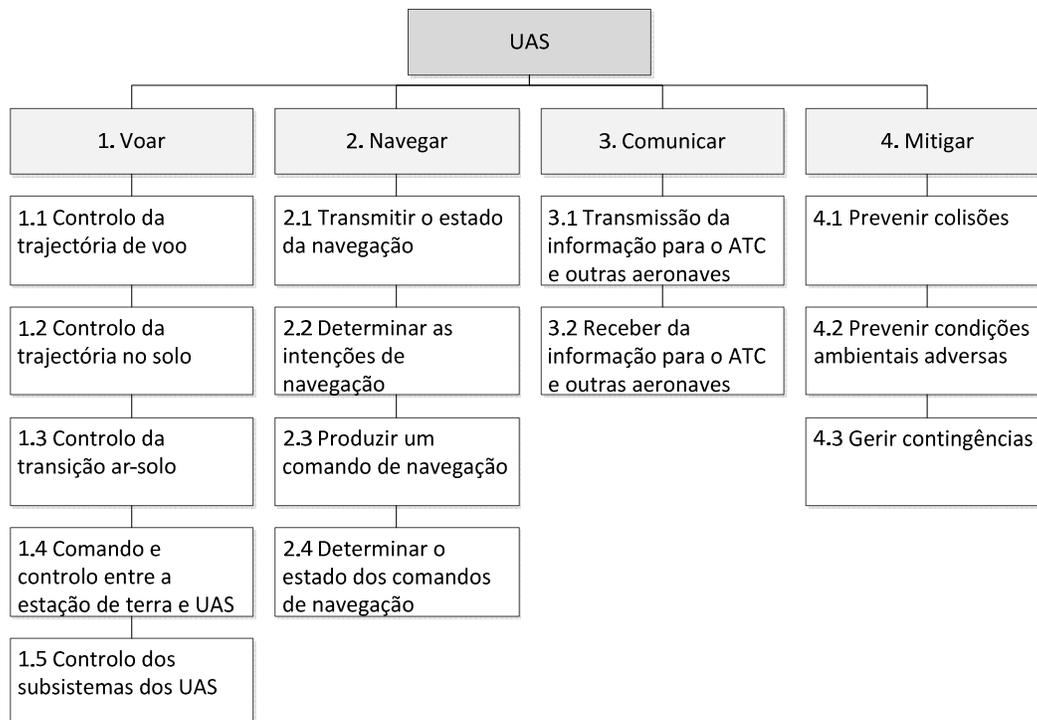


Figura 16 – Decomposição funcional de *Top-level* do RPAS.

Prosseguindo com a análise, torna-se necessário efetuar a decomposição completa das quatro funções principais do RPAS. No presente trabalho apenas se apresenta a decomposição da função “Comunicar” por questões de confidencialidade, conforme se mostra na Figura 17.

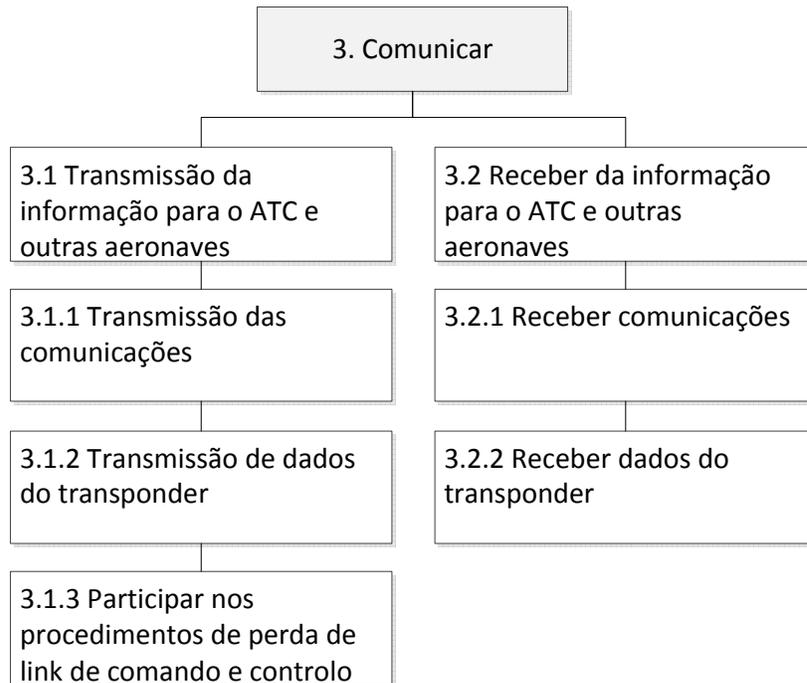


Figura 17- Decomposição da função “Comunicar” para o ANTEX-X02 ALPHA EXTENDED.

Para cada uma das funções principais foram identificadas todas as funções de baixo nível; as suas condições de falha e os efeitos operacionais, assim como, foi avaliada a gravidade desses efeitos. Na Tabela 7 é mostrado um excerto da avaliação da função, de baixo nível, "Transmissão de dados do Transponder", da função "Comunicar".

Tabela 7- Excerto da FHA para a função “Transmissão de dados do Transponder” (Fonte: adaptado de NASA (2007)).

ID	Função	Fase de voo	Condição de falha	Consequência Operacional	Severidade	Obs
3.1	Transmitir informações para ATC e outras aeronaves.					
3.1.1	Transmitir comunicações					
3.1.2a	Transmissão de dados do Transponder	Cruzeiro	Perda total da função detectada	Operador de RPAS informa ATC a solicitar assistência e para transmitir localização, direção e altitude.	Maior	RPAS depende em exclusivo do ATC para evitar colisões.
3.1.2b	Transmissão de dados do Transponder	Cruzeiro	Perda da função não detectada	ATC irá tentar alertar o operador do RPAS ou ambas as aeronaves para evitar a colisão.	Catastrófico	Nenhum radar de backup.
3.1.2c	Transmissão de dados do Transponder	Cruzeiro	Função errónea /degradada	Dados incorretos sendo enviados para outras aeronaves e ATC. Dificuldade para realizar a separação segura.	Catastrófico	

Concluída a realização da FHA obtiveram-se os requisitos de segurança, sendo que, os requisitos operacionais (apresentados nas Tabelas 8, 9 e 10), derivam diretamente da imposição operacional constante no manual interno à Força Aérea, MFA500-12, relativa à visão estratégica da Força Aérea Portuguesa para integração de RPAS.

Tabela 8 – Funções Básicas do RPAS ANTEX- X02 Alpha Extended. (Fonte: adaptado de EMFA, 2013)

ANTEX-X02 Extended		
Funções Básicas	Identificação	Controlo de Voo
	Gestão de Voo	Comunicações
	Controlo do Motor	Planeamento de Missão
	Sistemas de Controlo	Navegação Autónoma e/ou Rádio
	Controlos e Display do Auto Pilot	
	Aproximação e Aterragem	

Tabela 9 – Funções Específicas do RPAS ANTEX-X02 Alpha Extended. (Fonte: adaptado de EMFA, 2013)

ANTEX-X02 Extended		
Funções Específicas de missão	Reconhecimento	Vigilância
	Deteção	Target Acquisition e Seguimento
	Recolha de Dados (RF, Infravermelho, Visual, Multispectral)	

Seguiu-se a realização da avaliação *Preliminary System Safety Assessment*, baseada nos resultados obtidos anteriormente, com a finalidade de determinar de que modo as falhas originam os riscos funcionais identificados, assim como os requisitos definidos poderão ser atendidos. A avaliação *Preliminary System Safety Assessment* consistiu nas seguintes etapas (NASA, 2007):

1. Desenvolvimento de uma lista com os requisitos de segurança da aeronave e dos seus sistemas;
2. Avaliação da adequabilidade da arquitetura dos sistemas e do conceito de projecto delineado tendo em vista o cumprimento dos requisitos e objectivos de segurança;
3. Derivação dos requisitos: de projecto para os itens de nível inferior (*hardware e software*); de instalação das aeronaves e de outros sistemas e das operações (tarefas de voo e de manutenção), decorrentes dos requisitos de segurança previamente definidos na FHA.

Tabela 10 – Requisitos operacionais do RPAS ANTEX-X02 Alpha Extended (Fonte: adaptado de EMFA, 2013).

Tipo de Missão	Militar	Civil			
	<i>Search and Rescue (SaR), Fiscalização Marítima</i>	Monitorização Ambiental			
Perfil missão	Padrão de voo	Velocidade	Alcance	Altitude	
	Descolagem e aterragem em pista terrestre adequada.	Veloc. _{cruise} : 50 nós; Veloc. _{min} : 40 nós;	300km	500-1000 Pés;	
Requisitos de projeto	Massa	Payload	Manutibilidade		
	< 25kg	≅ 8kg	Acessos que permitam aceder aos sistemas		
Funções operacionais	Navegação	Armamento			
	IFF <i>Transponder</i>	N/A			
Cenário de operação	<i>Search and Rescue</i>	Fiscalização Marítima	Monitorização Ambiental		
	Recolha de imagens (TV/IR) de pessoas (náufragos) dentro de água;	Recolha de imagens (TV) da identificação de uma embarcação de pesca (NOME, MATRICULA);	Recolha de imagens (TV/IR) de navios em presumível lavagem de tanques;		
	Recolha de imagens (TV/IR) de jangadas salva-vidas;	Recolha de imagens (TV/IR) de embarcações de pesca em faina (i.e. com artes/redes na água).	Recolha de imagens de deteção de hidrocarbonetos no seguimento da esteira de navios		
	Recolha de imagens (TV/IR) de embarcações de pequenas dimensões (15 metros);				
Requisitos de utilização	Limite de Ventos		Horas de operação	Ciclo de serviço	Comms
	Máximo 12 nós frente e 6 nós cruzados		5h	7h	>40MN
Requisitos de Efetividade	Fiabilidade	Disponibilidade	Manutibilidade		
	74%	80%	-----		
Bases de operação	Nº de Bases	Distribuição geográfica		Capacidade projeção	Quantidades
	01	Continente: CA; CFMTFA; Beja; Ovar	Açores/ Madeira: BA4	Transporte avião/navio	04

O desenvolvimento da arquitetura interna do RPAS ANTEX- X02 Alpha Extended surge na sequência do PSSA é apresentado na Figura 18.

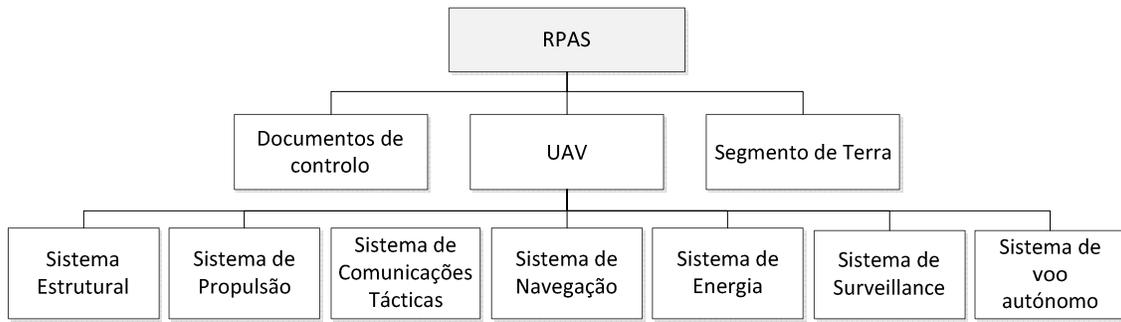


Figura 18 - Arquitetura interna_ *Top Level* do RPAS ANTEX- X02 Alpha Extended

Tendo sido determinada a arquitetura interna dos sistemas RPAS, a metodologia prossegue com a realização do desenvolvimento de *Systems Safety Assessment*; um excerto é mostrado na Tabela 11, onde para cada sistema identificado foram alocados os respectivos requisitos de segurança e de instalação, assim como, as tarefas de manutenção que garantem a conservação das condições de segurança.

Tabela 11 – Excerto do SSA do sistema “Transponder” do RPAS ANTEX-X02 Alpha Extended (Fonte: adaptado de FAA (2011)).

Função do RPAS	Classificação das Condições de falha			Considerações
	Perda Total da Função	Perda dos meios primários de fornecimento da Função	Errónea/degradada sem Alerta	
Transponder Mode C	Maior	Catastrófico	Catastrófico	O ATC poderá receber de forma errónea ou perder a identificação e ou altitude do RPAS, o que reduz a sua capacidade de efetuar a separação do tráfego.

A análise detalhada das condições mais severas de falha e dos efeitos que estas produzem nos sistemas que integram a arquitetura interna do RPAS foi realizada recorrendo a análises FMEA, conforme se mostra na Tabela 12. A análise feita foi sustentada com recurso ao método de *Delphi* relativamente à identificação e classificação dos modos de falha e dos efeitos nos sistemas. Sendo, no entanto desenvolvidas, para cada modo de falha classificado

de catastrófico, perigoso ou maior, procedimentos de mitigação (realizados no solo) e/ou ações de mitigação (realizadas no decorrer do voo) com o propósito de alcançar um nível aceitável de segurança.

No final da avaliação *Systems Safety Assessment* foi possível:

- Verificar se os requisitos de projecto definidos de acordo com os resultados da FHA foram cumpridos;
- Ajustar e validar a fundamentação da classificação efetuada para os efeitos RPAS;
- Verificar se os requisitos de segurança decorrentes da arquitetura interna do RPAS foram cumpridos.

A condução do *Safety Assessment* ao RPAS ANTEX-X02 Alpha Extended permitiu demonstrar que, apesar da sua arquitetura interna não conter sistemas redundantes, cumpriu com os requisitos mínimos de segurança definidos no STANAG 4703 para operar no espaço aéreo reservado (Dores et al, 2015). Para isso, foi fundamental o desenvolvimento e implementação de ações e processos de mitigação para as condições mais severas de falha identificadas.

Tabela 12 – Excerto da análise FMEA do sistema Transponder do RPAS ANTEX-X02 Alpha Extended.

Função	Modo de falha	Fase de voo	Si	Efeitos	Causas	Ações ou Processos de Mitigação	Oi	Di	RPNi	RRi	(SxO)i
1.2.4 – Sistema de Navegação											
1.2.4.1 – IFF_Transponder											
Aumentar a segurança das plataformas.	Perda total da capacidade de transmissão de dados.	Cruzeiro	4	Perturbações no controlo do tráfego aéreo	Degradação da interface.	Realização das inspeção pré-voo <i>Thorough e Readiness</i> Cumprimento do Programa de Manutenção Condicionada.	2	5	40	A	8
				Perturbações no controlo do tráfego aéreo	Montagem deficiente.	Cumprimento do procedimento de montagem dos equipamentos.	3	5	60	I	12
	Transmissão errónea/degradada de dados do RPAS.	Cruzeiro	4	Perturbações no controlo do tráfego aéreo	Configuração do sistema errónea.	Cumprimento do procedimento de configuração dos equipamentos.	3	6	72	I	12
				Perturbações no controlo do tráfego aéreo	Degradação do <i>Air Data Sensor</i> .	Realização das inspeção pré-voo <i>Thorough e Readiness</i> Cumprimento do Programa de Manutenção Condicionada	3	6	72	I	12
				O sistema não liga/ não cumpre especificações	Degradação da interface.	Realização das inspeção pré-voo <i>Thorough e Readiness</i> . Cumprimento do Programa de Manutenção Condicionada	2	2	8	A	4
	Perturbações no controlo do tráfego aéreo	Montagem deficiente.	Cumprimento do procedimento de montagem dos equipamentos.	4	3	24	A	8			

5.3. Fase 2- Recolha e Análise Inicial de Dados de Avaria

A definição da arquitectura interna resultante da fase anterior, associada aos requisitos operacionais e de segurança definidos, irão nortear a procura pelos sistemas (equipamentos) que desempenharão as funções identificadas do RPAS.

As análises morfológicas, conforme enunciado anteriormente, permitem efectuar previsões sobre novos produtos e serviços e caracterizam-se por serem válidas sempre que existam bens semelhantes ao que está em desenvolvimento, sendo úteis quando não existe muita informação disponível indicado para esta situação.

Prosseguiu-se com a alocação dos sistemas que iriam desempenhar as funções identificadas do RPAS ANTEX-X02 Alpha Extended, conforme se mostra na Figura 19, seguido da identificação de sistemas semelhantes, que possuíssem dados fiabilísticos de modo a permitirem a realização de análises morfológicas.

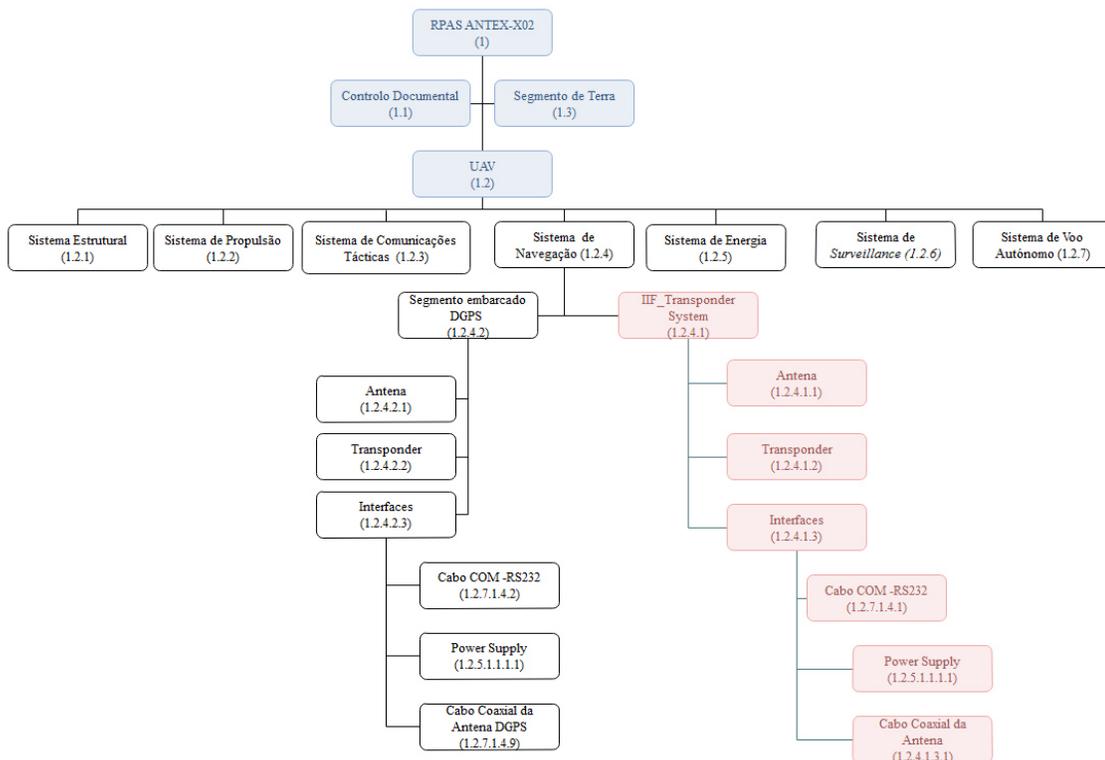


Figura 19 – Arquitectura interna do RPAS ANTEX- X02 Alpha Extended_Sistema de Navegação (Fonte: INCOSE, (2010).

A Força Aérea Portuguesa é uma organização que integra no seu dispositivo operacional, várias aeronaves que possuem a grande maioria dos sistemas que equipam o RPAS ANTEX-

X02 Alpha Extended, existindo o registo do seu controlo no Sistema Integrado de Apoio à Gestão na Força Aérea (SIAGFA), no módulo de Manutenção. Por conseguinte, definiu-se que seria a base de dados a utilizar para a recolha inicial de informação sobre os sistemas. Assim, recorreu-se aos dados relativos aos modos de falha da aeronave CHIPMUNK MK 20, integrante do dispositivo operacional da FAP.

A decisão relativa à utilização desses dados assentou nos seguintes factores:

- A semelhança das condições operacionais e ambientais a que as aeronaves estão sujeitas, factores preponderantes nos modos de falha dos sistemas;
- A proximidade física do centro de investigação com a Base Aérea 1, local onde estas aeronaves estão sedeadas.

O processo de recolha de dados do SIAGFA englobou a análise de informação referente às cinco aeronaves CHIPMUNK MK20 que actualmente compõem a frota, no período temporal de registos de 2005 a 2014, resultando num total de 7528 folhas de obra, conforme ilustrado na Figura 20.

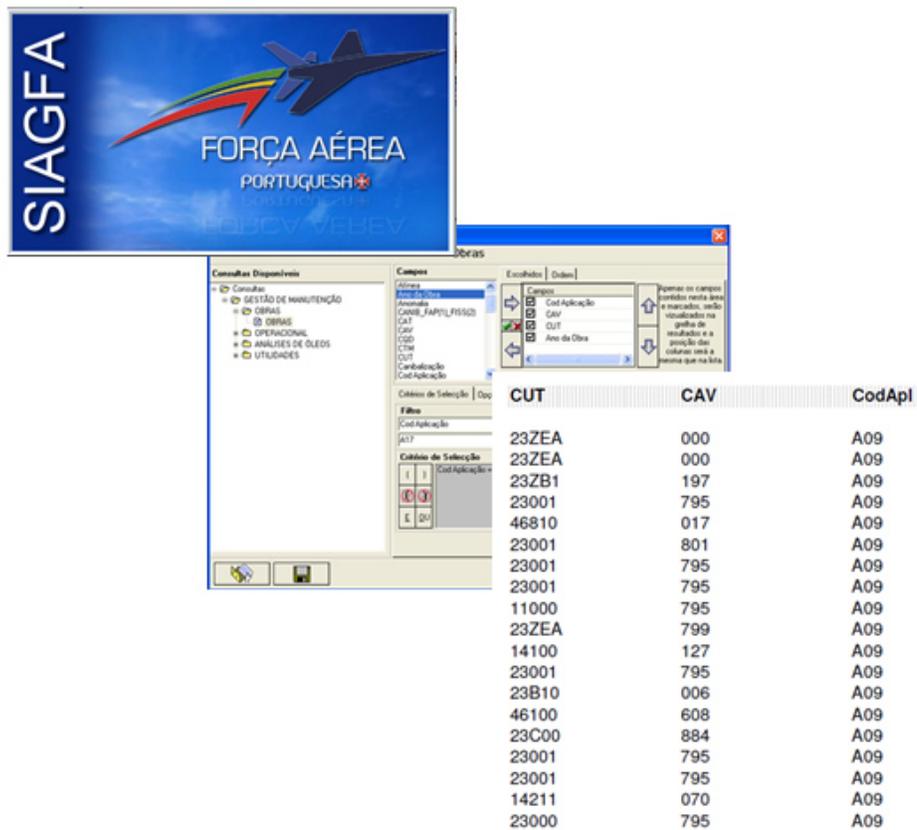


Figura 20 – Recolha de dados de avaria no SIAGFA relativa à aeronave CHIPMUNK MK20.

A análise detalhada dos dados recolhidos permitiu excluir todas as folhas de obras que diziam respeito a acções de manutenção realizadas na Unidade Base, em resposta ao cumprimento de tarefas manutenção programada. As acções de Manutenção Programada de 2º e 3º escalão, compreendem as acções de manutenção que contenham os Códigos de Tipo de Manutenção (CTM) da Tabela 13.

Tabela 13 - Códigos de Tipo de Manutenção.

CTM	Descrição
M	Manutenção do 3º Escalão
P	Inspecções Periódicas
Q	Outra Manutenção Programada
T	Cumprimento de Ordens Técnicas

Foram ainda excluídas todas as folhas de obra respeitantes a falhas em sistemas que não constam da arquitectura interna do RPAS. Assim, para a determinação da taxa inicial de falha dos vários sistemas, consideraram-se todas as falhas dos sistemas semelhantes aos utilizados no RPAS, excluindo as que foram registadas com os Códigos de Avaria (CAV) constantes na Tabela 14.

Os CAV e os CTM foram definidos pela FAP de acordo com as orientações da sua Direcção de Manutenção de Sistemas de Armas.

Tabela 14 - Códigos de Avaria.

CAV	Descrição
000	A utilizar com CUT de apoio geral ou de fase de inspeções (a começar por 0).
798	Sem defeito. OTC cumprida por verificação de registo ou inspeção, não é requerida modificação.
799	Sem defeito.
800	Sem defeito. Componente removido/ reinstalado para facilitar outra manutenção (inclui desligar / ligar fios eléctricos, linhas hidráulicas, etc)
801	Sem defeito. OTC cumprida correctamente. Todas as operações concluídas.
802	Sem defeito. Cumprimento parcial da OTC.
803	Sem defeito – Remoção por limite de potencial.
804	Sem defeito – Removido para manutenção programada (calend. Modificação ou verificação de segurança).
805	Sem defeito. Anterior ou posterior – Removido para stock.
806	Sem defeito. Rotina. Removido por fazer parte de conjunto.
807	Sem defeito. Remoção / reinstalação de componente por ordem superior (ordem administrativa).
808	Instalação de componente em aeronave, SC, SSS ou Sub-módulo transferido com este componente em falta ou removido com avaria por outra unidade (ou OGMA).
809	Sem deficiência – Remoção de componente de conjunto em acção oficial ou de conjunto de reserva.
810	Correcção de ficheiro (Código utilizável só pelo CRD).
811	Sem defeito. Removido para detecção de avaria e reinstalação no equipamento original.
812	Canibalização – Removido para detecção de avaria e por avaria, o componente/ equipamento ficou instalado noutra aeronave.
813	Canibalização – Por ordem superior (Transferência do componente/ equipamento para outra esquadra).
814	Canibalização – Avaria de substituição de material.
793	Sem defeito, conjunto para OTC recebido pelo abastecimento da base, ou componentes disponíveis em abast.
795	Sem defeito – cumprimento de OTC, END ou inspeção programada codificada com CAT 9X.
796	Sem defeito – OTC não aplicável, isto é um código de erro para dizer que este componente específico não deveria ter sido incluído na OTC. Este código não deve ser usado para confirmar cumprimento da OTC.
797	Sem defeito - OTC previamente cumprida.

A selecção inicial das folhas de obra resultou na identificação de 47 modos de falha diferentes, distribuídos pelos diferentes Códigos de Unidade de Trabalho (CUT), traduzindo-se num mapa de avarias da aeronave CHIPMUNK MK20, (ver Anexo IV), cujo excerto é apresentado na Figura 21. Designa-se de CUT ao conjunto de algarismos atribuídos a um sistema, subsistema ou componente da aeronave com o intuito de o identificar. Esta taxonomia é interna à FAP, contudo, transpõe na essência as especificações da classificação ATA 100 da Associação de Transportes Aéreos (*Air Transport Association*).

CUT PRIM	CUT	Fixação danificada	Folga	Vibração	Abre em voo	Estrutura danificada
11000	11130			4	1	2
11400	11400					
	11410	1				
	11420					
	11426					
	11430B	1				
11500	11510			1		
	11520			3		
	11500					
	11522					
	11521			1		
11600	11523	1				
	11600	2				
13000	11630					
	13000					

Figura 21 – Mapa de avarias das aeronaves CHIPMUNK MK 20.

Seguiu-se a determinação da frequência de ocorrência de cada modo de falha e a realização da análise de Pareto para identificação dos modos de falha mais expressivos. Semelhante análise foi realizada relativamente aos sistemas da aeronave (CUT), a fim de identificar os que têm maior influência na fiabilidade global das aeronaves, conforme apresentado nas Figuras 22 e 23.

Frequência dos Modos de Falha

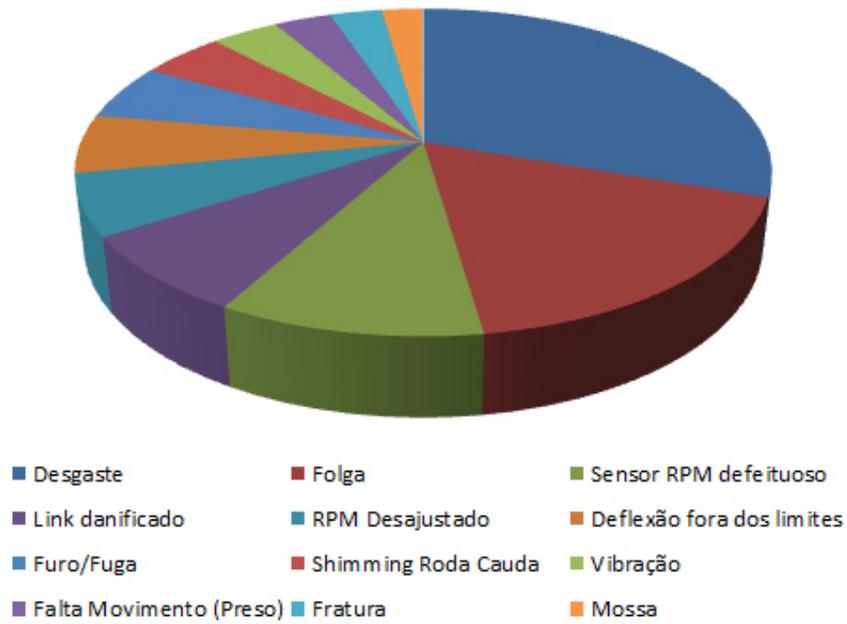


Figura 22 – Frequência por Modo de Falha das aeronaves CHIPMUNK MK20

Frequência de Falha por CUT

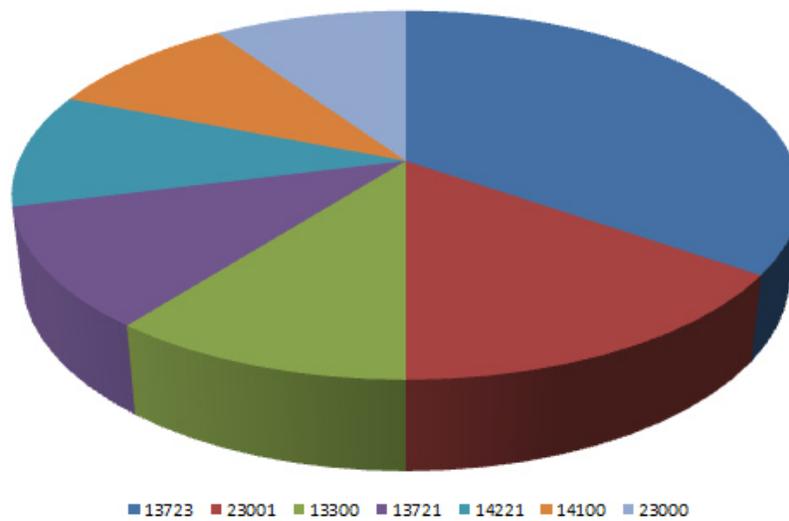


Figura 23 – Frequência por CUT Modo de Falha das aeronaves CHIPMUNK MK20

Os resultados das análises obtidos permitiram não só perspectivar quais seriam os sistemas do RPAS que iriam ser críticos, assim como, saber quais os prováveis modos de falha a que estariam sujeitos.

Concluiu-se assim a fase de recolha e tratamento dos dados relativos às aeronaves CHIPMUNK MK20, iniciando-se a fase de determinação da taxa de avaria de referência dos sistemas do RPAS ANTEX-X02 Alpha Extended.

5.4. Fase 3 - Determinação da Taxa de Avaria de Referência

A determinação da taxa de avaria de referência dos sistemas do RPAS ANTEX-X02 Alpha Extended, através das análises morfológicas, resulta da comparação e atribuição de ponderação às características de projecto, de operação e de ambiente do novo bem face aos equipamentos tidos como referência. O resultado obtido será o valor médio do factor de *stress* a ser aplicado ao valor da taxa de avarias do equipamento de referência.

Assim, para todos os sistemas (CUT) identificados na fase anterior foi determinado o respectivo coeficiente de ponderação, conforme exemplificado na Figura 24.

A determinação do factor de *stress* é efetuada através da equação 2.2. Após a determinação dos coeficientes de ponderação a aplicar ao factor de *stress* de cada sistema, determinou-se a porção de avarias nos diferentes modos de falha α_i , ou seja, contabilizaram-se o número de falhas por cada modo de falha e determinou-se a sua respectiva contribuição no valor global aferido. Sabendo que o total de horas voadas pela frota CHIPMUNK MK20 nesse período foi de 11328 horas, foram calculadas as taxas de avaria de referência λ_B para cada sistema, e finalmente estimou-se as suas respectivas taxas de avaria (λ_{XA}) através da equação 2.1.

FACTOR DE CORRECÇÃO

Categoria	Atributos	Ponderação	65000	
Projecto	Tipo	Instrumento	L	
		Eléctrico	M	x 0
		Mecânico	H	
	Dimensão	Pequeno	L	x -1
		Médio	M	
		Grande	H	
	Movimento	Estático	L	x -1
		Rotativo	M	
		Alternativo	H	
	Velocidade	Baixo	L	x -1
		Elevado	M	
		Muito elevado	H	
	Complexidade	Complexidade Baixa	L	
		Complexidade Média	M	
		Complexidade Elevada	H	x 1
Operação	Temperatura/Pressão	Ambiente	L	
		P<488 kgf/m ² @30°C	M	x 0
		P<2441 kgf/m ² @100°C	H	
	Função	Passivo	L	
		Processo	M	x 0
		Segurança	H	
	Stress	Baixo	L	
		Médio	M	
		Elevado	H	
Distribuição	Random	L		
	Wearout	M		
	Burn-in	H	x 1	
Modo	Contínua	L	x -1	
	Start-stop	M		
	Standby	H		
Ambiente	Benigno	L		
	Normal	M	x 0	
	Severo	H		
Vibração	Baixo	L	x -1	
	Normal	M		
	Elevado	H		
Ambiente	Tipo	Nuclear	L	
		Industrial	M	
		Marítimo	H	x 1
	Local	Controlado	L	
		Protegido	M	x 0
		Exposto	H	
	Temperatura/Humidade	Controlado	L	
		Protegido	M	
		Extremo	H	x 1
Soma			-1	
Média			0,0667	
Factor de Correção (k)			0,9548	

Figura 24 – Determinação do Coeficiente de Ponderação para o CUT 6500 Transponder.

A Figura 25 ilustra o processo anteriormente descrito para o subsistema *Transponder*.

MÉTODO DE PREVISÃO DA TAXA DE AVARIA

FM#	Failure Mode	65000	65182	65111
45	Falha de emissão	2		
46	Ficha transmitter inop		1	
47	IFF inop			1

Número de Falhas por MF	2	1	1
Número de Falhas por CUT	4		
Contribuição Parcial MF (α)	0,1538	0,0769	0,0769
Horas Voo [h]	11328		
SS Taxa de Avaria [h^{-1}]	0,000353107		
k_{CUT}	0,9548		
$\lambda_{MF-CORRIGIDO}$	1,69E-04	8,43E-05	8,43E-05
$\lambda_{CUT-CORRIGIDO}$	3,37E-04		

Figura 25 – Excerto dos cálculos para a determinação da taxa de avaria do CUT 6500 Transponder.

Torna-se, então possível iniciar o desenvolvimento do Plano Inicial de Manutenção com base na metodologia MSG-3.

5.5. Fase 4 - Desenvolvimento do Plano inicial de manutenção

Terminada a determinação das taxas de avaria de referência é possível iniciar o desenvolvimento do Programa Inicial de Manutenção para o RPAS ANTEX-X02 Alpha Extended com base na metodologia MSG-3. Esta metodologia, conforme descrito no Capítulo 3, envolve as análises aos sistemas/motores, às estruturas e zonas da aeronave. Na presente investigação recorreu-se ao programa informático *Synthesis da Reliasoft* para a realização dessas análises, pois esta ferramenta informática permite ainda transportar os resultados das análises para o desenvolvimento do Programa Inicial de Manutenção.

Em virtude do MSG-3 ter sido criado para aeronaves tripuladas, foi necessário ajustar os critérios de análise para RPAS, ou seja, foi feita a adequação da matriz de risco de acordo com os parâmetros preconizados no STANAG 4671 relativamente à aceitação do risco.

A análise aos Sistemas/Motores do RPAS ANTEX-02 Alpha Extended englobou: a identificação dos MSI através da análise funcional a esses sistemas, a definição e a seleção de tarefas de manutenção adequadas que seriam a base do PIM. A análise funcional foi realizada

através do módulo X-Fmea, em que para cada falha funcional identificada foi realizada uma avaliação e categorização das suas consequências em termos de impactos: na segurança, na operação e economia, de acordo com o ilustrado na Figura 26.

Seguiu-se a análise às Estruturas, que consistiu: na identificação dos SSI; na avaliação do risco potencial de deterioração ambiental (ED) e/ou danos acidentais (AD) das estruturas; na definição das tarefas de inspeção estruturais recomendadas e na identificação das principais zonas, principais sub-zonas, conforme Figura 27. Prosseguiu-se com a análise às Zonas onde se efetuou: a identificação da densidade de equipamentos em cada zona; a determinação da probabilidade de ocorrência de danos acidentais devido ao manuseio, ao transporte, a fatores climáticos, a *lightning strike* e desenvolveram-se os procedimentos de manutenção, conforme apresentados na Figura 28.

Relativamente ao subsistema IFF_Transponder foi realizada a análise de modos de falha e seus efeitos ao sistema. Com base nos resultados obtidos da avaliação e classificação das consequências das falhas funcionais foi realizada a seleção das tarefas de manutenção aplicáveis, ilustrado na Figura 29. As tarefas de manutenção programada e os períodos iniciais para a sua execução foram identificados, tendo em consideração a classificação dos impactos da falha, tal como representado na Figura 30.

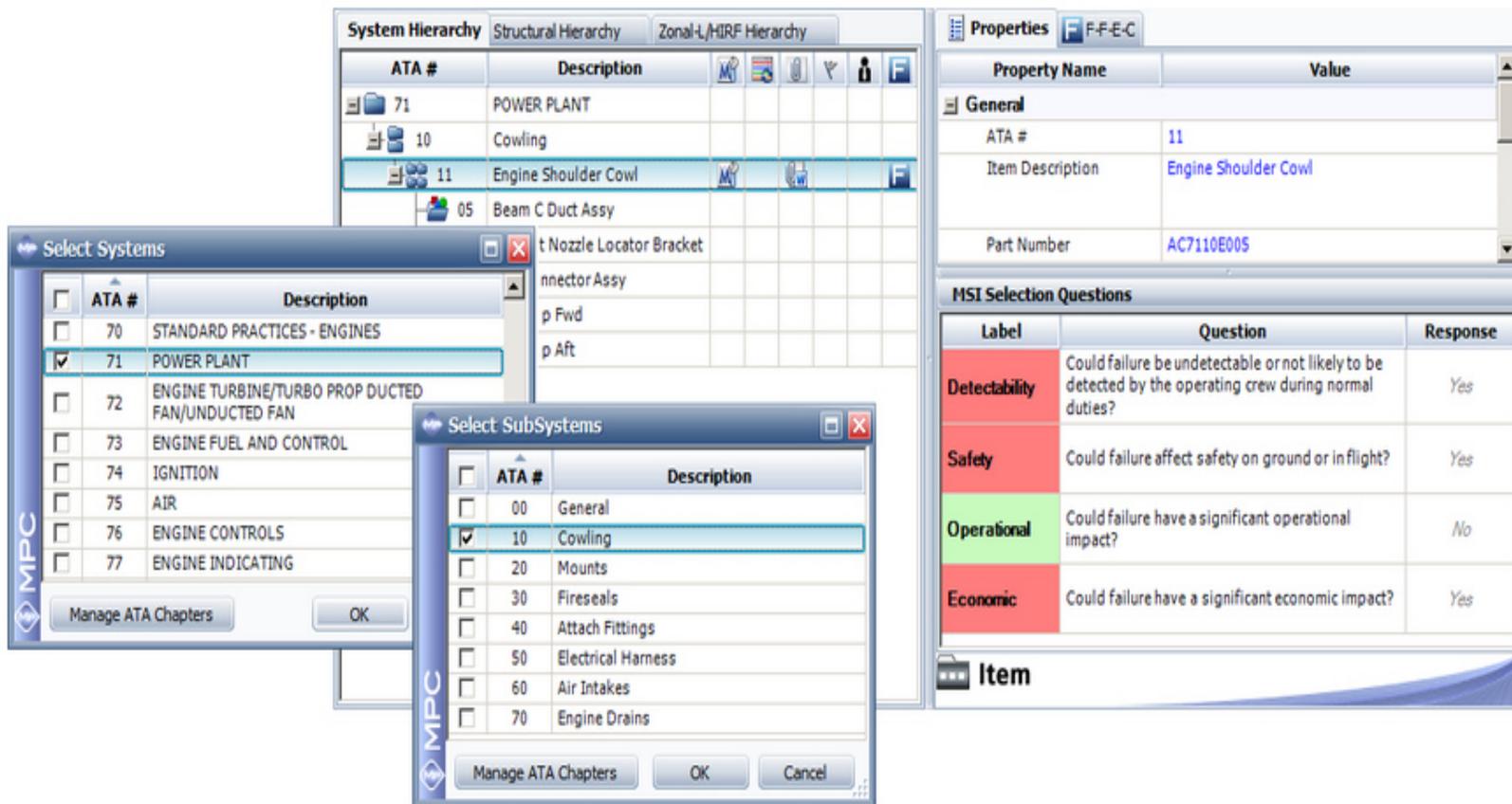


Figura 26 - Análise aos Sistemas/Motores segundo o MSG-3. (Fonte: Synthesis Reliasoft)

The image displays the Synthesis Reliasoft software interface for structural analysis. The main window shows a 'Structural Hierarchy' table with the following data:

ATA #	Description
55	STABILIZERS
40	Rudder
41	Rudder Edge
01	Rudder Surface

Two 'Select Systems' dialog boxes are overlaid. The first dialog shows a list of systems with '55 STABILIZERS' selected. The second dialog shows a list of subsystems with '40 Rudder' selected.

The 'Properties' panel on the right shows the following data:

Property Name	Value
#	01
Description	Rudder Surface
Location	Vertical Stabilizer
Zone	300
Access	NOT APPLICABLE
Part Number	12345-7
Drawing Number	12345-7 REV 3

The 'SSI Selection Questions' table is also visible:

Label	Question	Response
Flight	Does Item contribute significantly to carrying Flight Loads?	Yes
Ground	Does Item contribute significantly to carrying Ground Loads?	Yes
Pressure	Does Item contribute significantly to carrying Pressure Loads?	No
Control	Does Item contribute significantly to carrying Control Loads?	Yes
Safety	Could the failure of the Item affect the structural integrity necessary for the Safety of the aircraft?	Yes

Figura 27 - Análise às Estruturas segundo o MSG-3. (Fonte: Synthesis Reliasoft)

Zonal Analysis - Properties/Ratings

Density/Accidental Damage Ratings	
Density	1 - High
Likelihood of Accidental Damage	2 - Medium
Ground Handling	3 - Low
Cargo Handling	3 - Low
Weather	3 - Low
Lightning Strike	3 - Low
Ramp/Runway Debris	3 - Low
Spillage	3 - Low
Maintenance	2 - Medium
Operations	3 - Low
Density/Accidental Damage	1 (1,2)

Hostility of Environment Rating	
Hostility of Environment	2 - Medium
Atmosphere	3 - Low
Corrosive Products	3 - Low
Condensation	3 - Low
Water Entrapment	3 - Low
Extreme Temperatures	3 - Low
Vibration	2 - Medium

Overall Rating			
Overall Rating	1 (1,2)		

Task #	Transfer Reference #	Type	Description
001		GVI	General visual inspection of baggage compartme...

Zonal Analysis - Wiring Inspection

Inspection Level Definition	
Density/Size Ratings	
Density	1 - High
Size	2 - Medium
Density/Size	1 (1,2)
Fire Effects (Criticality)	
Fire Effects	1 - High
Density/Size and Fire Effects Rating	
Density/Size/Fire	1 (1,2)

Inspection Level Verification	
Interval Determination	
Hostility of Environment	1 - Severe
Likelihood of Accidental Damage	
Ground Handling Equipment	1 - High
Foreign Object Damage	1 - High
Weather Effects (hail, etc.)	1 - High
Frequency of Maintenance	2 - Medium
Fluid Spillage	1 - High
Other	
Hostility of Environment/Accidental Damage	1 (1,2)

Task #	Type	Description	Interval	ZIP Candidate	Access	Remarks
001E	DET	Detailed inspection of electrical cabinet for evidence of damage to wire bundles.	6 Yr	No	Via baggage compartme...	A Restoration task is applicable an...
002E	RST	Clean the compartment	6 Yr	No	Via baggage compartme...	

Figura 28 - Análise às Zonas segundo o MSG-3. (Fonte: Synthesis Reliasoft)

The screenshot displays a software interface for system analysis. On the left, a 'System Hierarchy' tree lists various components under ATA numbers. On the right, a 'Failure Effect Categorization' dialog box is open, showing a flowchart of questions and answers for categorizing a functional failure.

System Hierarchy Table:

ATA #	Description
50	Dependent Position Determining
51	IFF_Transponder
01	Air Antenna
02	Transponder Equipment
03	Power Supply
04	Antenna Coaxial Cable
52	DGPS
01	Air Antenna
02	Receiver
03	Power Supply
60	Flight Management Computing_ Computational board
01	USB PORT
02	Power Supply
03	Ethernet
04	COM RS232 Cable
43	TACTICAL COMMUNICATIONS
10	Ultra, super and extra high frequencies (UHF/SHF/EHF)
11	UHF Communications
01	Air Antenna
02	Antenna Coaxial Cable
12	Surveillance Communications
01	Transmitter
02	Air Antenna
03	Power Supply
04	Antenna Coaxial Cable
90	Satellite communications
91	SATCOM_Iridium
01	Air Antenna
02	Air Modem
03	Power Supply
04	Antenna Coaxial Cable
61	PROPELLERS/PROPULSION
10	Propeller Assembly
71	POWER PLANT
00	General

Failure Effect Categorization Dialog Box:

Associated Records:

#	Description	FEC	Tasks
1	Aumentar a segurança das plataformas.		
2	Identificação das plataformas.		
A	Falha na transmissão da identificação da plataforma.		
1	Colisão.	5	
a	Degradação dos componentes.		1
001	Monitorização dos componentes. (RST)		

Failure Effect Categorization Questions and Answers:

Question 1: Is the occurrence of a functional failure evident to the operating crew during the performance of their normal duties?
 Yes No

Question 2: Does the Functional Failure or secondary damage resulting from the Functional Failure have a direct adverse effect on operating safety?
 Yes No

Question 3: Does the combination of a Hidden Functional Failure and one additional failure of a system related or backup function have an adverse effect on operating safety?
 Yes No

Question 4: Does the Functional Failure have a direct adverse effect on operating capability?
 Yes No

Answers Explanations:

Answer 1: Yes, the occurrence of a Functional Failure will be evident to the operating crew during the performance of their normal duties.

Answer 2: Yes, the Functional Failure or secondary damage resulting from the Functional Failure will have a direct adverse effect on operating safety.

Answer 3:

Answer 4:

Remarks:

MMEI Ref:

Category: 5 - Evident Safety

Buttons: Manage Default Responses, Set current Responses as Default, OK, Cancel

Footer: Last Update Date: 04-04-2014 21:11 User: Nelson Afonso_3

Figura 29 – Análise aos Sistemas/Motores segundo o MSG-3 para o sistema Transponder. (Fonte: Synthesis Reliasoft)

System Hierarchy

ATA #	Description
50	Dependent Position Determining
51	IFF_Transponder
01	Air Antenna
02	Transponder Equipment
03	Power Supply
04	Antenna Coaxial Cable
52	DGPS
01	Air Antenna
02	Receiver
03	Power Supply
60	Flight Management Computing_ Computational board
01	USB PORT
02	Power Supply
03	Ethernet
04	COM RS232 Cable
43	TACTICAL COMMUNICATIONS
10	Ultra, super and extra high frequencies (UHF/SHF/EHF)
11	UHF Communications
01	Air Antenna
02	Antenna Coaxial Cable
12	Surveillance Communications
01	Transmitter
02	Air Antenna
03	Power Supply
04	Antenna Coaxial Cable

Properties F-F-E-C

#	Description	FEC	Tasks
1	Aumentar a segurança das plataformas.		
2	Identificação das plataformas.		
A	Falha na transmissão da identificação da plataforma.		
1	Colisão.	5	
a	Degradação dos componentes.		1
001	Monitorização dos componentes.(RST)		

Task Selection

Associated Records

MSI 34-51-00 - NAVIGATION - IFF_Transponder
 Function 2 - Identificação das plataformas.

FEC: 5 - Evident Safety

#	Question	Yes/No	Response Explanation
A	Is a Lubrication or Servicing Task Applicable and Effective?	No	No, a lubrication or servicing task will not be applicable and effective.
	Is a Check To Verify Operation Applicable and Effective?		Question is not applicable for Category 5
B	Is an Inspection or Functional Check to Detect Degradation of Function	No	No, an inspection or functional check to detect degradation of the function will not be applicable

Assigned Tasks

Task #	Type	Description	Interval	Zonal	Remarks
001	RST	Monitorização dos componentes.	3 (Mon)	N/A	

Figura 30 – Seleção das tarefas de manutenção para o sistema Transponder. (Fonte: Synthesis Reliasoft)

Os procedimentos descritos para o subsistema Transponder foram aplicados aos restantes sistemas do RPAS ANTEX-X02 Alpha Extended, sendo produzidos os relatórios das análises de todos os sistemas, estruturas e zonas (ver Anexo V), especificando entre outros aspetos as tarefas de manutenção alocadas e os seus intervalos de execução.

Posteriormente, adotando-se o procedimento preconizado na publicação S1000D da AECMA (AECMA,1999) para elaboração de manuais para o sector aeronáutico, desenvolveu-se o Plano de Inicial de Manutenção para o de RPAS ANTEX-X02 Alpha Extended.

Conforme referido anteriormente, o desenvolvimento do plano inicial de manutenção consubstancia e materializa os requisitos de segurança e aeronavegabilidade decorrentes da condução do *Safety Assessment*. Sendo a fase de demonstração de evidências do cumprimento desses requisitos crucial para o sucesso do processo de certificação, apresenta-se nas secções seguintes o modelo proposto para condução do *Safety Assessment* de RPAS, o qual se pretende que contribua favoravelmente na avaliação de aceitação da conformidade das demonstrações.

5.6. Pressupostos de Operação RPAS

O objecto de estudo e fonte de dados operacionais para a obtenção das taxas de insucesso nas diferentes fases de voo na formulação do modelo do *Safety Assessment* de RPAS, foi o RPAS ANTEX-X02 Alpha Extended, mostrado na Figura 31, através da recolha dos seus dados constantes no sistema de registo de manutenção, avarias e modificações do CIAFA.

O RPAS ANTEX-X02 Alpha Extended é uma aeronave desenvolvida no âmbito do projecto PITVANT. Foi concebida tendo em vista a execução de missões de Vigilância e Reconhecimento marítimo e caracteriza-se por: ser equipado com motores de combustão interna; a velocidade máxima ser de 89,5 mph; o alcance vai até 54 nm; a autonomia de voo média é de 10 horas, sendo expectável que cumpra 36.500 horas em serviço.

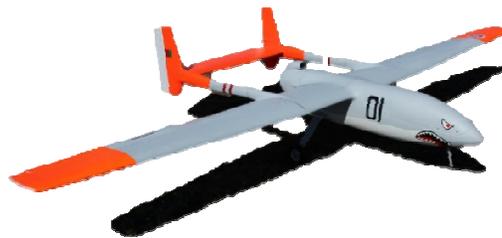


Figura 31 - ANTEX-X02 Alpha Extended.

Embora tenham sido utilizados os dados operacionais relativos ao RPAS ANTEX-X02 Alpha Extended na fase de formulação, a autora considera que o modelo proposto possa ser aplicado a um RPAS genérico, desde que cumpra as seguintes premissas:

- 1- O voo autónomo, conforme Figura 32, seja efectuado com recurso a um piloto automático (controlador de circuito interno) que aceite referências de controlo cinemático (por exemplo: altitude, velocidade vertical, etc.), e que controle os desvios das superfícies de voo do RPAS necessários para seguir essas referências, na presença dum modelo de incerteza e perturbações externas, como vento.
- 2- A estação de comando e controlo permita que o operador do RPAS monitorize os dados de telemetria do piloto automático e actualize o plano de voo do RPAS ou as referências de controlo cinemáticas.
- 3- A qualquer momento, um piloto manual (*Safety Pilot*) pode assumir o Comando e Controlo da aeronave proporcionando um grau adicional de segurança.
- 4- O RPAS voa em trajectórias pré-programadas através de navegação por *waypoints*.
- 5- No caso de o RPAS perder comunicação com a estação de controlo de terra por um predeterminado período de tempo, ele irá automaticamente para um local predefinido de *Lost Comm. Waypoint*, até que as comunicações sejam restabelecidas.

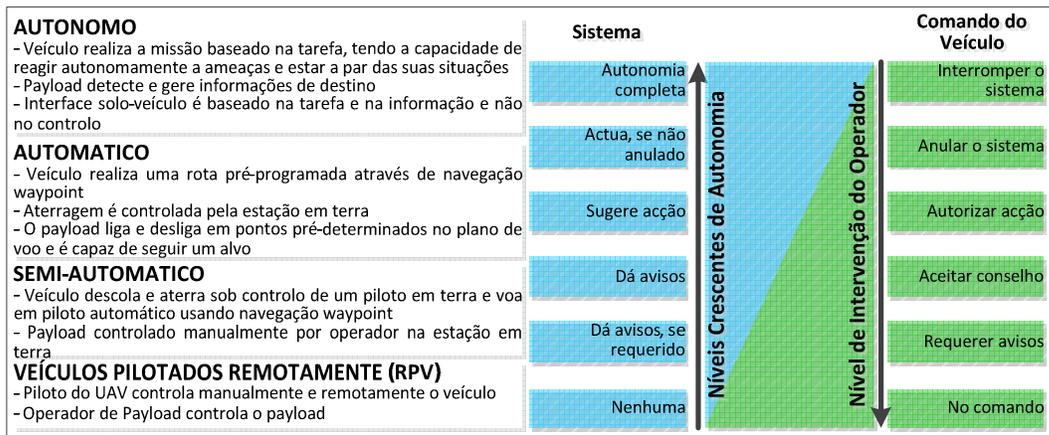


Figura 32 - Classificação dos níveis de autonomia do RPAS (Fonte: Adaptado do Cummings, 2003).

O estudo realizado pelo DoD (2003), relativo à natureza das falhas nas operações de RPAS, conclui que a predominância das falhas identificadas estava associada: ao sistema de propulsão; aos controladores de voo; às comunicações e aos factores humanos. Em linha com as conclusões

referidas no estudo anterior a análise dos dados operacionais do RPAS ANTEX-X02 Alpha Extended concluiu-se que o maior número de falhas registadas estava associado ao sistema de propulsão, às comunicações e aos controladores de voo, tal como mostrado na Figura 33.

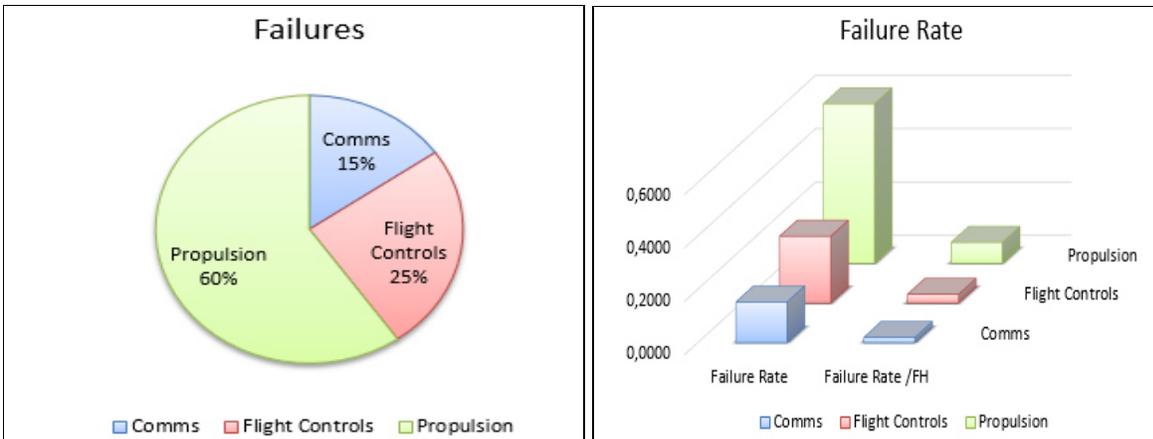


Figura 33 - Percentagem de falhas relativas ao sistema de propulsão, aos controladores de voo e às comunicações.

O valor as taxas de disparo das transições utilizado no modelo do processo de *Safety Assessment* de RPAS proposto resulta do cálculo das probabilidades de ocorrência dos eventos; falha do sistema de propulsão, falha dos controlos de voo e ou falha das comunicações nas diferentes fases de voo.

Assim, o modelo de *Safety Assessment* proposto só irá considerar as falhas isoladas ou combinadas do sistema de propulsão, das comunicações e dos controladores de voo. A compreensão do comportamento RPAS perante estes eventos e a implementação de acções e / ou processos de mitigação para dirimi-los, permite reforçar a demonstração de que um nível aceitável de segurança nas operações é atingido.

5.7. Construção do modelo do *Safety Assessment* do RPAS

O modelo representa a dinâmica real do processo, incluindo as condições de falha. A teoria fundamental das redes de Petri (PN) é baseada na identificação de componentes individuais do sistema e na relação entre eles. Deveremos incluir o comportamento normal do processo associado ao comportamento em falha (Trigos e al, 2010). Assim, o modelo assentou nos pressupostos seguintes:

- I. As avarias do RPAS consideram-se evidentes para a tripulação, ou seja, que as transições T são observáveis e detectáveis pelo sistema e são mostradas à tripulação do RPAS;
- II. As avarias consideradas são aquelas que conduzem aos MFE, em particular os que são classificados como: catastrófico, perigoso e maior;
- III. As avarias simultâneas conduzirão a um único MFE;
- IV. A missão do RPAS é interrompida sempre que ocorra uma ou mais avarias referentes ao sistema de propulsão, aos controladores de voo e às comunicações;
- V. A rede de Petri, $PN = \langle P, T, I, O \rangle$, representa a modelação dos eventos do sistema RPAS, a fim de ser efectuada a avaliação de segurança.

O modelo proposto compreende as seguintes modulações:

- A missão (fases de voo) de Vigilância e Reconhecimento marítimo do RPAS;
- A ocorrência de avarias e o *Safety Assessment* dos MFE;
- A missão (fases de voo) de Vigilância e Reconhecimento marítimo com ocorrência de avarias;

I. Modelo da missão de Vigilância e Reconhecimento marítimo do RPAS Fases do Voo

O modelo presume que o RPAS realiza uma missão de Vigilância e Reconhecimento marítimo com as seguintes fases de voo: *taxi*, *take-off*, *climbout*, *enroute*, *approach*, e *landing* (NASA, 2007; Chew et al, 2008). Para além das fases de voo mencionadas anteriormente, adicionalmente considerou-se a fase onde se atribui a missão ao RPAS, denominada de “*assign*”, mostrado na Figura 34.

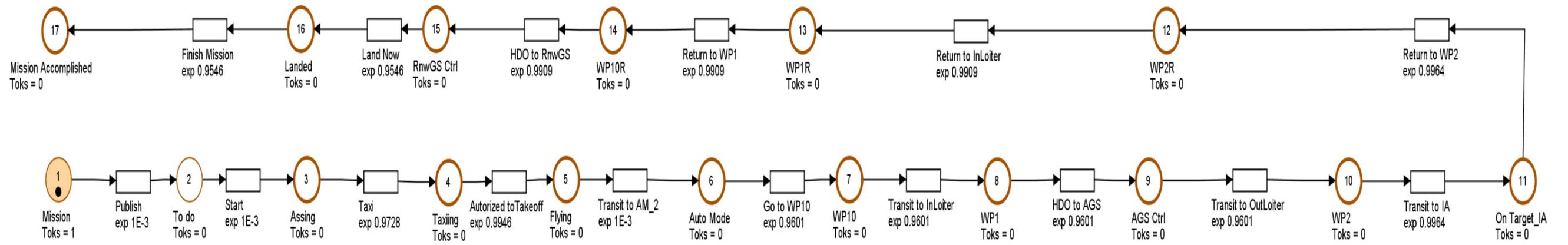


Figura 34 - O submodelo RdP referente às fases de voo da missão de Vigilância e Reconhecimento marítimo do RPAS.

A RdP relativa à missão do RPAS possui dezassete estados, cada estado é representado por um lugar. Salienta-se que, se abstrairmos as conexões com componentes externos ao RPAS e a representação de ocorrência de falhas (representadas a tracejado), a RdP resultante encontra-se na classe das Máquinas de Estados, uma vez que a cada transição corresponde apenas um único arco de entrada e outro de saída (Murata, 1989).

Os parâmetros utilizados para efectuar os disparos das transições resultaram da análise de dados de fiabilidade relativos ao RPAS ANTEX-X02 Alpha Extended, que compreendeu a análise estatística das avarias segundo o sistema de propulsão, as comunicações e os controladores de voo. Posteriormente, foi verificada a correlação dos resultados obtidos em função das diferentes fases de voo. As taxas de disparo das transições apresentadas na Tabela 15 são o resultado dessa análise.

Tabela 15 – Taxas de disparo das transições e estados do modelo RdP das fases de voo da missão de Vigilância e Reconhecimento marítimo do RPAS.

Lugar ID	Nome do Lugar	Lugar ID	Nome do Lugar	Trans. ID	Nome Transição	Trans. λ (Taxa de disparo)	Trans. ID	Nome Transição	Trans. λ (Taxa de disparo)
1	Mission	10	WP2	1	Publish	0,9728	10	Return to WP2	0,9964
2	To do	11	On Target_IA	2	Start	0,9728	11	Return to InLoiter	0,9909
3	Assing	12	WP2R	3	Taxi	0,9728	12	Return to WP1	0,9909
4	Taxiing	13	WP1R	4	Autorized toTakeoff	0,9728	13	Land Now	0,9546
5	Flying	14	WP10R	5	Go to WP10	0,9728	14	Finish Mission	0,9546
6	Auto Mode	15	RnwGS Ctrl	6	Transit to InLoiter	0,9601			
7	WP10	16	Landed	7	HDO to AGS	0,9601			
8	WP1	17	Mission Accomplished	8	Transit to OutLoiter	0,9601			
9	AGS Ctrl			9	Transit to IA	0,9601			

II. Modelo referente à ocorrência de falha e ao *Safety Assessment of Most Feared Events*

As ocorrências de falhas consideradas no modelo referem-se apenas aos sistemas mencionados anteriormente, cuja classificação relativa à severidade dos seus impactos na segurança da missão, são: Sem Efeito na Segurança (Menor), Maior, Perigoso e Catastrófico, conforme ilustrado nas Figuras 35-38.

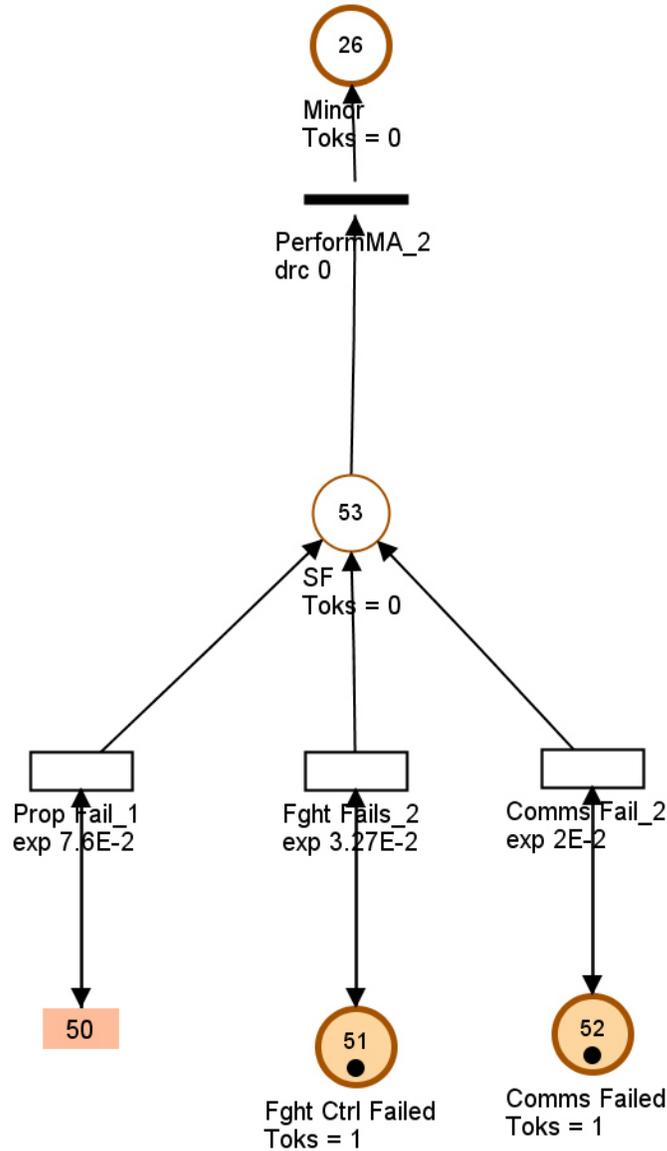


Figura 35 – O submodelo RdP referente à ocorrência de falha com impactos classificados de “Sem Efeitos na Segurança”.

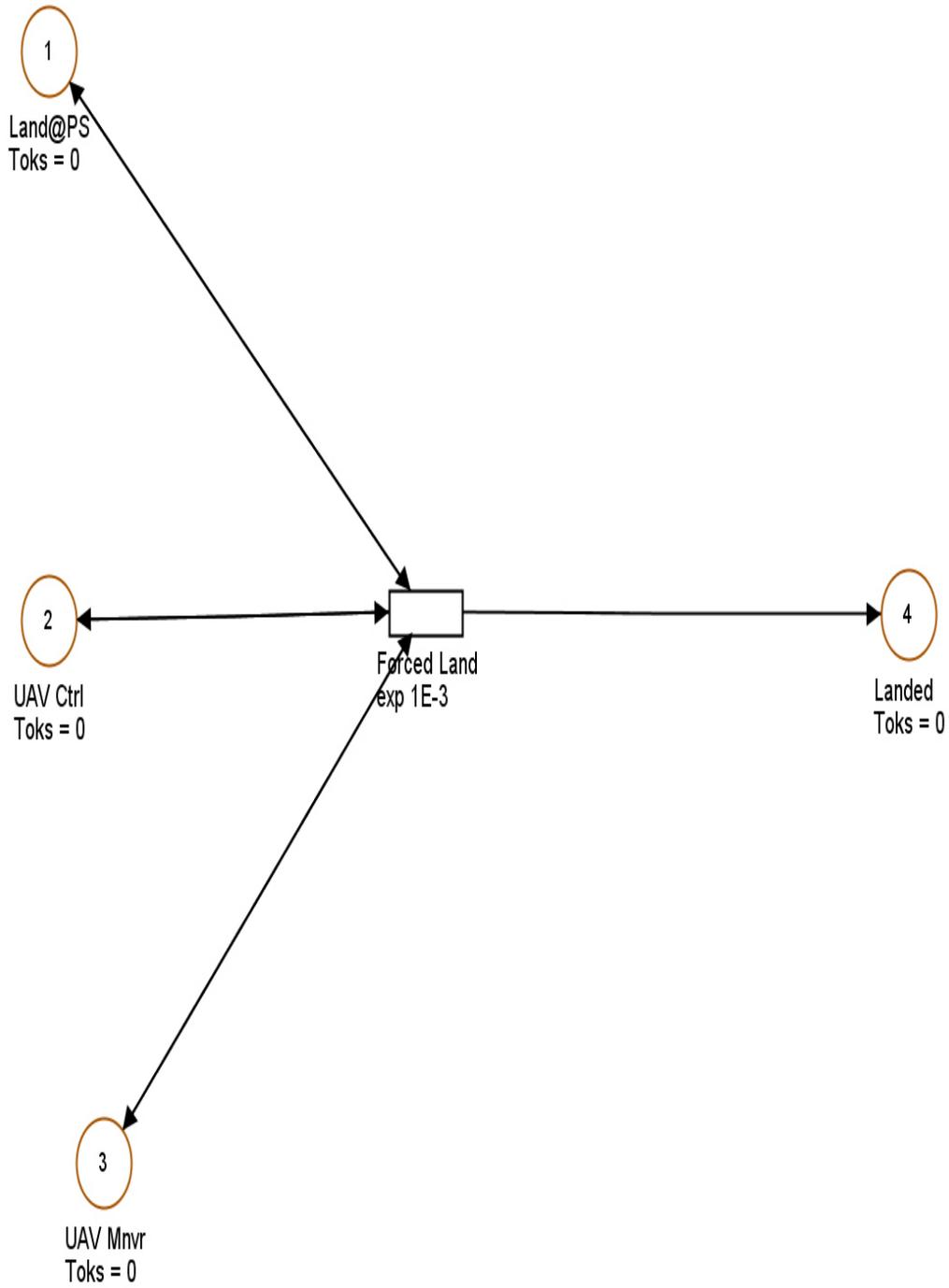


Figura 36 – O submodelo RdP referente à ocorrência de falha com impactos classificados de “Maior”.

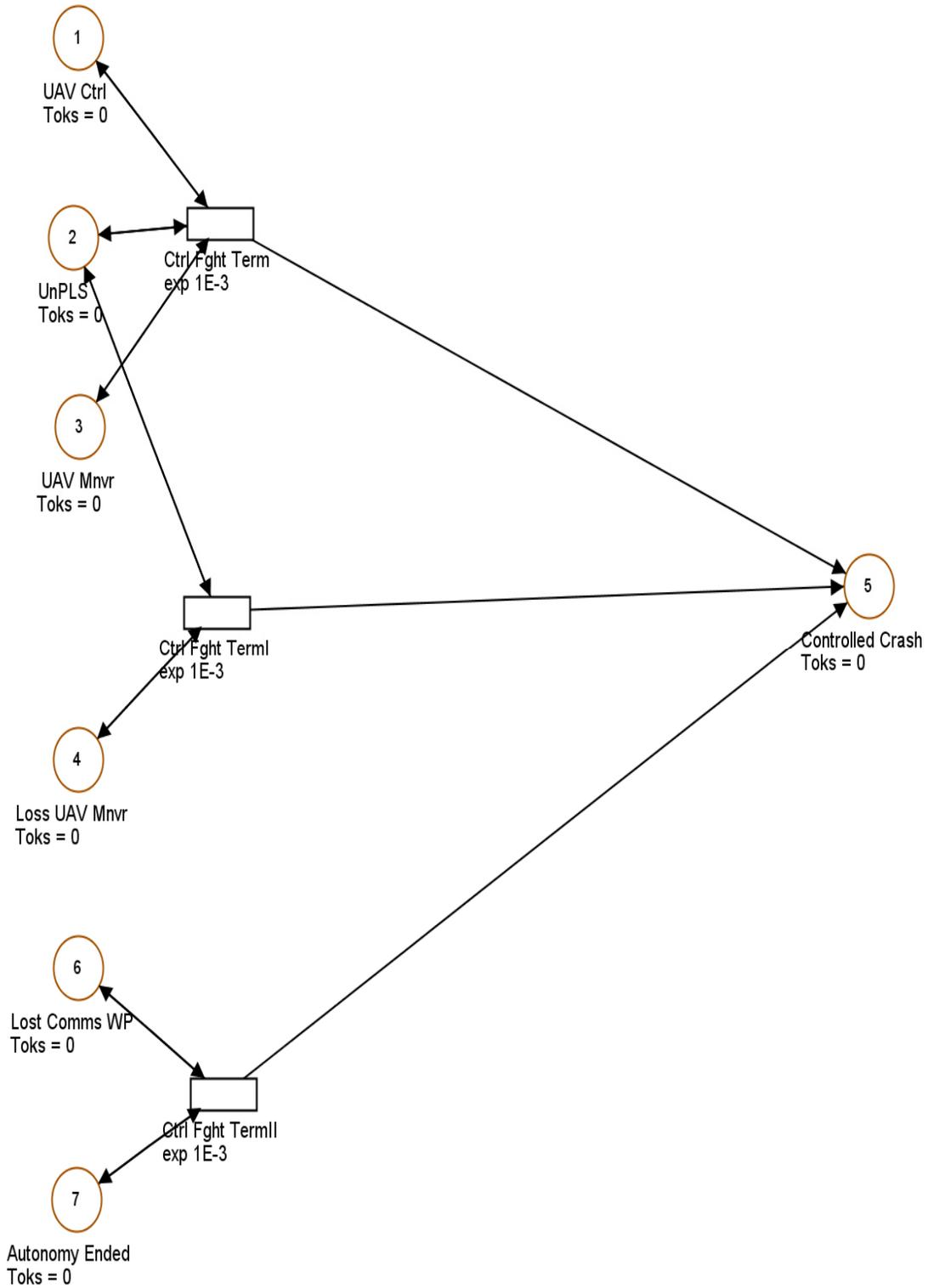


Figura 37 – O submodelo RdP referente à ocorrência de falha com impactos classificados de “Perigoso”.

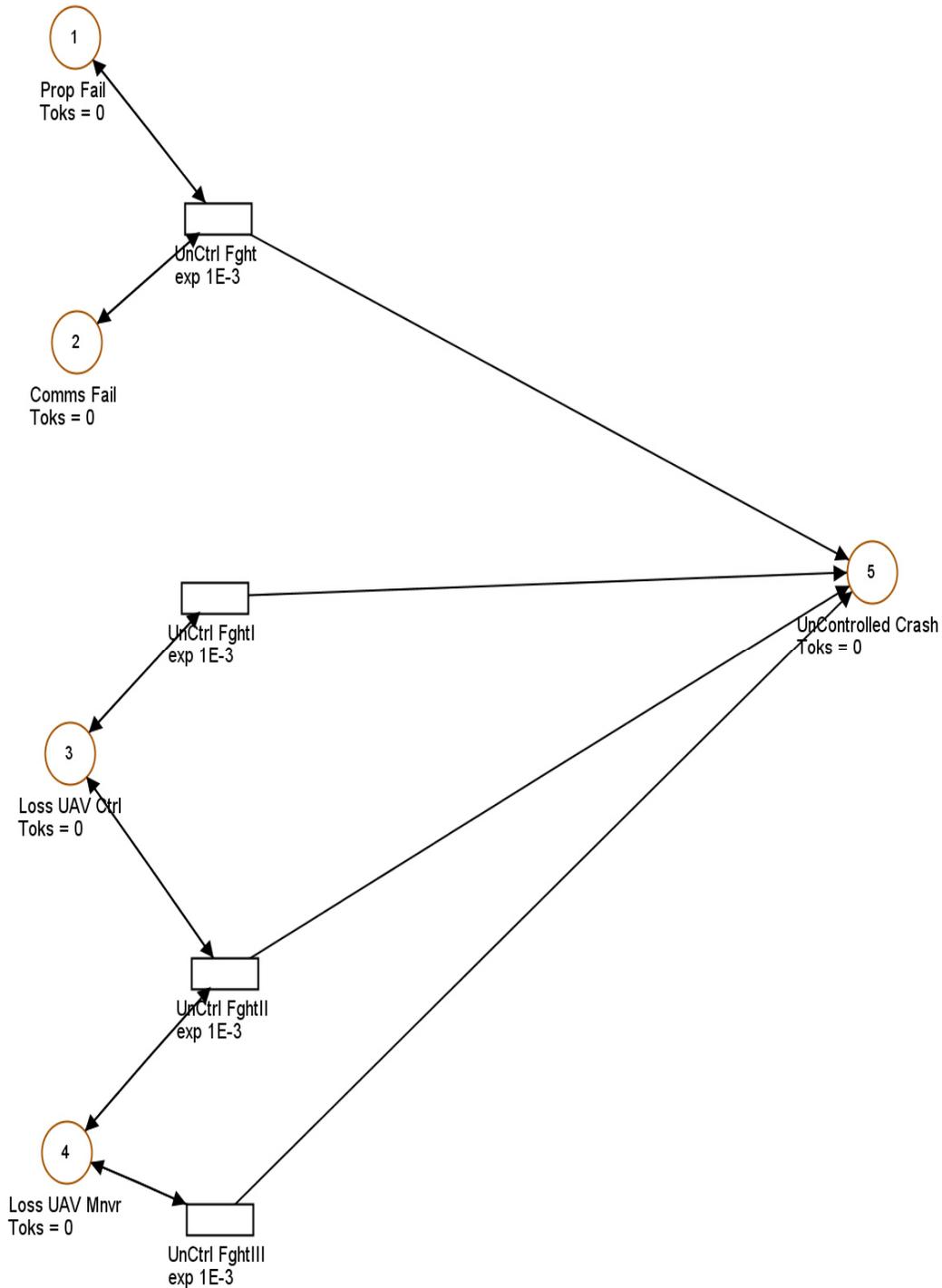


Figura 38 - O submodelo RdP referente à ocorrência de falha com impactos classificados de “Catastrófico”.

Dependendo das condições de falha, o RPAS irá realizar um procedimento diferente, tal como: prosseguir a missão; executar uma aterragem de emergência; executar uma queda controlada ou uma queda não controlada, como mostrado na Figura 39.

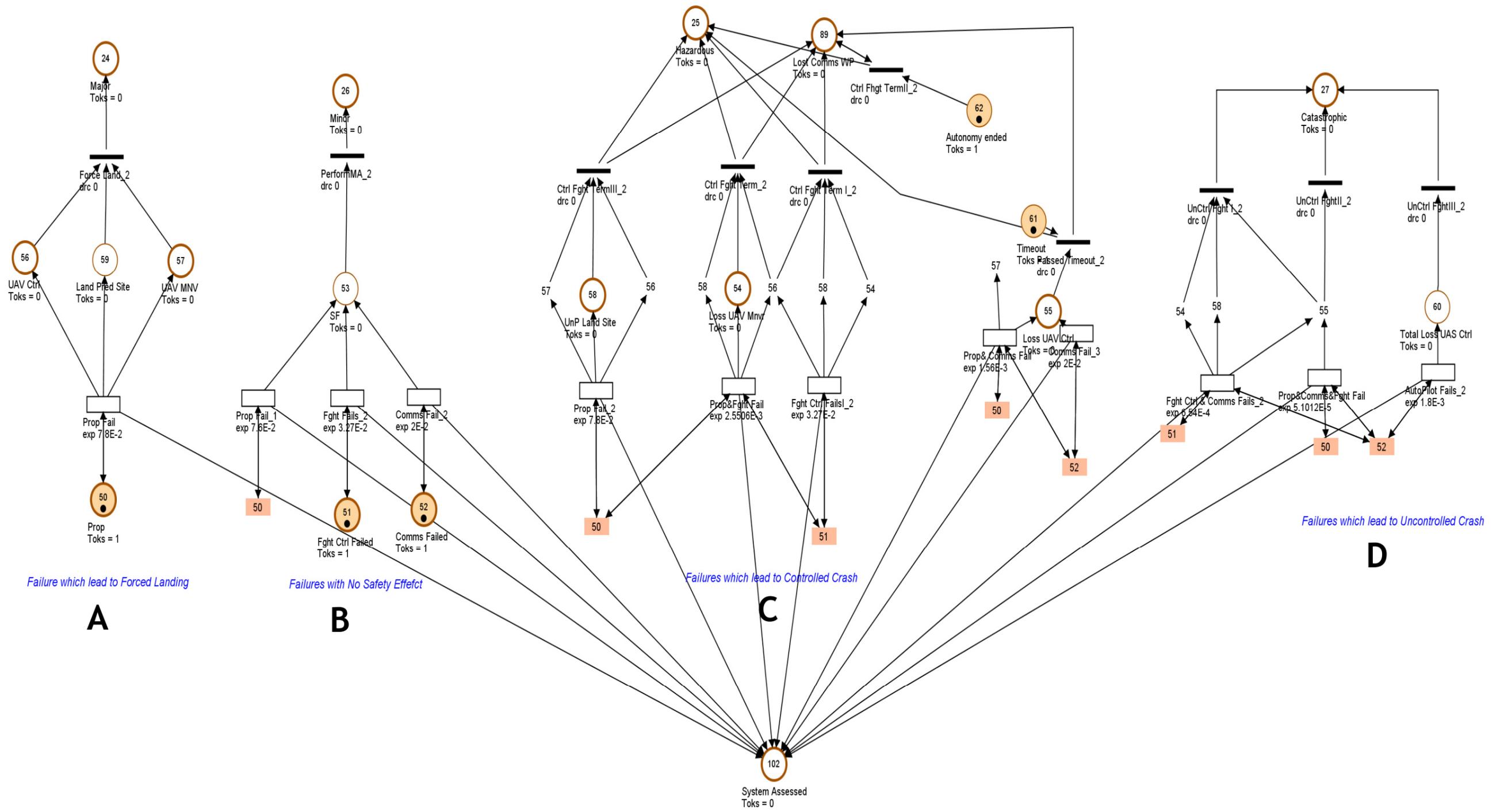


Figura 39 – O submodelo RdP referente à ocorrência de falhas e do Safety Assessment dos MFE.

Analisando os modelos em RdP, dispostos da esquerda para a direita (A-D), da Figura 39:

- A- Falha Sem Efeitos na Segurança:** são falhas referentes ao sistema de propulsão, aos controladores de voo ou às comunicações isoladamente, em que através da realização de acções de mitigação o RPAS recupera da condição de falha e prossegue a missão. O submodelo possui sete estados: Prop; Fght Fails; Comms Fails; System Fail (SF), System Recovered (SR); *Minor* e *Mission Proceeded*;
- B- Falha que conduz à Aterragem de Emergência:** são falhas referentes ao sistema de propulsão. O submodelo possui sete estados: propulsion system fail (Prop); RPAS control (UAV Ctrl); *Land Predetermined Site* (Land Pred Site); RPAS maneuver (UAV MNV); *Major*; *Forced Landing* e *Mission Unaccomplished*;
- C- Falha que conduz à Términus Controlado da Trajectória:** são falhas referentes ao sistema de propulsão, aos controladores de voo ou às comunicações isoladamente ou em simultâneo, que conduzem à queda controlada do UAV. O submodelo possui treze lugares *Prop*; *Fght Fails*; *Comms Fails*; *UAV Ctrl*; *UAV MNV*; *Loss UAV maneuver* (Loss UAV MNV); *Loss UAV control* (Loss UAV Ctrl); *Timeout*; *Unplanned Land Site Autonomy ended*; *Hazardous*; *Controlled Crash* e *Mission Unaccomplished*;
- D- Falha que conduz à Queda Não Controlada:** são falhas referentes ao sistema de propulsão, aos controladores de voo ou às comunicações isoladamente ou em simultâneo, que conduzem à queda não controlada. O submodelo possui dez estados: *Prop*; *Fght Fails*; *Comms Fails*; *Total Loss UAV Control* (Total Loss UAV Ctrl); *Loss UAV MNV*; *Loss UAV Ctrl*; *Unp Land Site*; *Catastrophic*; *Uncontrolled Crash* e *Mission Unaccomplished*. A Perda Total do Controlo do UAV ocorre sempre que o piloto automático falha.

As taxas de disparo das transições, assim como a identificação dos lugares referentes à ocorrência das falhas do submodelo RdP do *Safety Assessment of Most Feared Events*, são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Taxa de disparo das transições e os estados referentes à ocorrência das falhas do modelo do Safety Assessment of Most Feared Events.

Lugar ID	Nome do Lugar	Lugar ID	Nome do Lugar	Trans. ID	Nome Transição	Trans. λ (Taxa de disparo)	Trans. ID	Nome Transição	Trans. λ (Taxa de disparo)
24	Major	58	UnP Land Site	70	Prop FailsI_2	0,0780	83	Comms Fail_3	0,0200
25	Hazardous	59	Land Pred Site	71	Prop Fails_2	0,0780	84	Prop FailsI_3	0,0780
26	Minor	60	Total Loss UAV Ctrl	72	Safety Assessment_end_No Safety Effect_15	0,0010	85	Prop eFght Ctrl Falis_2	0,00025
27	Catastrophic	61	Timeout	73	PerformM A_2	0,0005	86	Prop &Comms Fails_2	0,00155
50	Prop	62	Autonomy ended	74	Fght Fails_2	0,0327	88	UnCtrl Fght I_2	0,0010
51	Fght Ctrl Failed	89	Lost Comms WP	75	Comms Fail_2	0,0200	89	UnCtrl FghtIII_2	0,0010
52	Comms Failed	102	System Assessed	76	Safety Assessment_end_Controlled Crash_3	0,0010	90	UnCtrl FghtIII_2	0,0010
53	SF	103	UnControlled Crash	77	Ctrl Fght Term I_2	0,0010	91	AutoPilot Fails_2	0,0018
54	Loss UAV Mnv	104	Controlled Crash	78	Ctrl Fght Term_2	0,0010	92	Prop &Comms &Fght Fails	0,00005
55	Loss UAV Ctrl	105	Mission Unaccomplished	79	Ctrl Fght TermIII_2	0,0010			
56	UAV Ctrl	110	Mission Proceeded	80	Fght Ctrl FailsI_2	0,0327			
57	UAV MNV	111	Forced Landing	81	Ctrl Fght TermII_2	0,0010			
		112	SR	82	Passed Timeout_2	0,0010			

III. Modelo das fases do voo ocorrência de falha

A ocorrência de qualquer falha inibirá a normal prossecução da missão, conforme se ilustra na Figura 40. O RPAS passa para o estado *System Assessed*, que conduzirá à interrupção temporária ou permanente (inibição) da execução da missão no qual é efetuado o *Safety Assessment* interno do sistema.

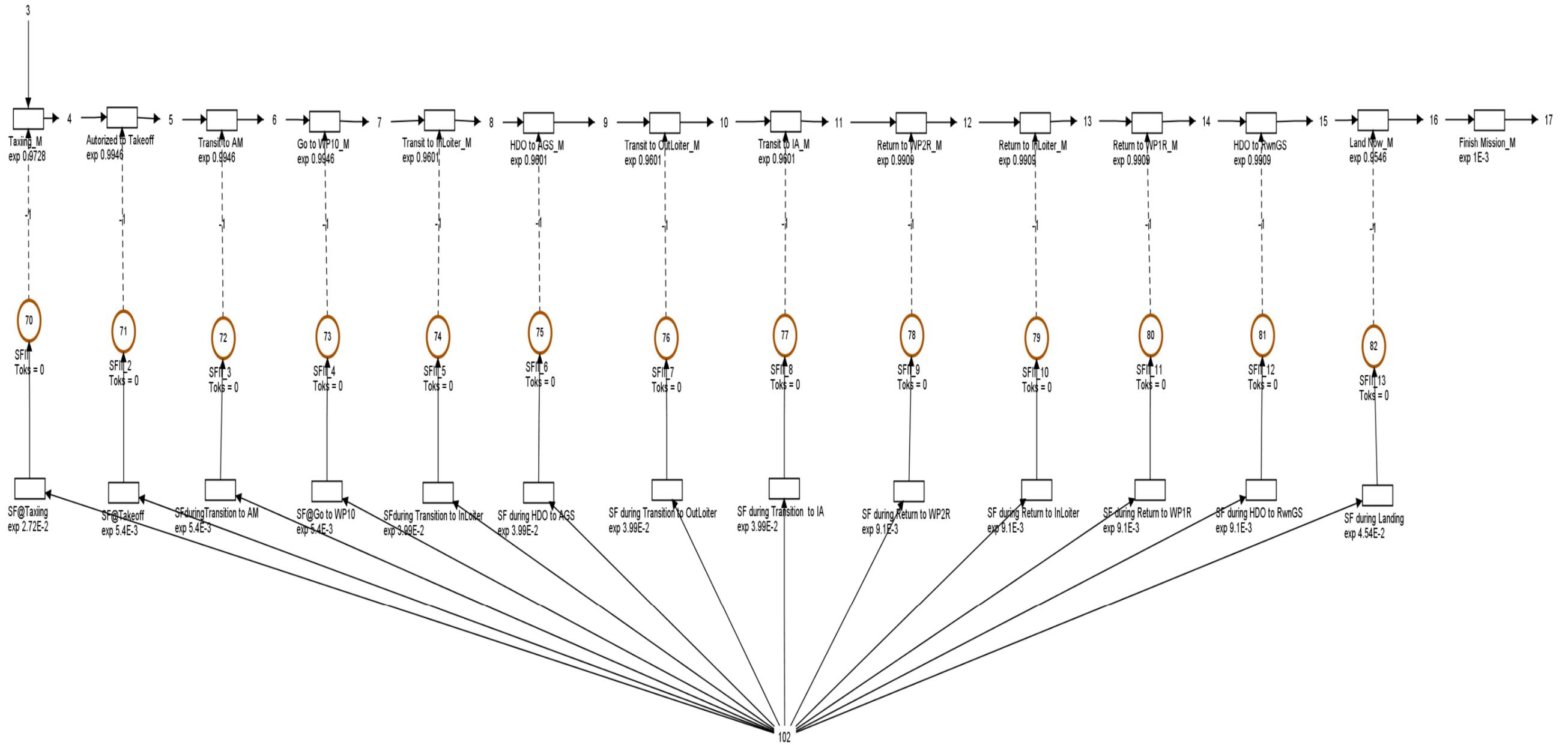


Figura 40 - O submodelo em RdP referente à inibição da missão do RPAS devido à ocorrência de falha.

O submodelo RdP referente às fases de voo da missão de Vigilância e Reconhecimento marítimo do RPAS inibida, devido à ocorrência de falha, possui doze estados correspondentes a ocorrência de falha, *System Fail* (SF), em cada um dos estados que compõem as diferentes fases do voo da missão do RPAS. As taxas de disparo das transições, assim como a identificação dos lugares referentes do submodelo RdP da inibição da missão do RPAS devido à ocorrência de falha são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 – Taxa de disparo das transições e estados referentes ao submodelo RdP da inibição da missão do RPAS devido à ocorrência de falha.

Lugar ID	Nome do Lugar	Lugar ID	Nome do Lugar	Trans. ID	Nome Transição	Trans. λ (Taxa de disparo)	Trans. ID	Nome Transição	Trans. λ (Taxa de disparo)
70	SFII	77	SFII_8	67	SF@Taxiing	0,0272	60	SF during Transition to OutLoiter	0,0399
71	SFII_2	78	SFII_9	55	SF@Takeoff	0,0272	61	SF during Transition to IA	0,0036
72	SFII_3	79	SFII_10	56	SFduringTransition to AM	0,0272	65	SF during Return to WP2R	0,0091
73	SFII_4	80	SFII_11	57	SF@Go to WP10	0,0272	62	SF during Return to InLoiter	0,0091
74	SFII_5	81	SFII_12	58	SFduring Transition to InLoiter	0,0399	63	SF during Return to WP1R	0,0091
75	SFII_6	82	SFII_13	59	SF during HDO to AGS	0,0399	64	SF during HDO to RwnGS	0,0091
76	SFII_7	102	System Assessed			0,0272	66	SF during Landing	0,0454

O modelo RdP resultante da integração dos vários submodelos é apresentado na Figura 41.

A construção do modelo foi efetuada com recurso a *repeated places* (shortcut), que permitem criar ligações entre as várias partes do mesmo modelo (em diferentes *layers* ou grupos).

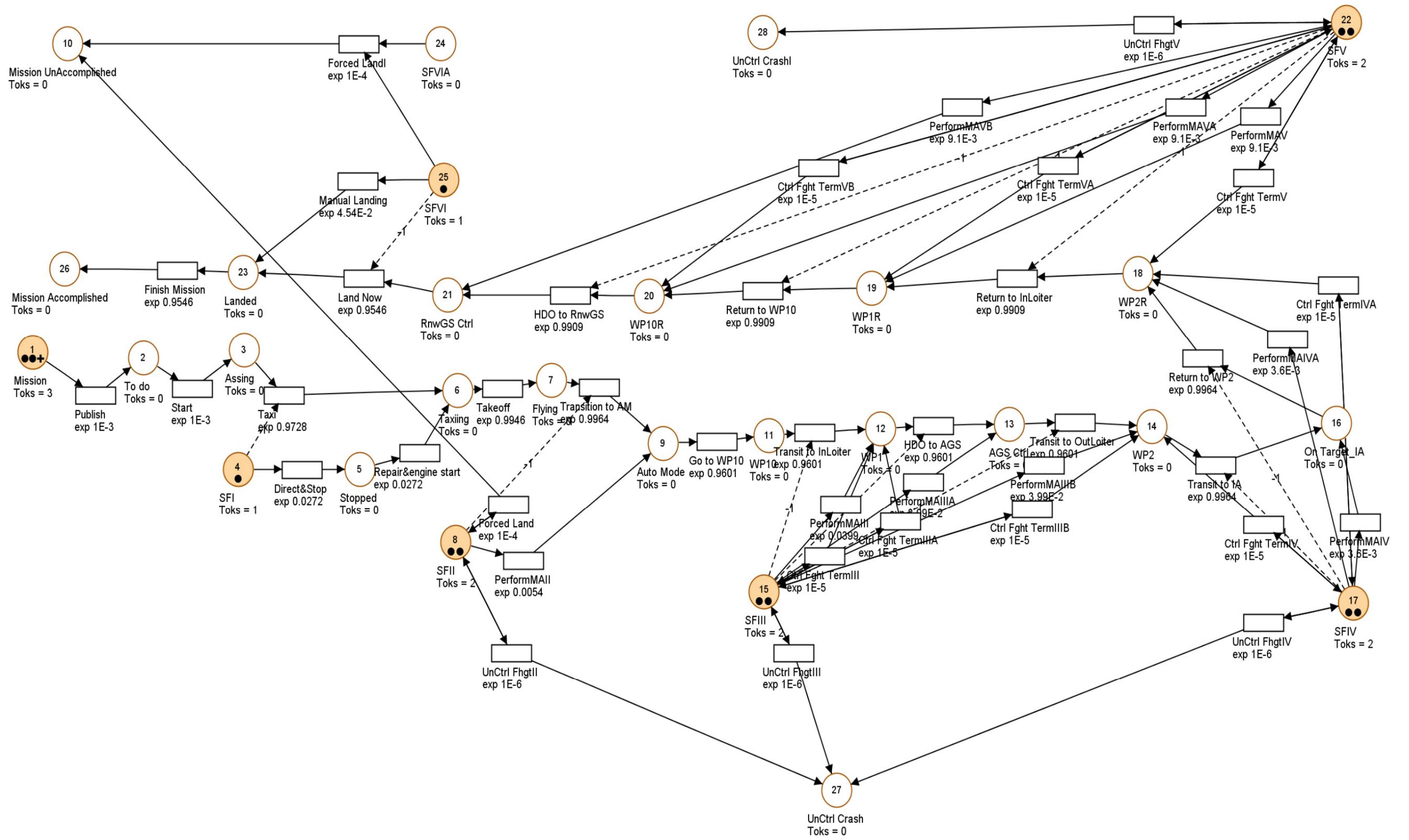


Figura 41 - O submodelo RdP resultante da integraçao dos vários submodelos.

5.8. Análise de Resultados

Pode-se observar a aplicação da Regra 1, enunciada no Capítulo 4, no modelo RdP relativa às fases de voo da missão de Vigilância e Reconhecimento marítimo do RPAS, conforme Figura 34.

A marcação da RdP corresponde à fase (estado) da missão em que o RPAS se encontra. A propriedade *Safety* que uma *bad thing* aconteça durante a normal execução (Bowen e Schneider, 1985). O significado de *bad thing* é a ocorrência de uma avaria conduzente de um MFE, nesse sentido podemos inferir que a rede de Petri acima mencionada, segundo esta propriedade não é *safe* pois estima-se que irão ocorrer diversas avarias durante a normal execução da missão do RPAS, obtendo-se assim resposta à questão “O RPAS nunca entrará num determinado estado particular (por exemplo, um dos MFE).

Analogamente, é óbvio que o RPAS não poderá estar simultaneamente em duas fases de voo diferentes. Assim, e excluindo as situações em que a falha ocorre, é expectável que apenas uma possua marcação, o que graficamente corresponde à existência de *tokens* num determinado lugar. Portanto, de acordo com a propriedade *boundness*, conclui-se que o submodelo RdP “não é *bounded* e não é *safe*”. A propriedade *Liveness* estabelece que *a good thing* aconteça durante a a normal execução (Bowen e Schneider, 1985). O significado de *good thing* é a prossecução normal da missão do RPAS após a ocorrência de uma avaria devido à realização de ações de mitigação, obtendo-se assim resposta à questão “Será o RPAS capaz de reagir perante a ocorrência de MFEs? ”.

Atendendo ao facto de que a RdP ser uma máquina de estados (as transições possuem um único lugar de entrada e um único lugar de saída) (Murata, 1989), e aliado ao facto de que em cada momento o RPAS executa uma fase diferente da sua missão, podemos concluir que o submodelo RdP relativo à missão de Vigilância e Reconhecimento marítimo do RPAS é *Live*.

A utilização de redes de Petri simples apresentou a limitação de rapidamente tornar os modelos demasiadamente grandes, o que dificulta a compreensão visual dos mesmos, permitindo ainda assim a obtenção de resultados relevantes através da capacidade de monitorização dos estados do modelo e das transições entre esses estados, e permitindo estimar a frequência de ocorrência dos modos de falha.

Considerado um determinado tipo de veículos aéreos não tripulados (navegação *Waypoint*), cujo tempo de serviço expectável seja de 36.500 horas, as respectivas condições

de falha conducentes aos MFEs durante a sua operação normal, utilizando o módulo V12 MOCA-RP do *software* GRIF® que realiza simulações de Monte Carlo, pretendeu-se responder às seguintes questões relacionadas ao *Safety Assessment* de RPAS, nomeadamente:

1. O RPAS iria entrar nos estados referentes aos MFE?
2. O RPAS teria capacidade de recuperar da condição de falha após a realização de acções de mitigação?
3. O RPAS seria capaz de cumprir a missão sem falhas?

O *software* GRIF foi utilizado para prever o número médio de eventos cuja classificação de severidade foi menor, maior, perigoso e catastrófico que ocorrerão em 36.500 horas de operação, o que corresponde a determinar o número médio de *tokens* em cada lugar representativo dos MFE. Do mesmo modo, foram determinadas para igual período de tempo (36.500 h), o número médio de missões que serão concluídas. Para tal, listaram-se todas as missões do RPAS que foram concluídas, subtraindo-se as missões que apesar de terem sofrido uma falha, após a realização de acções de mitigação, prosseguiram. Portanto, aferiu-se a fiabilidade da missão, mostrada na Tabela 18.

Tabela 18 – Número médio de *tokens* em cada estado terminal da missão de Vigilância e Reconhecimento marítimo do RPAS.

Número	Nome	Número de <i>Tokens</i>
17	Mission Accomplished	4696
103	UnControlled Crash	3
104	Controlled Crash	3252
105	Mission Unaccomplished	5697
110	Mission Proceeded	4040
111	Forced Landing	2442

Observando a Tabela 18 pode-se concluir que durante o período definido como sendo o tempo de serviço do RPAS irão ocorrer os três tipos de MFE. Estima-se que ocorram: 3 quedas não controladas, 3252 terminus controlados da trajectória e 2442 aterragens de emergência, nesse período de tempo. Note-se que, apesar dos sistemas críticos do RPAS (sistema de propulsão, controladores de voo e comunicação) sofrerem uma falha, após a realização de acções de mitigação, o RPAS prosseguiu a sua missão 4040 vezes, pelo que

podemos inferir que ações de mitigação implementadas são adequadas e eficazes na grande maioria das vezes.

Tal como expectável, devido à elevada taxa de avaria dos sistemas do RPAS e ausência de sistemas redundantes, verifica-se que com o passar do tempo em operação a fiabilidade da missão diminui. Esta conclusão é crucial para os responsáveis da segurança e fiabilidade do RPAS, pois deste modo poderão ser encetados esforços para que os sistemas existentes possam ser substituídos por outros mais fiáveis e, conseqüentemente, com taxas de avaria mais reduzidas, verificando-se a diminuição das condições de falha, sobretudo das que conduzem aos MFE. E ainda permite avaliar a possibilidade da incorporação de sistemas redundantes na arquitetura interna do RPAS. A implementação destas medidas iria certamente aumentar a confiança das Autoridades Reguladoras no sistema. Através da Figura 42 pode-se constatar que à medida que o tempo passa a fiabilidade da missão diminui, pois, o número de ocorrências acumulado ao longo do tempo aumenta.

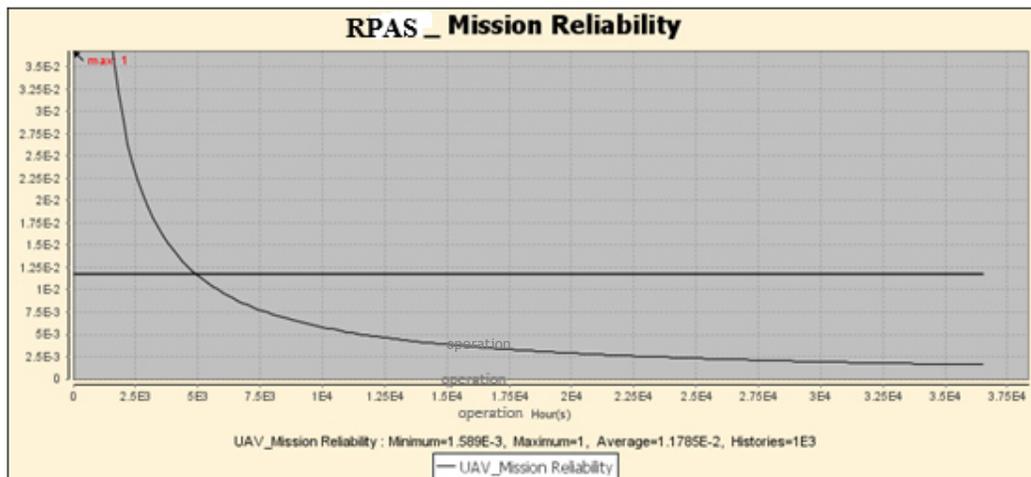


Figura 42 - Fiabilidade da missão do RPAS.

Na Tabela 19 pode-se analisar os resultados obtidos em termos de número de disparos das transições, ou seja, o número de vezes que um MFE foi atingido.

Tabela 19 – Número médio de disparos das transições.

ID	Nome	Número de disparos	Severidade	Número de Tokens
69	Force Land_2	2848	Major	2848
73	PerformMA_2	4696	Minor	4696
77	Ctrl Fght Term I_2	1285		
78	Ctrl Fght Term_2	0		
79	Ctrl Fght TermIII_2	2846	Hazardous	4134
81	Ctrl Fhgt TermII_2	1		
82	Passed Timeout_2	1		
88	UnCtrl Fght I_2	24		
89	UnCtrl FghtII_2	787	Catastrophic	942
90	UnCtrl FghtIII_2	66		
91	AutoPilot Fails_2	66		

Comparando a Tabela 19 com a Tabela 18, pode-se observar que se estima que num período de operação de 36500 h ocorram: 2848 eventos Maior, 4133 eventos Perigosos e 943 eventos Catastróficos, contudo apenas uma percentagem destes eventos conduziram a MFE, nomeadamente: a 2442 aterragens de emergência; a 3252 quedas controladas e 3 quedas não controladas respectivamente.

O modelo do processo de *Safety Assessment* de RPAS proposto permitiu identificar os pontos críticos do RPAS, ou seja, que precisam ser melhorados a fim de se obter a autorização para voo ou a certificação de aeronavegabilidade. Também permite reforçar a demonstração de evidências de que um nível aceitável foi alcançado ou não relativamente à segurança e à fiabilidade das operações de RPAS. Possibilita ainda demonstrar, que apesar de uma falha ser classificada de Maior, Perigosa ou Catastrófica poderá não conduzir a MFE, pese embora esta avaliação depender da integração do factor fase do voo da missão. Daí terem-se observado um número inferior de ocorrências de qualquer um dos tipos de MFE, comparativamente com as ocorrências dos três tipos de condições de falha mais severos.

Pelo exposto pode-se comprovar o valor acrescentado do modelo proposto, para além deste permitir executar graficamente o *Safety Assessment*, o que é benéfico e é mais amigável para o utilizador.

5.9. Sumário

Neste capítulo descreveu-se a aplicação prática efectuada utilizando como objecto de estudo o RPAS ANTEX-X02 Alpha Extended.

Tendo em consideração que os bens estudados para poderem ser operados no espaço aéreo terão de possuir uma certificação de aeronavegabilidade ou uma licença especial de aeronavegabilidade, foi apresentada a execução do processo do *Safety Assessment*. A título ilustrativo utilizou-se a função “Comunicar”. Esta foi decomposta nas suas sub-funções. Prosseguiu-se para a identificação dos sistemas que iriam desempenhar as funções identificadas ou seja a arquitetura interna dos sistemas do RPAS e procedeu-se à sua análise no âmbito do processo. Apresentou-se a materialização da metodologia proposta para a obtenção de dados fiabilísticos de novos bens com o sistema Transponder.

Determinadas as taxas de avaria de referência do sistema, iniciou-se o desenvolvimento do plano inicial de manutenção utilizando a metodologia MSG-3. Tendo sido o sistema *Transponder* utilizado para efectuar a exemplificação do trabalho desenvolvido, foi apresentada a análise FMEA efectuada para analisar as falhas funcionais e os seus efeitos em termos de impactos na segurança, na operação e na economia. Dessa análise resultaram os pontos críticos a serem colmatados através de tarefas de manutenção. Foram definidas e alocadas as tarefas de manutenção julgadas adequadas a cada situação, assim como os intervalos de tempo para a sua execução. Estes procedimentos foram repetidos para os restantes sistemas, estruturas e zonas do RPAS ANTEX-X02 Alpha Extended.

Posteriormente, os relatórios das análises efectuadas, associadas às tarefas de manutenção alocadas ao sistema, foram consubstanciados no Plano Inicial de Manutenção de acordo com a publicação da ATA S1000D (AECMA,1999).

Capítulo 6

Conclusões e Trabalhos Futuros

6.1. - Conclusões da Tese

O trabalho realizado pretende dar resposta aos objectivos proposto no Capítulo 1 que são sucintamente, determinar os parâmetros relativos à fiabilidade dos componentes de RPAS, de modo a desenvolver-se o respectivo plano inicial de manutenção, tendo em vista a sua certificação.

Face à escassez de informação existente relativamente aos sistemas que integram a arquitetura interna dos RPAS desenvolvidos no centro de investigação da Academia da Força Aérea e à necessidade de obtenção da certificação/autorização de aeronavegabilidade, foi proposta uma metodologia para determinação dos parâmetros fiabilísticos dos bens, num cenário de insuficiência de dados e propôs-se um processo para a criação do plano inicial de manutenção para os RPAS ANTEX-X02 Alpha Extended. A metodologia baseia-se na integração dos métodos de previsão fiabilística, nomeadamente: o método das comparações emparelhadas (*Paired Comparisons*), o método Delphi e a Análise de Modos de Falha e seus Efeitos (*Failure Mode and Effects Analysis*) com as análises morfológicas (*Morphological Analysis*).

A metodologia para determinação dos parâmetros fiabilísticos do RPAS ANTEX-02 Alpha Extended, num cenário de escassez de dados, baseia-se nas análises morfológicas e recorreu aos dados relativos aos modos de falha da aeronave CHIPMUNK MK 20 que integra o dispositivo operacional da FAP.

O processo de recolha de dados através do Sistema Integrado de Apoio à Gestão na Força Aérea englobou a análise de informação referente a 5 aeronaves CHIPMUNK MK20, no

período temporal de registos de 2005 a 2014, resultando num total de 7528 folhas de obra. A análise das folhas de obra resultou na identificação de 47 modos de falha diferentes, distribuídos pelos diferentes Códigos de Unidade de Trabalho, sendo posteriormente calculadas as taxas de avaria respectivas. Os resultados das análises para além de possibilitarem a identificação dos prováveis modos de falha a que os sistemas do RPAS estarão sujeitos em serviço, permitiram ainda perspetivar quais serão os sistemas mais críticos.

A determinação da taxa de avaria de referência dos sistemas do RPAS ANTEX-02 Alpha Extended decorreu da aplicação do modelo DOE (*Design, Operation and Environment*), em que se realizou a comparação e a atribuição de ponderação às características de projecto, de operação e de ambiente dos novos bens face a sistemas semelhantes da aeronave CHIPMUNK MK 20, obtendo-se assim, o valor médio do factor de *stress*. As taxas de avaria calculadas para os diferentes CUT foram afetadas dos respectivos factores de *stress* e deste modo obtiveram-se as taxas de avaria de referência para os sistemas do RPAS ANTEX-02 Alpha Extended. Esses valores nortearam a tomada de decisão que esteve subjacente na elaboração do plano inicial de manutenção desses sistemas.

O processo proposto para o desenvolvimento de um plano inicial de manutenção baseado no MSG-3 teve como objecto os sistemas que integram a arquitetura interna do RPAS ANTEX-X02 Alpha Extended, sendo estruturado de acordo com o preconizado na publicação técnica S1000D da AECMA (1999). Todavia, o desenvolvimento de programas de manutenção no sector aeronáutico assenta maioritariamente em duas metodologias: a da Manutenção Centrada na Fiabilidade e a do *Maintenance Steering Group*. E neste sentido, as principais características e os pressupostos inerentes a cada metodologia foram apresentados.

A metodologia do MSG-3, desenvolvida pelo *Maintenance Review Board*, descreve a organização geral e o processo de decisão para determinar os requisitos de manutenção programada inicialmente definidos para preservar a vida da aeronave e dos seus sistemas, com o intuito de manter os níveis de segurança e fiabilidade inerentes da aeronave.

O MRBR é o documento final resultante da aplicação da metodologia MSG-3. É desenvolvido como forma expedita de cumprir, em parte, com os requisitos de instrução de aeronavegabilidade permanente. Portanto, pretende-se que o relatório do MRB seja utilizado como ferramenta base para que cada operador desenvolva o seu próprio programa de manutenção de aeronavegabilidade continuada, que posteriormente será sujeito à aprovação pela sua Autoridade Reguladora.

A metodologia do RCM e, a metodologia MSG-3 efetuam a identificação dos perigos e das suas consequências e dos controlos a utilizar no sentido de reduzir a frequência da sua ocorrência, ou seja, contribuem para o aumento da fiabilidade e consequentemente asseguram a segurança das operações. Vão ao encontro da premissa fundamental e grande preocupação no sector aeronáutico: a garantia da segurança das operações aéreas.

A garantia da segurança e fiabilidade das operações aéreas é normalmente avaliada através de um processo que culmina com a obtenção de uma certificação/autorização para operar no sector aeronáutico. Nesse sentido apresentou-se a regulamentação que exige a realização de um processo desta natureza, assim como as diversas entidades civis e militares, nacionais e internacionais intervenientes ou com responsabilidade em processo de certificação/autorização de aeronaves.

Nessa vertente, foi abordado o processo de certificação de RPAS e verificou-se que dependendo da natureza (militar, civil, estado ou investigação) e do seu peso máximo à descolagem, as entidades envolvidas diferem assim como a complexidade do processo que poderá configurar-se numa certificação ou numa emissão de licença especial de aeronavegabilidade. Actualmente ainda não existe um quadro regulamentar que permita a emissão de certificados de tipo, apenas emissões de licença especial de aeronavegabilidade.

Contudo, a definição da base de certificação e dos requisitos adicionais de aeronavegabilidade é determinante para o sucesso da demonstração de conformidade no processo de certificação/autorização do RPAS. Regra geral, a demonstração de conformidade no sector aeronáutico é realizada com recurso à condução do processo de avaliação de segurança, *Safety Assessment* na fase de desenvolvimento do projecto.

Nesta fase, o conhecimento profundo do RPAS, onde se incluem as suas características funcionais, mostra-se fundamental para se alcançarem os níveis de segurança exigidos para este tipo de operações. Portanto, foi descrito o processo de *Safety Assessment* preconizado na publicação técnica ARP 4761 para aeronaves tripuladas, apresentando as várias etapas e os seus objectivos e resultados (SAE,1996).

Devido às dificuldades sentidas nos vários processos de obtenção de licenças especiais de aeronavegabilidade para o RPAS ANTEX-X02 Alpha Extended, propôs-se um modelo formulado em redes de Petri para a condução do *Safety Assessment* de RPAS que integra as dinâmicas reais inerentes ao voo. A formulação do modelo assenta em dois pressupostos que os RPAS efectuam navegação por *waypoints* e que as condições de falha conducentes aos denominados eventos mais temidos, *Most Feared Events* definidas no STANAG 4671, são

evidentes para a tripulação do RPAS. Pretende-se assim, contribuir para o reforço da demonstração de evidências de que foi alcançado um nível aceitável de segurança na operação do RPAS.

O modelo de *Safety Assessment* proposto integra vários submodelos, nomeadamente: o modelo representativo das fases de voo consideradas na missão de Reconhecimento e Vigilância do RPAS; o modelo relativo às condições de falha conducentes aos MFE e o modelo referente a cada MFE definido. Tem como objectivo encontrar resposta para questões inerentes à operação e segurança do RPAS, nomeadamente, se o RPAS entrará numa das condições de falha conducentes aos MFE, se será capaz de reagir perante a ocorrência de MFEs ou se será capaz de alcançar um estado desejado, cumprimento bem-sucedido da missão.

A utilização de redes de Petri simples apresentou a limitação de rapidamente tornar os modelos demasiadamente grandes, o que dificulta a compreensão visual dos mesmos, embora permitisse obter as respostas pretendidas.

Da interpretação das simulações realizadas, através do software GRIF da SATODEV, foi possível concluir que, durante o período definido como sendo o tempo de serviço do RPAS ANTEX-X02 Alpha Extended, 36500 horas, irão provavelmente ocorrer os três tipos de MFE, ou seja, quedas não controladas; término controlado da trajectória e aterragens de emergência. Verificou-se ainda, que, apesar dos sistemas críticos do RPAS (sistema de propulsão, controladores de voo e comunicação) sofrerem uma falha, após a realização de acções de mitigação, o RPAS prosseguiu a sua missão pelo que podemos inferir que acções de mitigação implementadas são adequadas e eficazes na grande maioria das vezes.

No entanto, devido à elevada taxa de avaria dos sistemas do RPAS e ausência de sistemas redundantes, verifica-se que com o passar do tempo, a fiabilidade de missão diminui. Este facto é de extrema importância para os responsáveis da segurança e fiabilidade do RPAS, pois assim poderão encetar esforços para que os sistemas existentes possam ser substituídos por outros mais fiáveis com taxas de avaria mais reduzidas e ainda avaliar a possibilidade da incorporação de sistemas redundantes na arquitetura interna do RPAS, o que consequentemente, conduziria à diminuição das condições de falha, sobretudo das que conduzem aos MFE.

O modelo proposto permitiu identificar os pontos críticos do RPAS associados à execução da missão primária, que necessitam ser melhorados a fim de se obter a autorização para voo, ou a certificação de aeronavegabilidade. Permitiu ainda prever quais as condições de falha a

que o RPAS estará sujeito, assim como os seus impactos expectáveis, sendo deste modo possível reforçar a demonstração de evidências de que um nível aceitável de segurança e fiabilidade das operações foi alcançado. O modelo possibilitou também demonstrar que apesar de uma falha ser classificada de maior, perigosa ou catastrófica, esta poderá não conduzir a um MFE, pese embora esta avaliação depender da integração do factor fase do voo da missão. Facto este é sustentado pela observação de um número de ocorrências menores em qualquer um dos tipos de MFE, comparativamente com o número de ocorrências dos três tipos de condições de falha mais severos. Pelo exposto anteriormente, associado ao facto de permitir a execução gráfica do *Safety Assessment*, o que facilita a compreensão e torna o processo mais *user friendly*, podemos aferir o valor acrescentado do modelo proposto.

Como conclusão final é importante ressaltar a importância deste tipo de investigação, uma vez que são efectuadas sobre sistemas que ainda existe pouco conhecimento na perspectiva da segurança e da fiabilidade. Foi também uma oportunidade para contribuir para a criação de saber relacionado com a certificação de aeronavegabilidade, a operação e a manutenção de RPAS, assim como contribuir para a integração destes sistemas no âmbito das missões alocadas à Força Aérea Portuguesa.

6.2. Trabalhos futuros

No seguimento do trabalho realizado e como perspectivas de trabalhos futuros propõe-se: a consciencialização de todos os intervenientes na gestão e execução da manutenção de aeronaves para o registo mais preciso e objectivo das folhas de obra no que diz respeito às avarias dos sistemas, a fim de facilitar a recolha e o tratamento de dados fiabilísticos, nomeadamente das taxas de avaria. No seguimento, desta recolha de informação fazer a avaliação da necessidade de aquisição de um novo *Computerized Maintenance Management System* ou adequação do software existente para melhor se ajustar a estudos fiabilísticos.

Decorridos algum tempo desde a implementação do plano inicial de manutenção, dever-se-á avaliar a necessidade de reajuste das previsões iniciais, quer das tarefas e dos respectivos intervalos de manutenção, assim como dos valores dos parâmetros fiabilísticos, de acordo com os dados decorrentes da experiência operacional.

Outro aspecto de grande relevo onde se poderia avançar mais um pouco, refere-se ao modelo do processo de *Safety Assessment* de RPAS. A utilização de redes de Petri simples apresenta a limitação de rapidamente tornarem os modelos demasiadamente grandes, o que

dificulta a compreensão visual dos mesmos. Uma forma de ultrapassar esta limitação seria melhorar o modelo, através da utilização de redes de Petri coloridas, que permitiriam simplificar o modelo através da utilização de Macro transições, transições de substituição e da definição dos atributos dos *inputs* e *outputs* das transições, pois utilizar-se-iam menos elementos para formular uma mesma realidade.

No entanto, poder-se-ia evoluir a partir daí, numa segunda fase, para o desenvolvimento de um algoritmo baseado nos princípios da inteligência artificial, que pudesse ser implementado a bordo dos RPAS de modo a facultar-lhes a habilidade de reagir perante eventos conhecidos, o que iria reforçar a demonstração de um nível aceitável de segurança e ainda, facilitar as tarefas da tripulação do RPAS, que teria mais uma ferramenta de apoio para desempenhar as suas funções de comando e controlo.

Trabalhos Publicados

Artigos Publicados em Revistas Internacionais:

P. Gonçalves, J. Sobral and L. Ferreira, 2016, *Reliability Database for Unmanned Aerial Vehicles based on Morphological Analysis*. The Aeronautical Journal, Available on CJO 2016 doi:10.1017/ aer.2016.56

P. Gonçalves, J. Sobral and L. Ferreira, 2017, *Establishment of an Initial Maintenance Program for UAVs based on Reliability Principles* Aircraft Engineering and Aerospace Technology, Available on Emerald, volume 89, issue 1 DOI 10.1108/AEAT-09 2014-0146

Artigos Publicados em Conferências Internacionais:

P. Gonçalves, J. Sobral and L. Ferreira, 2013, *Análise de Fiabilidade num Cenário de Ausência de Informação*. International Conference on Engineering University of Beira Interior - ICEUBI13, 20-13 Novembro, Covilhã, Portugal.

P. Gonçalves, J. Sobral and L. Ferreira, 2014, *Initial Maintenance Program Development using Reliability Guidelines*, Applied Reliability Symposium - ARS 14, 23 - 25 April, Paris, France.

P. Gonçalves, J. Sobral and L. Ferreira, 2014, *Fire Protection Equipment Availability and Fire Risk Assessment*, Proceedings of the 47th European Safety, Reliability & Data Association Seminar 2014, 14 -18 September, Wrocław, Poland.

P. Gonçalves, J. Sobral and L. Ferreira, 2016, *Safety Assessment of Unmanned Aerial Vehicle Systems: Practical Application*, World Maintenance Forum - WMF2016, 05 to 07 April, Lugano, Switzerland.

P. Gonçalves, J. Sobral and L. Ferreira, 2016, *Development of Unmanned Aerial Vehicles Maintenance Strategie under an Assest Managemant Framework*, European Safety and Reliability Conference - ESREL2016, 25 to 29 September, Glasgow, England.

Artigos Publicados em Conferências Nacionais:

P. Gonçalves, J. Sobral and L. Ferreira, 2012, *A Importância das Análises de Crescimento da Fiabilidade*. IV Encontro Nacional de Riscos, Segurança e Fiabilidade - ENRSF, 15-17 Maio, Lisboa, Portugal.

L.A. Ferreira, J. Sobral, **P. Gonçalves**, 2015, *A Manutenção de Unmaned Aerial Vehicles (UAV's)*, Atas das II Jornadas de Manutenção, 29-30 janeiro, Centro de Formação Militar e Técnica da Força Aérea, Base Aérea da Ota.

Bibliografia e Referências bibliográficas

- AAN, 2013. *Emissão de Licenças Especiais de Aeronavegabilidade para Sistemas de Aeronaves Não Tripuladas*. Alfragide: EMFA.
- Ackert, S., 2010. www.wikiprogress.org/images//Paper_sheremetyevo.docx. [Online] Available at: http://78.41.128.109/images//Paper_sheremetyevo.docx [Acedido em 22 08 2016].
- Adams, C., 2009. *Understanding MSG-3*. [Online] Available at: www.aviationtoday.com [Acedido em 05 02 2013].
- Adamyán, A. & He, D., 2003. System Failure Analysis Through Counters Of Petri Net Models. *Quality and Reliability Engineering International*, Volume 20, p. 317–335.
- AECMA, 1999. *SPEC 1000D-International Specification for Technical Publications utilising a common source data base*. Bruxelas: AECMA.
- AFAe FEUP, 2011. *Projecto de Investigação e Tecnologia em Veículos Aéreos Não-Tripulados*. Sintra: FAP.
- Ahmadi, A., 2010. *Aircraft Scheduled Maintenance Programme Development Decision Support Methodologies and Tools, Doctoral Thesis*. Sweden: Lulea University of Technology.
- Ahmadi, A., Schoderholm, P. & Kumar, U., 2010. On aircraft scheduled. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, pp. 229-255.
- Al-Jaar, R. & Desrochers, A., 1990. Performance Evaluation of Automated Manufacturing Systems Using Generalized Stochastic Petri Nets. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Volume 6, p. 621 – 639.

- Alvarez, A., 2014. The Norris Brothers Ltd. morphological approach to engineering design – an early example of applied morphological analysis. *Acta Morphologica Generalis*, Volume 3.
- Andrews, J. & Moss, T., 1996. *Factors influencing rotating machinery reliability*. Chamonix-France, ESReDA.
- Andrews, J. & Moss, T., 2002. *Reliability and Risk Assessment*. 2nd Revised edition ed. New Jersey: Wiley-Blackwell.
- ATA, 2003. *Airline/Manufacturer Maintenance Program Development Document*. Washington D.C.: ATA.
- ATA, 2007. *Operator/Manufacturer Scheduled Maintenance Development*, Washington, D.C: Air Transport Association of America..
- Austin, R., 2010. *Unmanned Aircraft Systems UAVS Design, Development and Deployment*. West Sussex, United Kingdom: Wiley.
- Ayres, R., 1969. *Techonological Forecasting and Long-Time Planning*. New York: McGraw-Hill.
- Bacelli, F., Furmento, N. & Gaujal, B., 1995. *Parallel and Distributed Simulation of Free Choice Petri Nets*. Washington, IEEE Computer Society, pp. 3-10.
- Balakrishnan, M. & Trivedi, K., 1996. Stochastic Petri nets for the reliability analysis of communication network applications with alternate-routing. *Reliability Engineering and System Safety*, Volume 52, pp. 243-259.
- Bauer, D., 1985. *Depot Maintenance Handbook*. s.l.:Southwest Research Institute.
- Belaziza, M., Bourasa, A. & Brunb, J., 2000, . Morphological analysis for product design. *Computer-Aided Design* , Volume 32, p. 377–388.
- Bento, M., 2011, Certificação de Aeronavegabilidade de Veículos Militares Não Tripulados, Pedrouços, IESM
- Blanchard, B., 1995. *Logistics Engineering and Management*. 6 ed. New York: Prentice-Hall.
- Blanchard, B., 2008. *Systems Engineering Management*, New Jersey: John Wiley and Sons.
- Boeing, 2012. *Boeing Model 767-300_Maintenance Inspection Program*. Texas: Boeing.

- Boulkedid R, Abdoul H, Loustau M, Sibony O, Alberti C., 2011, Using and Reporting the Delphi Method for Selecting Healthcare Quality Indicators: A Systematic Review. *PLoS ONE*, Volume 6.
- Bowen, A. & Schneider, F., 1985. Defining Liveness. *Elsevier Science Publishers B. V.*, 7 October, pp. 181-185.
- Buali, M. & Barger and Schon, W., 2012. Backward reachability of Colored Petri nets for Systems Diagnosis. *Reliability Engineering and System Safety*, pp. 1-14.
- CAA, 2002. *Aircraft Airworthiness Certification Standards for Civil UAVs.*. Holborn: CAA.
- CAA, 2015. *CAP 722- Guidance for Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Operations in UK.*. sixth ed. Holborn: CAA.
- Candell, O., 2009. *Development of Information Support Solutions for Complex Technical Systems using eMaintenance, Doctoral thesis.*, Luleå: Luleå University of Technology, ISSN: 1402-1544.
- Cardoso, J. & Vallete, R., 1997. *Redes de Petri*. Série Didática ed. Florianópolis: Editora da UFSC.
- CE, 2003. *Commission Regulation N° 2042/2003_On Continuing Airworthiness of aircrafts and Aeronautical products, Parts and appliances and on the approval of Organisations and Personnel involved in these tasks.*, Colónia: EASA.
- CE, 2008. *Regulamento (CE) N.216/2008 DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO relativo a regras comuns no domínio da aviação civil e que cria a Agência Europeia para a Segurança da Aviação*. Bruxelas: CE.
- Chew, S., Dunnett, S. & Andrews, J., 2008. Phased mission modelling of system with maintenance-free operating periods using simulated Petri Nets. *Reliability Engineering and System Safety*, pp. 980-994.
- CIAFA, 2014. *CSW-SEAGULL-2013-URS-03578-especificacao-requisitos-utilizador*. Sintra: CIAFA.
- Clothier, R., Wu, P., 2012. *Determination and Evaluation of UAV Safety Objectives*. Bristol, Australian Research Centre for Aerospace Automation.
- Costa, S., Fonseca, M. & Brito, J., 2006. *Metodologia FMEA e sua Aplicação à Construção de Edifícios*. Lisboa: LNEC.

- Cummings, M., 2003, “Human Supervisory Control of Swarming Networks”, Second Annual Symposium on Autonomous Intelligent Networks and Systems, Menlo Park CA, USA.
- Cuhls, K. Kuwahara, T. , 1994. Outlook for Japanese and German Future Technology. Comparing Technology Forecast Survey. Germany: Physica-Verlag Heldelberg.
- Degarmo, M., 2004. *Issue Concerning Integration of Unmanned Aerial Vehicles in Civil Airspace*. Virginia: Center of Advanced Aviation System Development.
- Dhillon, B., 2002. *Engineering Maintenance: A Modern Approach*, Cleveland: CRC Press.
- DoD, 1991. *Military Handbook_ Reliability Prediction of Electronic Equipment*, Washington: DoD.
- DoD, 2002. *Unmanned Aerial Vehicles Roadmap 2002-2027*. Washington, DC : DoD.
- DoD, 2003. *Defense Science Board Study on Unmanned Aerial Vehicles and Uninhabited Combat Aerial Vehicles*, Washington: DoD.
- DoD, 2004a. *Airspace Integration Plan for unmanned Aviation*. Washington, DC : DoD.
- DoD, 2010. *Unmanned Aircraft Systems, UAVs Design, Development and Deployment, Unmanned Systems Integrated Roadmap FY2011-2036*. Washington, DC : DoD.
- Dores, D., Baltazar, A., Cabral. T., Machado, I., Gonçalves, P., 2015. *Safety Issues of The Portuguese Military Remotely Piloted Aircraft Systems*. Lisboa: CLAWAR.
- Assembleia da República, 2013, DR N°72_. *Lei n.º 28/2013 de 12 de abril Define as Competências, a Estrutura e o Funcionamento da Autoridade Aeronáutica Nacional*. [Online] Available at: www.dre.pt [Acedido em 7 6 2014].
- EADS CASA, 2007, “Aeroelastic and Structural Dynamics Tests at EADS CASA,” Proc. of the 18th Annual Symposium of the Society of Flight Test Engineers SFTE, Madrid. June 11-13.
- EASA, 2002, on common rules in the field of civil aviation and establishing a European Aviation Safety Agency. Colónia: EASA
- EASA, 2009. *Comment response Document (CRD) to Notice of Proposed Amendment (NPA) 16/2005 “Policy for Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Certification*, Cologne: EASA
- EASA, 2009a. *E.Y013-01 - Airworthiness Certification of Unmanned Aircraft Systems (UAS)*. Colónia: EASA

- EASA, 2009b. *Policy Statement Airworthiness Certification of Unmanned Aircraft systems*. Cologne: EASA.
- EASA, 2010. *Type Certification*. Cologne: EASA.
- EASA, 2010a. *Type Certification Basic Principles*. Cologne: EASA.
- EMFA, 2013. *Visão Estratégica para Sistemas de aeronaves Não Tripuladas*. Alfragide: EMFA.
- ESACS, 2001. *Technical Report Formal Notations Suitable to Express Safety properties*. Toulouse: ONERA.
- Esmailian, G., Tahan, A., Hamed, M. & Divanipour, A., 2015. Developing an Optimization Model for Determining the Preventive Maintenance Period for Critical Machineries Using FMEA and ANP. *International Journal of Engineering and Technical Research*, Volume Volume-3, pp. 1-6.
- EUROCONTROL, 2004. *UAV Task Force Final Report, A Concept for European Regulations for Civil Unmanned Aerial Vehicles*. Brussels(Cologne): EASA.
- EUROCONTROL, 2007. *Eurocontrol Specifications for Military Unmanned Aerial Vehicles as Operational Air Traffic outside Segregated Airspace*. Brussels: EUROCONTROL.
- Evans, A., 2007. *Safety assessment & Certification for UAV*. Bristol, UK, University of Bristol Department of Aerospace Engineering.
- FAA, 1997. *AC 121-22A- Advisory Circular, Maintenance Review Board Procedures*. Washington: FAA.
- FAA, 2008. *Interim Operational Approval Guidance 08-01, Unmanned aircraft Systems Operations in U. S. National Airspace system*. Washington DC: FAA.
- FAA, 2008a. *Order 1110.150-Small Unmanned Aircraft System Aviation Rulemaking Committee*. Washington: FAA.
- FAA, 2008b. *Order 8130.34, Airworthiness Certification for Unmanned Aircraft Systems. Integration of UAV in the Civil Airworthiness Regulatory System: present and future..* Bristol, FAA.
- FAA, 2009. *Comprehensive Set of Recommendations for sUAV Regulatory Development*. Washington: FAA.

- FAA, 2011. *Advisory Circular-System Safety Analysis and Assessment for Part 23 Airplanes*. Washington DC: FAA.
- FAA, 2012. *AC 121-22C - Maintenance Review Boards, Maintenance Type Boards, and OEM/TCH Recommended Maintenance Procedures*. USA: FAA.
- Fecarotti, C., Andrews, J. & Remenyte-Priscott, R., 2015. Modelling railway service reliability in the event of failures. *Safety and Reliability of Complex Engineered Systems*, pp. 1539-1545.
- FRN, 2007. *Unmanned Aircraft Operations in Airspace system*. New York: FRN.
- Gascard, E. & Simeu-Abazi, Z., 2015. Failure root causes analysis of complex systems— Dynamic Fault Tree approach. *Safety and Reliability of Complex Engineered Systems*, pp. 695-703.
- Gits, C., 1992. Design of maintenance concepts. *International Journal of Production Economics*, pp. 217-226.
- Gonçalves, P., Sobral, J. & Ferreira, L., 2013. *Análise de fiabilidade num cenário de ausência de informação*. Covilhã, ICEUBI.
- Gordon, T. & Helmer, O., 1964. *Report on a Long-Range Forecasting Study, P-2982*, Portland : Portland State University.
- Green, A. & Bourne, A., 1972. *Reliability Technology*. New Jersey: Wiley.
- Green, P., 1982. *The content of a college-level outdoor leadership course*. Spokane: American Alliance for Health.
- Grimsley, F., 2004. *Unmanned Unlimited*. Chicago, AIAA.
- Guardian, 2012. *Drones by Country: Who Has All the UAVs?*, London: The Guardian.
- Gupta, U. & Clarke, R., 1996. *Theory and Applications of the Delphi Technique: A Bibliography (1975-1994)*, Berkeley: Selectedworks,
- Haas, P., 2002. *Stochastic Petri Nets_Modelling, Stability, Simulation*. San Jose, CA: Springer.
- Hallowell, M. & Gambatese, J., 2010. Qualitative Research: Application of the Delphi Method to CEM Research. *Journal Construction and Engineering Management*, p. 99-107.
- He, D. & Adamyan, A., 2001. *An Impact Analysis Methodology for Design of Product*. Pittsburgh, PA, Springer.

- Holmgren, M., 2005. Maintenance-related losses at Swedish Rail. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, pp. 5-18.
- Homsí, P., 2007. *VIVACE-Value Improvement through a Virtual Aeronautical Collaborative Enterprise*. France: Airbus.
- Hossam, G. Yamashita, H., Suzuki, K., Shimada, Y., 2003. Computer Aided RCM-based Plant Maintenance Management System. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, pp. 449-458.
- Hrúz, B. & Zhou, M., 2007. *Modeling and Control of Discrete-event Dynamic Systems with Petri Nets and Other Tool*. London: Springer-Verlag.
- Hura, G. & Atwood, J., 1988. The Use of Petri Nets to Analyze Coherent Fault Trees. *IEEE Transactions on Reliability*, Volume Vol. 37, No. 5, pp. 469-74.
- ICAO, 2005. *The Convention on International Civil Aviation_Annexes 1 to 18*, Monreal: ICAO.
- ICAO, 2011. *Unmanned Aircraft Systems (UAS)*. Canada: ICAO.
- IEC, 1999. *Appication Guide - Reliability Centred Maintenance*. Geneva: IEC.
- IEC, s.d. *60300(3-16): Dependability Management - Part 3-16: Aplicacion Guide, Guideline for specification of maintenance Support services*. Geneva: IEC.
- INCOSE, 2010. Systems Engineering. [Online] Available at: <http://www.incose.org/AboutSE/WhatIsSE> [Acedido em 24 6 2016].
- International Security, 2013. *World of Drones: Military*, s.l.: New America.
- IPQ, 2007. *NP EN 13306_Norma Portuguesa-Terminologia da manutenção*. Monte caparica: IPQ.
- Jensen, D., 2007. *Europe's future view of maintenance*. Texas: Aviation Today, Aerospace Group.
- Karim, R., 2008. *A Service-Oriented Approach to eMaintenance*. Kiruna: Lulea University.
- Kleyner, A. & Volovoi, V., 2010. Aplicacion of Petri Nets to reliability prediction of occupant safety system with partial detection and repair. *Reliability Engineering and System Safety*, pp. 606-613.
- Knezevic, J., 1997. *Systems Maintainability: Analysis, engineering and management*. London, Chapman &Hall, pp. 342-345.

- Krka, I., Edwards, G., Cheung, L., Golubchik, L., Medvidovic, N., 2009. Comprehensive Exploration of Challenges in Architecture-Based Reliability Estimation Architecting Dependable Systems, Lecture Notes in Computer Science. Califórnia: Computer Science Department.
- Kumar, U., 1990. Reliability Analysis of Load-Haul-Dump Machines, Doctoral thesis. Luleå: Luleå University of Technology,.
- Kumar, U. & Ellingsen, H., 2000. Design and developmemnt of maintenace performance indicators for the Norwegian oil and gas industry. Gothenburg, Springer, pp. 224-228.
- Kumar, V. & Aggrawal, K., 1993. Petri Net Modeling and Reliability Evaluation of Distributed Processing Systems. *Reliability Engineering and System Safety*, Volume 41, pp. 167-176.
- Landeta J., (1999), "Current validity of the Delphi method in social sciences", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 73, No. 5, pp: 467-82.
- Lees, F., 2005. *Lee's Loss Prevention in the Process Industries: Hazard Identification, Assessment and Control*. 3 ed. london: Butterworth-Heinemann.
- Levenson, N. & Stolzy, J., 1987. *Safety Analysis Using Petri Nets*. New Jersey, IEEE, pp. 386-397.
- Levin, M., 2009. *Towards morphological system design*. Cardiff, Wales, IEEE, p. 95 – 100.
- Lienhardt, B., Hugues, E., Bes, C., Noll, D., 2008. Failure-finding frequency for a repairable system subject to hidden failures. Reston, IAAA, pp. 1804-1809.
- Linstone, H. & Turoff, M., 1975. *The Delphi Method Techniques and Applications..* Massachusetts: Addison-Wesley.
- Liu, M., Zuo, H., Ni, X. & and Cai, J., 2006. *Research on a case-based decision support system for aircraft Maintenance Review Board Report, Lecture Notes in Computer Science*. Virginia: Computer Science.
- Liu, T. & Chiou, B., 1997. pplication of Petri Nets to Failure Analysis. *Reliability Engineering and System Safet*, , Volume 57 , pp. 129-142.
- Li, Y., Chen, M. & Liu, M., 2007. *Estimation Method for aircraft Similarity Based on Fuzziness Theory and Grey incidence Analysis*. Nanjing: University of Aeronautics & Astronautics.

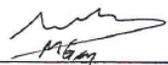
- Maneschijn, A., 2010. *A Framework and Criteria for the Operability of Unmanned Aircraft Systems. PhD thesis*. Stellenbosch : Stellenbosch University.
- Marsan, M., Balbo, G., Conte, G., Donatelli, S., Franceshinis, G., 1994. *Modelling with Generalised Stochastic Petri Nets*. England: John Wiley.
- McKenna, H., 1994. *The Delphi technique: a worthwhile research approach for nursing?*. UK: Journal of Advanced Nursing, Wiley.
- Miller, L., 2006. *Determining what could/ should be: The Delphi technique and its application*. Boston: Addison-Wesley .
- Milman, V., Stelmashenko, N. & Blumenfeld, R., 1994,. Fracture surfaces: A critical review of fractal studies and a novel morphological analysis of scanning tunneling microscopy measurements. *Progress in Materials Scienc*, Volume 38, pp. 425-474.
- NATO, 1986 MIL-STD-2173(AS)_ *Reliability-Centered Maintenance: Requirements for Naval Aircraft, Weapons Systems and Support Equipment*. Washington DC: DoD.
- Mokashi, A., Wang, J., Vermar, A., 2002. *A study of reliability-centred maintenance in maritime operations*. 5 ed. Amesterdam: Elsevier.
- Morier, Y., 2008. *Easaand ICAO activities..* Colónia, EASA.
- Moss, T., 2005. *The Reliability Data Handbook*. New york: American Society of Mechanical Engineers .
- Moss, T. & Andrews, J., 1996. Reliability Assessment of Mechanical Systems. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, Volume vol. 210 no. 3 , pp. 205-216.
- Moubray, J., 1997. *Reliability Centered Maintenance*. Great Britain: Biddles Ltd, Guilford and King's Lynn.
- Murata, T., 1989. Petri Nets: Properties, Analysis and Applications. *Proc. IEEE*, Volume 77, nº4, pp. 541-580.
- NASA, 2007. *Preliminary Considerations for Classifying Hazards of Unmanned Aircraft Systems*. Washington: NASA/TM-2007-214539.
- NATO, 2009. *STANAG 4671 - Unmanned Aerial Vehicle Systems Airworthiness Requirements(USAR)*, Brussels, Belgium: NSA.
- NAVAIR 00-25-403, 2005. *Guideline for the Naval Aviation Reliability-Centered Maintenance Process*. 2ª ed. San Diego: Bowse Publisherr.

- Németh, E. Bartha, T., Fazekas, C., Hangos, K., 2009. Verification of a primary-to-secondary leaking safety procedure in nuclear power plant using coloured Petri nets. *Reliability Engineering and System Safety*, pp. 942-953.
- Nowlan, F. & Heap, H., 1978. *Reliability Centered Maintenance*. San Francisco, California: United Airlines.
- NSWC, 2011. *Handbook of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment*. Chicago: NSWC.
- Nývlt, O., Haugen, S. & Ferkl, L., 2015. Complex accident scenarios modelled and analysed by stochastic Petri Nets. *Reliability Engineering and System Safety*, pp. 539-555.
- Nývlt, O. & Rausand, M., 2012. Dependencies in event trees analyzed by Petri nets. *Reliability Engineering and System Safety*, pp. 45-57.
- Pinna, B., 2013. *Using Coloured Petri Nets for integrated reliability and safety evaluations*. Austria, IFAC, pp. 19-24.
- Possel, H., 2008. *Military airworthiness and UAS– a European perspective*. Colónia, EASA.
- Rankin, W., 2000. *The maintenance error decision and aid (MEDA) process..* California, SAGE Publications, pp. 3-795--3-798.
- Rausand, M., 1998. Reliability-Centered Maintenance. *Reliability Engineering and Systems Safety*.
- RCA, 1958. *Reliability stress analysis for electronic equipment. TR1100*, Washington: U.S. Dept. of Commerce, Office of Technical Services.
- Reason, J., 1997. *Managing the Risks of Organizational Accidents*. Aldershot:: Ashgate.
- Ritchey, T., 2003. *Analysis as a Scenario and Strategy Development Laboratory*. Sweden, Swedish Morphological Society, pp. 123-128.
- Ritchey, T., 2009. *Futures Studies using Morphological Analysis_Adapted from an Article for the Millennium Project: Futures Research Methodology Series, Version 3.0*, Sweden: Swedish Morphological Society ,
- SAE, 1996. *ARP 4761_Guidelines and Methods for Conducting the Safety Assessment Process on Civil Airborne Systems*NE SYSTEMS AND EQUIPMENT. Washington DC: SAE.

- SAE, 1999. *SAE-JA1011- Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Process*. Warrendale: SAE.
- SAE, 2002. *SAE-JA1012-A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard*. Warrendale: Society of Automotive Engineers..
- SAE, 2010. *Guidelines for development of civil aircraft and systems*. Washington DC: SAE.
- Sharma, R., Kumar, D., Kumar, P., 2005. *FLM to select suitable maintenance strategy in process industries using MISO model*. Wagon Lane, Emerald, pp. 359-374.
- Sheldon, F. & Benzinger, S., 2000. *Specification, Safety and Reliability Analysis Using Stochastic Petri Net Models*. Washington, IEEE.
- Signoret, J. Dutuit, Y., Cacheux, P., Folleau, C., Collas, S. and Thomas, P., 2013. Make your Petri Nets understandable: Reliability Block Diagrams driven Petri Nets. *Reliability Engineering and Systems Safety*, pp. 61-75.
- Skulmoski, J., Hartman, F. & Krahn, J., 2007 . The Delphi Method for Graduate Research. *Journal of Information Technology Education*, Volume 6.
- Slovak, R. Kassev, K., Stoytcheva, E., Schnieder, E., 2007. General Stochastic Model Iing for Quantitative Safety Analysis using Markov Chains and Petri Net. *Information Technologies and Control*, pp. 19-47.
- Smith, A. HINCHCLIFFE, G , 2004. Reliability Centered Maintenance. *Elsevier*.
- Spark, J., 2015. *Performance Appraisal Process, Tips and Tools*. [Online] Available at: <http://myventurepad.com/performance-appraisal-process-tips-tools-360-degree-performance-appraisal/> [Acedido em 09 01 2015].
- Stamatis, D., 2003. *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution..* Wisconsin: American Society for Quality..
- Transport Canada, 2003. *Maintenance Instruction Development Processes Manual*, Ottawa: Transport Canada Publisher.
- Trigos, M. Barrientos, A., Cedro, J., Lopez, H., 2010. *Modelling and Fault Diagnosis by means of Petri Nets. Unmanned Aerial Vehicle Application*. Spain-Colombia: Intechopen.
- Vanston, J., 1998. *Technology Forecasting: Na Aid to Effective Technology Management*. Austin: TechnologyFutures Inc.

- Viniacourt, F., Bes, C. and Neveux, J., 2007. *Maintenance program task intervals evolution on civil aircraft: a method based on in-service data..* Alghero, ESReDA.
- Volovoi, V., 2004. Modelling of system reliability Petri Nets with aging tokens.. *Reliability Engineering and System Safety*, pp. 149-161.
- Wu, X., 2015. Extended objected-oriented Petri Net model for mission reliability simulation of repairable PMS with common cause failures. *Reliability Engineering and System Safety*, pp. 109-119.
- Zwicky, F., 1998. Morphologie and Policy Analysis. *16th EURO Coadamsnference on Operational Analysis*, Volume 56 n°491 ISBN 908-900-21005-7-1 ISSN 1802-8002, pp. 353-360.

Anexo I - Licenças Especiais de Aeronavegabilidade emitidas aos UAV ANTEX- X02 Alpha Extended

 MINISTÉRIO DA DEFESA NACIONAL PORTUGUESE MINISTRY OF DEFENSE AUTORIDADE AERONÁUTICA NACIONAL NATIONAL AVIATION AUTHORITY			
LICENÇA ESPECIAL DE AERONAVEGABILIDADE PERMIT TO FLY			
1. Número de cauda <i>Tail no.</i> <u>17515</u>	2. Fabricante e Modelo <i>Manufacturer and Model</i> <u>CIAFA, ANTEX X-02 – ALFA EXTENDED</u>	3. Número de Série <i>Serial no.</i> <u>ALFA EXTENDED 00</u>	4. Missão(ões) <i>Mission</i> <u>EXPERIMENTAL</u>
5. Autorização e Base de certificação <i>Authorisation and Certification Basis</i> Esta Licença Especial de Aeronavegabilidade é emitida para a configuração aprovada para o Sistema de Aeronave Não Tripulada, referente à aeronave acima especificada, nos termos da alínea c) do artigo 7.º da Lei nº 28/2013 de 12 de Abril, o qual é considerado apto a voar em segurança para os fins e nas condições de validade, exceções e restrições pertinentes. <i>This Permit to fly is issued for the approved configuration of the Unmanned Aircraft Systems related to the above mentioned aircraft, pursuant to paragraph c) article 7.º of Law No. 28/2013 of 12 April, which is considered capable of safe flight for the purpose and within the pertinent validity conditions, exceptions and restrictions.</i>			
6. Exceções e restrições <i>Exceptions and Restrictions</i> Esta Licença Especial de Aeronavegabilidade só é válida quando acompanhada pelo Livro de Registo do Sistema de Aeronave Não Tripulada que autoriza o <i>release for flight</i> emitido antes de cada voo. <i>This Permit to Fly is only valid when accompanied by the Unmanned Aircraft System Technical logbook authorizing the release for flight that is issued before each flight.</i> Qualquer anomalia detetada durante o(s) voo(s) tem de ser imediatamente reportada para o Gabinete da Autoridade Aeronáutica Nacional, a fim de se averiguar a validade desta Licença. <i>Any finding found during the flight(s) must be immediately reported to the National Aviation Authority Office in order to ascertain the validity of this license.</i>			
7. Finalidade e condições de validade <i>Purpose and validity conditions</i> Sem prejuízo de qualquer decisão de substituição, de suspensão, de revogação ou de cancelamento pelo signatário (ou seu representante), esta Licença Especial de Aeronavegabilidade manter-se-á válida no período de 24 a 28SET13 para os voos definidos no Documento PERSEUS – 24 a 28 SET13 – Plano de Preparação e Operações de 12 SET13. <i>Without prejudice to any decision to replace, suspension, revocation or cancellation by the undersigned (or his representative), this Permit to Fly will remain valid from 24 to 28SEP13 and for the flights specified in the document PERSEUS – 24 a 28 SET13 – Plano de Preparação e Operações de 12 SET13.</i>			
8. Data de Emissão <i>Emission Date</i> <u>23SET2013</u>	9. Emitido por <i>Issued by</i> O CHEFE DO GABINETE DA AUTORIDADE AERONÁUTICA NACIONAL THE HEAD OF THE NATIONAL AVIATION AUTHORITY OFFICE  António Afonso dos Santos Allen Revez Major-General		10. Certificado N.º <i>Certificate no.</i> <u>17515-X1</u>

SGQAAN.MOD.402_REV00

Frente

 MINISTÉRIO DA DEFESA NACIONAL PORTUGUESE MINISTRY OF DEFENSE AUTORIDADE AERONÁUTICA NACIONAL NATIONAL AVIATION AUTHORITY			
LICENÇA ESPECIAL DE AERONAVEGABILIDADE PERMIT TO FLY			
1. Número de cauda <i>Tail no.</i> 17506	2. Fabricante e Modelo <i>Manufacturer and Model</i> CIAFA. ANTEX X-02 - ALFA	3. Número de Série <i>Serial no.</i> ALFA 06	4. Missão(ões) <i>Mission</i> EXPERIMENTAL
5. Autorização e Base de certificação <i>Authorisation and Certification Basis</i> Esta Licença Especial de Aeronavegabilidade é emitida para a configuração aprovada para o Sistema de Aeronave Não Tripulada, referente à aeronave acima especificada, nos termos da alínea c) do artigo 7.º da Lei nº 28/2013 de 12 de Abril, o qual é considerado apto a voar em segurança para os fins e nas condições de validade, exceções e restrições pertinentes. <i>This Permit to fly is issued for the approved configuration of the Unmanned Aircraft Systems related to the above mentioned aircraft, pursuant to paragraph c) article 7.º of Law No. 28/2013 of 12 April, which is considered capable of safe flight for the purpose and within the pertinent validity conditions, exceptions and restrictions.</i>			
6. Exceções e restrições <i>Exceptions and Restrictions</i> Esta Licença Especial de Aeronavegabilidade só é válida quando acompanhada pelo Livro de Registo do Sistema de Aeronave Não Tripulada que autoriza o release for flight emitido antes de cada voo. <i>This Permit to Fly is only valid when accompanied by the Unmanned Aircraft System Technical logbook authorizing the release for flight that is issued before each flight.</i> Qualquer anomalia detetada durante o(s) voo(s) tem de ser imediatamente reportada para o Gabinete da Autoridade Aeronáutica Nacional, a fim de se averiguar a validade desta Licença. <i>Any finding found during the flight(s) must be immediately reported to the National Aviation Authority Office in order to ascertain the validity of this license.</i>			
7. Finalidade e condições de validade <i>Purpose and validity conditions</i> Sem prejuízo de qualquer decisão de substituição, de suspensão, de revogação ou de cancelamento pelo signatário (ou seu representante), esta Licença Especial de Aeronavegabilidade manter-se-á válida no período de 24 a 28SET13 para os voos definidos no Documento PERSEUS – 24 a 28 SET13 – Plano de Preparação e Operações de 12 SET13. <i>Without prejudice to any decision to replace, suspension, revocation or cancellation by the undersigned (or his representative), this Permit to Fly will remain valid from 24 to 28SEP13 and for the flights specified in the document PERSEUS – 24 a 28 SET13 – Plano de Preparação e Operações de 12 SET13.</i>			
8. Data de Emissão <i>Emission Date</i> 23SET2013	9. Emitido por <i>Issued by</i> O CHEFE DO GABINETE DA AUTORIDADE AERONÁUTICA NACIONAL THE HEAD OF THE NATIONAL AVIATION AUTHORITY OFFICE  António Afonso dos Santos Allen Revez Major-General		10. Certificado Nº <i>Certificate no.</i> 17506-X1

SGQAAN.MOD.402 .REV00

Frente

 MINISTÉRIO DA DEFESA NACIONAL PORTUGUESE MINISTRY OF DEFENSE AUTORIDADE AERONÁUTICA NACIONAL NATIONAL AVIATION AUTHORITY			
LICENÇA ESPECIAL DE AERONAVEGABILIDADE PERMIT TO FLY			
1. Número de cauda <i>Tail no.</i> 17507	2. Fabricante e Modelo <i>Manufacturer and Model</i> CIAFA. ANTEX X-02 - ALFA	3. Número de Série <i>Serial no.</i> ALFA 07	4. Missão(ões) <i>Mission</i> EXPERIMENTAL
5. Autorização e Base de certificação <i>Authorisation and Certification Basis</i> Esta Licença Especial de Aeronavegabilidade é emitida para a configuração aprovada para o Sistema de Aeronave Não Tripulada, referente à aeronave acima especificada, nos termos da alínea c) do artigo 7.º da Lei nº 28/2013 de 12 de Abril, o qual é considerado apto a voar em segurança para os fins e nas condições de validade, exceções e restrições pertinentes. <i>This Permit to fly is issued for the approved configuration of the Unmanned Aircraft Systems related to the above mentioned aircraft, pursuant to paragraph c) article 7.º of Law No. 28/2013 of 12 April, which is considered capable of safe flight for the purpose and within the pertinent validity conditions, exceptions and restrictions.</i>			
6. Exceções e restrições <i>Exceptions and Restrictions</i> Esta Licença Especial de Aeronavegabilidade só é válida quando acompanhada pelo Livro de Registo do Sistema de Aeronave Não Tripulada que autoriza o <i>release for flight</i> emitido antes de cada voo. <i>This Permit to Fly is only valid when accompanied by the Unmanned Aircraft System Technical logbook authorizing the release for flight that is issued before each flight.</i> Qualquer anomalia detetada durante o(s) voo(s) tem de ser imediatamente reportada para o Gabinete da Autoridade Aeronáutica Nacional, a fim de se averiguar a validade desta Licença. <i>Any finding found during the flight(s) must be immediately reported to the National Aviation Authority Office in order to ascertain the validity of this license.</i>			
7. Finalidade e condições de validade <i>Purpose and validity conditions</i> Sem prejuízo de qualquer decisão de substituição, de suspensão, de revogação ou de cancelamento pelo signatário (ou seu representante), esta Licença Especial de Aeronavegabilidade manter-se-á válida no período de 24 a 28SET13 para os voos definidos no Documento PERSEUS – 24 a 28 SET13 – Plano de Preparação e Operações de 12 SET13. <i>Without prejudice to any decision to replace, suspension, revocation or cancellation by the undersigned (or his representative), this Permit to Fly will remain valid from 24 to 28SEP13 and for the flights specified in the document PERSEUS – 24 a 28 SET13 – Plano de Preparação e Operações de 12 SET13.</i>			
8. Data de Emissão <i>Emission Date</i> 23SET2013	9. Emitido por <i>Issued by</i> O CHEFE DO GABINETE DA AUTORIDADE AERONÁUTICA NACIONAL THE HEAD OF THE NATIONAL AVIATION AUTHORITY OFFICE  António Afonso dos Santos Allen Revez Major-General		10. Certificado N.º <i>Certificate no.</i> 17507-X1

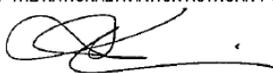
SGQAAN.MOD.402 .REV00

Frente

 MINISTÉRIO DA DEFESA NACIONAL PORTUGUESE MINISTRY OF DEFENSE AUTORIDADE AERONÁUTICA NACIONAL NATIONAL AVIATION AUTHORITY			
LICENÇA ESPECIAL DE AERONAVEGABILIDADE PERMIT TO FLY			
1. Número de cauda <i>Tail no.</i> 17515	2. Fabricante e Modelo <i>Manufacturer and Model</i> CIAFA, ANTEX X-02 – ALFA EXTENDED	3. Número de Série <i>Serial no.</i> ALFA EXTENDED 00	4. Missão(ões) <i>Mission</i> EXPERIMENTAL
5. Autorização e Base de certificação <i>Authorisation and Certification Basis</i> Esta Licença Especial de Aeronavegabilidade é emitida para a configuração aprovada para o Sistema de Aeronave Não Tripulada (SANT), referente à aeronave acima especificada, nos termos da alínea c) do art. 7.º da Lei nº 28/2013 de 12 de Abril e da Circular Nº 01/13 da Autoridade Aeronáutica Nacional, de 23SET13, o qual é considerado apto a voar em segurança para os fins e nas condições de validade, exceções e restrições pertinentes. <i>This Permit to fly is issued for the approved configuration of the Unmanned Aircraft Systems (UAS) related to the above mentioned aircraft, pursuant to paragraph c) article 7.º of Law No. 28/2013 of 12 April and the National Aviation Authority Circular No. 01/13 of 23 September, which is considered capable of safe flight for the purpose and within the pertinent validity conditions, exceptions and restrictions.</i>			
6. Exceções e restrições <i>Exceptions and Restrictions</i> Esta Licença Especial de Aeronavegabilidade só é válida quando acompanhada pelo Livro de Registo do Sistema de Aeronave (NOP-SR V1), que autoriza o <i>release for flight</i> emitido antes de cada voo. <i>This Permit to Fly is only valid when accompanied by the Livro de Registo do Sistema de Aeronave (NOP-SR V1), authorizing the release for flight that is issued before each flight.</i> Qualquer anomalia detetada durante o(s) voo(s) tem de ser imediatamente reportada para o Gabinete da Autoridade Aeronáutica Nacional, a fim de se averiguar a validade desta Licença. <i>Any finding found during the flight(s) must be immediately reported to the National Aviation Authority Office in order to ascertain the validity of this license.</i>			
7. Finalidade e condições de validade <i>Purpose and validity conditions</i> Sem prejuízo de qualquer decisão de substituição, de suspensão, de revogação ou de cancelamento pelo signatário (ou seu representante), esta Licença Especial de Aeronavegabilidade manter-se-á válida até ao dia 30JUN2014, no CFMTFA-OTA, para os voos definidos no Documento Programa de Voos (NOP-PV-CFMTFA14 V1) e para as condições definidas no campo 11. Observações. <i>Without prejudice to any decision to replace, suspension, revocation or cancellation by the undersigned (or his representative), this Permit to Fly will remain valid until JUN 30th 2014, in CFMTFA-OTA, and for the flights specified in the document Programa de Voos (NOP-PV-CFMTFA14 V1) and for the conditions defined in the field 11. Remarks.</i>			
8. Data de Emissão <i>Emission Date</i> 15ABR2014	9. Emitido por <i>Issued by</i> O CHEFE DO GABINETE DA AUTORIDADE AERONÁUTICA NACIONAL THE HEAD OF THE NATIONAL AVIATION AUTHORITY OFFICE  Manuel Fernando Rafael Martins Major-General		10. Certificado Nº <i>Certificate no.</i> 17515-X3

SGQAAN.MOD.401.REV01

Frente

 S. R. MINISTÉRIO DA DEFESA NACIONAL PORTUGUESE MINISTRY OF DEFENSE AUTORIDADE AERONÁUTICA NACIONAL NATIONAL AVIATION AUTHORITY			
LICENÇA ESPECIAL DE AERONAVEGABILIDADE PERMIT TO FLY			
1. Número de cauda <i>Tail no.</i> 17512	2. Fabricante e Modelo <i>Manufacturer and Model</i> CIAFA, ANTEX X-02 – ALFA EXTENDED	3. Número de Série <i>Serial no.</i> ALFA EXTENDED 02	4. Missão(ões) <i>Mission</i> EXPERIMENTAL
5. Autorização e Base de certificação <i>Authorisation and Certification Basis</i> Esta Licença Especial de Aeronavegabilidade é emitida para a configuração aprovada para o Sistema de Aeronave Não Tripulada (SANT), referente à aeronave acima especificada, nos termos da alínea c) do art. 7.º da Lei nº 28/2013 de 12 de abril e da Circular nº 01/13 da Autoridade Aeronáutica Nacional, de 23SET13, o qual é considerado apto a voar em segurança para os fins e nas condições de validade, exceções e restrições pertinentes. <i>This Permit to fly is issued for the approved configuration of the Unmanned Aircraft Systems (UAS) related to the above mentioned aircraft, pursuant to paragraph c) article 7.º of Law No. 28/2013 of 12 April and the National Aviation Authority Circular No. 01/13 of 23 September, which is considered capable of safe flight for the purpose and within the pertinent validity conditions, exceptions and restrictions.</i>			
6. Exceções e restrições <i>Exceptions and Restrictions</i> Esta Licença Especial de Aeronavegabilidade só é válida quando acompanhada pelo Livro de Registo modelo PCI1.IM25.00, que autoriza o release for flight emitido antes de cada voo. <i>This Permit to Fly is only valid when accompanied by the Livro de Registo model PCI1.IM25.00, authorizing the release for flight that is issued before each flight.</i> Qualquer anomalia detetada durante o(s) voo(s) tem de ser imediatamente reportada para o Gabinete da Autoridade Aeronáutica Nacional, a fim de se averiguar a validade desta Licença. <i>Any finding found during the flight(s) must be immediately reported to the National Aviation Authority Office in order to ascertain the validity of this license.</i>			
7. Finalidade e condições de validade <i>Purpose and validity conditions</i> Sem prejuízo de qualquer decisão de substituição, de suspensão, de revogação ou de cancelamento pelo signatário (ou seu representante), esta Licença Especial de Aeronavegabilidade manter-se-á válida até dia 31 de dezembro de 2014, para os voos definidos no documento Programa de Desenvolvimento e Operação (17512-PROGDEV.01.00) e no documento Programa de Voos (17512-FLPRG.01.00) para realização de missões de testes, treino e demonstrações de tecnologia no CFMTFA e para as condições definidas no campo 11. Observações. <i>Without prejudice to any decision to replace, suspension, revocation or cancellation by the undersigned (or his representative), this Permit to Fly will remain valid until 30 December 2014, for the flights specified in the Programa de Desenvolvimento e Operação (17512-PROGDEV.01.00) document and Programa de Voos (17512-FLPRG.01.00) document to perform tests, training and technology demonstration missions in CFMTFA and for the conditions defined in the field 11. Remarks.</i>			
8. Data de Emissão <i>Emission Date</i> 18JUL2014	9. Emitido por <i>Issued by</i> O CHEFE DO GABINETE DA AUTORIDADE AERONÁUTICA NACIONAL THE HEAD OF THE NATIONAL AVIATION AUTHORITY OFFICE  Manuel Fernando Rafael Martins Major-General		10. Certificado N.º <i>Certificate no.</i> 17512-X1

SGQAAN.MOD.401.REV01

Frete

 MINISTÉRIO DA DEFESA NACIONAL PORTUGUESE MINISTRY OF DEFENSE AUTORIDADE AERONÁUTICA NACIONAL NATIONAL AVIATION AUTHORITY			
LICENÇA ESPECIAL DE AERONAVEGABILIDADE PERMIT TO FLY			
1. Número de cauda <i>Tail no.</i>	2. Fabricante e Modelo <i>Manufacturer and Model</i>	3. Número de Série <i>Serial no.</i>	4. Missão(ões) <i>Mission</i>
<u>17513</u>	<u>CIAFA, ANTEX X-02 – ALFA EXTENDED</u>	<u>ALFA EXTENDED 03</u>	<u>EXPERIMENTAL</u>
5. Autorização e Base de certificação <i>Authorisation and Certification Basis</i> Esta Licença Especial de Aeronavegabilidade é emitida para a configuração aprovada para o Sistema de Aeronave Não Tripulada (SANT), referente à aeronave acima especificada, nos termos da alínea c) do art. 7.º da Lei nº 28/2013 de 12 de abril e da Circular Nº 01/13 da Autoridade Aeronáutica Nacional, de 23SET13, o qual é considerado apto a voar em segurança para os fins e nas condições de validade, exceções e restrições pertinentes. <i>This Permit to fly is issued for the approved configuration of the Unmanned Aircraft Systems (UAS) related to the above mentioned aircraft, pursuant to paragraph c) article 7.º of Law No. 28/2013 of 12 April and the National Aviation Authority Circular No. 01/13 of 23 September, which is considered capable of safe flight for the purpose and within the pertinent validity conditions, exceptions and restrictions.</i>			
6. Exceções e restrições <i>Exceptions and Restrictions</i> Esta Licença Especial de Aeronavegabilidade só é válida quando acompanhada pelo Livro de Registo impresso PCI1.IM25.00, que autoriza o <i>release for flight</i> emitido antes de cada voo. <i>This Permit to Fly is only valid when accompanied by Livro de Registo form PCI1.IM25.00, authorizing the release for flight that is issued before each flight.</i> Qualquer anomalia detetada durante o(s) voo(s) tem de ser imediatamente reportada para o Gabinete da Autoridade Aeronáutica Nacional, a fim de se averiguar a validade desta Licença. <i>Any finding found during the flight(s) must be immediately reported to the National Aviation Authority Office in order to ascertain the validity of this license.</i>			
7. Finalidade e condições de validade <i>Purpose and validity conditions</i> Sem prejuízo de qualquer decisão de substituição, de suspensão, de revogação ou de cancelamento pelo signatário (ou seu representante), esta Licença Especial de Aeronavegabilidade manter-se-á válida até dia 31 julho de 2015, para os voos definidos no documento Programa de Desenvolvimento e Operação (17513-PROGDEV.01.00) e no documento Programa de Voos (17513-FLPRG.01.00) para realização de missões de testes, treino e demonstrações de tecnologia em espaço aéreo segregado, a partir do Centro de Formação Militar e Técnica da Força Aérea (CFMTFA) e para as condições definidas no campo 11. Observações. <i>Without prejudice to any decision to replace, suspension, revocation or cancellation by the undersigned (or his representative), this Permit to Fly will remain valid until 31st July 2015, for the flights specified in the Programa de Desenvolvimento e Operação (17513-PROGDEV.01.00) document and Programa de Voos (17513-FLPRG.01.00) document to perform tests, training and technology demonstration missions in a segregated airspace, from Centro de Formação Militar e Técnica da Força Aérea (CFMTFA) and for the conditions defined in the field 11. Remarks.</i>			
8. Data de Emissão <i>Emission Date</i>	9. Emitido por <i>Issued by</i>		10. Certificado Nº <i>Certificate no.</i>
<u>09FEV2015</u>	O CHEFE DO GABINETE DA AUTORIDADE AERONÁUTICA NACIONAL THE HEAD OF THE NATIONAL AVIATION AUTHORITY OFFICE  Manuel Fernando Rafael Martins Major-General		<u>17513-X1</u>

SGQAAN.MOD.401.REV01

Fronte

 MINISTÉRIO DA DEFESA NACIONAL PORTUGUESE MINISTRY OF DEFENSE AUTORIDADE AERONÁUTICA NACIONAL NATIONAL AVIATION AUTHORITY			
LICENÇA ESPECIAL DE AERONAVEGABILIDADE PERMIT TO FLY			
1. Número de cauda <i>Tail no.</i> 17509	2. Fabricante e Modelo <i>Manufacturer and Model</i> CIAFA, ANTEX X-03	3. Número de Série <i>Serial no.</i> 00	4. Missão(ões) <i>Mission</i> EXPERIMENTAL
5. Autorização e Base de certificação <i>Authorisation and Certification Basis</i> Esta Licença Especial de Aeronavegabilidade é emitida para a configuração aprovada para o Sistema de Aeronave Não Tripulada (SANT), referente à aeronave acima especificada, nos termos da alínea c) do art. 7.º da Lei nº 28/2013 de 12 de abril e da Circular Nº 01/13 da Autoridade Aeronáutica Nacional, de 23SET13, o qual é considerado apto a voar em segurança para os fins e nas condições de validade, exceções e restrições pertinentes. <i>This Permit to fly is issued for the approved configuration of the Unmanned Aircraft Systems (UAS) related to the above mentioned aircraft, pursuant to paragraph c) article 7.º of Law No. 28/2013 of 12 April and the National Aviation Authority Circular No. 01/13 of 23 September, which is considered capable of safe flight for the purpose and within the pertinent validity conditions, exceptions and restrictions.</i>			
6. Exceções e restrições <i>Exceptions and Restrictions</i> Esta Licença Especial de Aeronavegabilidade só é válida quando acompanhada pelo Livro de Registo impresso PCI1.IM25.00, que autoriza o <i>release for flight</i> emitido antes de cada voo. <i>This Permit to Fly is only valid when accompanied by Livro de Registo form PCI1.IM25.00, authorizing the release for flight that is issued before each flight.</i> Qualquer anomalia detetada durante o(s) voo(s) tem de ser imediatamente reportada para o Gabinete da Autoridade Aeronáutica Nacional, a fim de se averiguar a validade desta Licença. <i>Any finding found during the flight(s) must be immediately reported to the National Aviation Authority Office in order to ascertain the validity of this license.</i>			
7. Finalidade e condições de validade <i>Purpose and validity conditions</i> Sem prejuízo de qualquer decisão de substituição, de suspensão, de revogação ou de cancelamento pelo signatário (ou seu representante), esta Licença Especial de Aeronavegabilidade manter-se-á válida de 14 de outubro de 2015 até 30 de outubro de 2015, para os voos definidos no documento Programa de Desenvolvimento e Operação (17509-PCI1.IM29.00) e no documento Programa de Testes (17509-TESTPRG.01.00), para realização de missões de testes em espaço aéreo segregado, na área do Centro de Formação Militar e Técnica da Força Aérea (CFMTFA) e para as condições definidas no campo 11. Observações. <i>Without prejudice to any decision to replace, suspension, revocation or cancellation by the undersigned (or his representative), this Permit to Fly will remain valid from 14th October 2015 until 30th October 2015, for the flights specified in the Programa de Desenvolvimento e Operação (17509-PCI1.IM29.00) document and Programa de Teste (17509-TESTPRG.01.00) document to perform tests missions in a segregated airspace, in the area of Centro de Formação Militar e Técnica da Força Aérea (CFMTFA) and for the conditions defined in the field 11. Remarks.</i>			
8. Data de Emissão <i>Emission Date</i> 14OUT2015	9. Emitido por <i>Issued by</i> O CHEFE DO GABINETE DA AUTORIDADE AERONÁUTICA NACIONAL EEF THE HEAD OF THE NATIONAL AVIATION AUTHORITY OFFICE ACTING  Paulo Jorge de Pinho Fernandes Tenente-Coronel		10. Certificado Nº <i>Certificate no.</i> 17509-X1

SGQAAN.MOD.401.REV01

Frete

 MINISTÉRIO DA DEFESA NACIONAL PORTUGUESE MINISTRY OF DEFENSE AUTORIDADE AERONÁUTICA NACIONAL NATIONAL AVIATION AUTHORITY			
LICENÇA ESPECIAL DE AERONAVEGABILIDADE PERMIT TO FLY			
1. Número de cauda <i>Tail no.</i> 17509	2. Fabricante e Modelo <i>Manufacturer and Model</i> CIAFA, ANTEX X-03	3. Número de Série <i>Serial no.</i> 00	4. Missão(ões) <i>Mission</i> EXPERIMENTAL
5. Autorização e Base de certificação <i>Authorisation and Certification Basis</i> Esta Licença Especial de Aeronavegabilidade é emitida para a configuração aprovada para o Sistema de Aeronave Não Tripulada (SANT), referente à aeronave acima especificada, nos termos da alínea c) do art. 7.º da Lei nº 28/2013 de 12 de abril e da Circular Nº 01/13 da Autoridade Aeronáutica Nacional, de 23SET13, o qual é considerado apto a voar em segurança para os fins e nas condições de validade, exceções e restrições pertinentes. <i>This Permit to fly is issued for the approved configuration of the Unmanned Aircraft Systems (UAS) related to the above mentioned aircraft, pursuant to paragraph c) article 7.º of Law No. 28/2013 of 12 April and the National Aviation Authority Circular No. 01/13 of 23 September, which is considered capable of safe flight for the purpose and within the pertinent validity conditions, exceptions and restrictions.</i>			
6. Exceções e restrições <i>Exceptions and Restrictions</i> Esta Licença Especial de Aeronavegabilidade só é válida quando acompanhada pelo Livro de Registo impresso PC11.IM25.00, que autoriza o <i>release for flight</i> emitido antes de cada voo. <i>This Permit to Fly is only valid when accompanied by Livro de Registo form PC11.IM25.00, authorizing the release for flight that is issued before each flight.</i> Qualquer anomalia detetada durante o(s) voo(s) tem de ser imediatamente reportada para o Gabinete da Autoridade Aeronáutica Nacional, a fim de se averiguar a validade desta Licença. <i>Any finding found during the flight(s) must be immediately reported to the National Aviation Authority Office in order to ascertain the validity of this license.</i>			
7. Finalidade e condições de validade <i>Purpose and validity conditions</i> Sem prejuízo de qualquer decisão de substituição, de suspensão, de revogação ou de cancelamento pelo signatário (ou seu representante), esta Licença Especial de Aeronavegabilidade manter-se-á válida de 28 de outubro de 2015 a 30 de outubro de 2015 e de 06 novembro de 2015 a 09 de novembro de 2015, para os voos definidos no documento Programa de Desenvolvimento e Operação (17509-PC11.IM29.00) e no documento Programa de Testes (17509-TESTPRG.02.00), para realização de missões de testes em espaço aéreo segregado, na área do Centro de Formação Militar e Técnica da Força Aérea (CFMTFA) e para as condições definidas no campo 11. Observações. <i>Without prejudice to any decision to replace, suspension, revocation or cancellation by the undersigned (or his representative), this Permit to Fly will remain valid from October 28th, 2015 until October 30th, 2015 and from November 06th, 2015 until November 09th, 2015, for the flights specified in the Programa de Desenvolvimento e Operação (17509-PC11.IM29.00) document and Programa de Teste (17509-TESTPRG.02.00) document to perform tests missions in a segregated airspace, in the area of Centro de Formação Militar e Técnica da Força Aérea (CFMTFA) and for the conditions defined in the field 11.</i> Remarks.			
8. Data de Emissão <i>Emission Date</i> 27OUT2015	9. Emitido por <i>Issued by</i> O CHEFE DO GABINETE DA AUTORIDADE AERONÁUTICA NACIONAL THE HEAD OF THE NATIONAL AVIATION AUTHORITY OFFICE  Manuel Fernando Rafael Martins Major-General		10. Certificado Nº <i>Certificate no.</i> 17509-X2

SGQAAN.MOD.401.REV01

Frente

 MINISTÉRIO DA DEFESA NACIONAL PORTUGUESE MINISTRY OF DEFENSE AUTORIDADE AERONÁUTICA NACIONAL NATIONAL AVIATION AUTHORITY			
LICENÇA ESPECIAL DE AERONAVEGABILIDADE PERMIT TO FLY			
1. Número de cauda <i>Tail no.</i> 17509	2. Fabricante e Modelo <i>Manufacturer and Model</i> CIAFA, ANTEX-X03	3. Número de Série <i>Serial no.</i> 00	4. Missão(ões) <i>Mission</i> EXPERIMENTAL
5. Autorização e Base de certificação <i>Authorisation and Certification Basis</i> Esta Licença Especial de Aeronavegabilidade é emitida para a configuração aprovada para o Sistema de Aeronave Não Tripulada (SANT), referente à aeronave acima especificada, nos termos da alínea c) do art. 7.º da Lei nº 28/2013 de 12 de abril e da Circular Nº 01/13 da Autoridade Aeronáutica Nacional, de 23SET13, o qual é considerado apto a voar em segurança para os fins e nas condições de validade, exceções e restrições pertinentes. <i>This Permit to fly is issued for the approved configuration of the Unmanned Aircraft Systems (UAS) related to the above mentioned aircraft, pursuant to paragraph c) article 7.º of Law No. 28/2013 of 12 April and the National Aviation Authority Circular No. 01/13 of 23 September, which is considered capable of safe flight for the purpose and within the pertinent validity conditions, exceptions and restrictions.</i>			
6. Exceções e restrições <i>Exceptions and Restrictions</i> Esta Licença Especial de Aeronavegabilidade só é válida quando acompanhada pelo Livro de Registo impresso PCI1.IM25.00, que autoriza o <i>release for flight</i> emitido antes de cada voo. <i>This Permit to Fly is only valid when accompanied by Livro de Registo form PCI1.IM25.00, authorizing the release for flight that is issued before each flight.</i> Qualquer anomalia detetada durante o(s) voo(s) tem de ser imediatamente reportada para o Gabinete da Autoridade Aeronáutica Nacional, a fim de se averiguar a validade desta Licença. <i>Any finding found during the flight(s) must be immediately reported to the National Aviation Authority Office in order to ascertain the validity of this license.</i>			
7. Finalidade e condições de validade <i>Purpose and validity conditions</i> Sem prejuízo de qualquer decisão de substituição, de suspensão, de revogação ou de cancelamento pelo signatário (ou seu representante), esta Licença Especial de Aeronavegabilidade manter-se-á válida de 4 de janeiro a 29 de julho de 2016, para os voos definidos no documento Programa de Desenvolvimento e Operação (17509-PROGDEV.01.01), para realização de missões de treino, em espaço aéreo segregado, na área do Centro de Formação Militar e Técnica da Força Aérea (CFMTFA) e para as condições definidas no campo 11. Observações. <i>Without prejudice to any decision to replace, suspension, revocation or cancellation by the undersigned (or his representative), this Permit to Fly will remain valid from 4th January to 29th July 2016, for the flights specified in the Programa de Desenvolvimento e Operação (17509-PROGDEV.01.01) document to perform training missions, in a segregated airspace, in the area of Centro de Formação Militar e Técnica da Força Aérea (CFMTFA) and for the conditions defined in the field 11. Remarks.</i>			
8. Data de Emissão <i>Emission Date</i> 4JAN16	9. Emitido por <i>Issued by</i> O CHEFE DO GABINETE DA AUTORIDADE AERONÁUTICA NACIONAL THE HEAD OF THE NATIONAL AVIATION AUTHORITY OFFICE  Manuel Fernando Rafael Martins Major-General		10. Certificado Nº <i>Certificate no.</i> 17509-X7

SGQAAN.MOD.401.REV01

Frente

 MINISTÉRIO DA DEFESA NACIONAL PORTUGUESE MINISTRY OF DEFENSE AUTORIDADE AERONÁUTICA NACIONAL NATIONAL AVIATION AUTHORITY			
LICENÇA ESPECIAL DE AERONAVEGABILIDADE PERMIT TO FLY			
1. Número de cauda <i>Tail no.</i> 17507	2. Fabricante e Modelo <i>Manufacturer and Model</i> CIAFA, ANTEX-X02 ALFA	3. Número de Série <i>Serial no.</i> 07	4. Missão(ões) <i>Mission</i> EXPERIMENTAL
5. Autorização e Base de certificação <i>Authorisation and Certification Basis</i> Esta Licença Especial de Aeronavegabilidade é emitida para a configuração aprovada para o Sistema de Aeronave Não Tripulada (SANT), referente à aeronave acima especificada, nos termos da alínea c) do art. 7.º da Lei nº 28/2013 de 12 de abril e da Circular Nº 01/13 da Autoridade Aeronáutica Nacional, de 23SET13, o qual é considerado apto a voar em segurança para os fins e nas condições de validade, exceções e restrições pertinentes. <i>This Permit to fly is issued for the approved configuration of the Unmanned Aircraft Systems (UAS) related to the above mentioned aircraft, pursuant to paragraph c) article 7.º of Law No. 28/2013 of 12 April and the National Aviation Authority Circular No. 01/13 of 23 September, which is considered capable of safe flight for the purpose and within the pertinent validity conditions, exceptions and restrictions.</i>			
6. Exceções e restrições <i>Exceptions and Restrictions</i> Esta Licença Especial de Aeronavegabilidade só é válida quando acompanhada pelo Livro de Registo impresso PC11.IM25.00, que autoriza o <i>release for flight</i> emitido antes de cada voo. <i>This Permit to Fly is only valid when accompanied by Livro de Registo form PC11.IM25.00, authorizing the release for flight that is issued before each flight.</i> Qualquer anomalia detetada durante o(s) voo(s) tem de ser imediatamente reportada para o Gabinete da Autoridade Aeronáutica Nacional, a fim de se averiguar a validade desta Licença. <i>Any finding found during the flight(s) must be immediately reported to the National Aviation Authority Office in order to ascertain the validity of this license.</i>			
7. Finalidade e condições de validade <i>Purpose and validity conditions</i> Sem prejuízo de qualquer decisão de substituição, de suspensão, de revogação ou de cancelamento pelo signatário (ou seu representante), esta Licença Especial de Aeronavegabilidade manter-se-á válida de 27 de janeiro a 12 de fevereiro de 2016, para os voos definidos no documento Programa de Desenvolvimento e Operação (17507-PROGDEV.01.02) e no documento Programa de Voos (17507-FLPRG.01.03), para realização de voos de teste com asa instrumentada, em espaço aéreo segregado, a partir do Centro de Formação Militar e Técnica da Força Aérea (CFMTFA) e para as condições definidas no campo 11. Observações. <i>Without prejudice to any decision to replace, suspension, revocation or cancellation by the undersigned (or his representative), this Permit to Fly will remain valid from 27th January until 12th February 2016, for the flights specified in the Programa de Desenvolvimento e Operação 17507-PROGDEV.01.02) document and Programa de Voos (17507-FLPRG.01.03) document to perform flight tests with an instrumented wing, in a segregated airspace, from Centro de Formação Militar e Técnica da Força Aérea (CFMTFA) and for the conditions defined in the field 11. Remarks.</i>			
8. Data de Emissão <i>Emission Date</i> 27JAN2016	9. Emitido por <i>Issued by</i> O CHEFE DO GABINETE DA AUTORIDADE AERONÁUTICA NACIONAL THE HEAD OF THE NATIONAL AVIATION AUTHORITY OFFICE  Manuel Fernando Rafael Martins Major-General		10. Certificado Nº <i>Certificate no.</i> 17507-X10

SGQAAN.MOD.401.REV01

Frete

Anexo II - Determinação da base de certificação a aplicar a novas aeronaves (baseado CAA CAP 722)

O método proposto pela CAA compara o perigo apresentado por uma nova aeronave com o perigo de uma aeronave convencional existente, a fim de obter uma indicação do nível adequado de requisitos que devem ser aplicados. O critério de comparação assenta no facto que a capacidade de uma aeronave para lesar terceiros é amplamente proporcional à sua energia cinética aquando do impacto, definindo-se, para o efeito, dois cenários.

- **Cenário de descida não premeditada** - Uma falha (ou uma combinação de falhas) ocorre e resulta na incapacidade de manter uma altitude segura acima da superfície. (por exemplo, perda de potência, etc.).

- **Cenário perda de controlo** - Uma falha (ou uma combinação de falhas), que resulta na perda de controlo e pode originar um impacto a elevada velocidade.

A probabilidade de descida não premeditada para várias aeronaves está relacionada com a fiabilidade dos sistemas de propulsão. Para o cálculo da energia cinética aquando do impacto, considera-se a massa, como sendo o peso (massa) máximo à descolagem e a velocidade que, é a velocidade de aproximação. Assim:

Para aviões de asa fixa $V = 1,3 \times \text{velocidade } Stalling \text{ (peso máximo à descolagem);}$

(1)

Para helicópteros $V = \text{valor escalar do vetor velocidade de autorrotação;}$

Para Dirigíveis ou Balões $V = \text{combinação da velocidade terminal resultante do peso estático, e a velocidade do provável do vento.}$

No cenário de perda de Controlo, o cálculo da energia cinética aquando do impacto, considera-se a massa como sendo o peso (massa) máximo à descolagem e da velocidade utilizada é a velocidade terminal. Assim:

Para aviões $V = 1,4 \times V_{mo} \text{ (a velocidade máxima de operação);}$

(2)

Para helicópteros $V = \text{velocidade terminal com os rotores em estacionário;}$

Para Dirigíveis ou Balões V = velocidade do terminal com o envelope com rutura ou uma rutura ou desinsuflado.

Para cada cenário, a energia cinética foi calculada (através da equação 1.1) para uma seleção de 28 aeronaves civis diferentes; (21 aviões e 7 helicópteros). Os resultados são mostrados nas Figura nº s 1 e 2. Em cada Figura é mostrada a "região de aplicabilidade" para cada um dos códigos existentes aplicáveis às aeronaves de asa fixa ou de asa rotativa. Essas regiões foram determinadas utilizando restrições práticas baseadas na amostra existente, para além de quaisquer limitações de peso e velocidade especificadas nos critérios de aplicabilidade dos códigos de requisitos de aeronavegabilidade.

$$E_C = \frac{M (kg) \times V^2 (m/s)}{10^9} \quad (J) \quad (3)$$

a. Método de comparação

Para se obter a indicação do nível de exigência adequado a um novo tipo de aeronave são realizadas as seguintes etapas:

- (1). Cálculo da energia cinética da nova aeronave para cada cenário.
- (2). Com base nos valores obtidos, e com recurso às Figuras nº s 1 e 2 separadamente, determinar o código adequado a ser aplicado com o intuito de prevenir a ocorrência de cada um dos cenários.

A Figura nº 1 irá fornecer uma indicação dos padrões a serem aplicados a qualquer característica do projeto, cuja falha poderia afetar a capacidade de manter uma altitude segura acima da superfície. A Figura nº 2 irá fornecer uma indicação das normas a serem aplicadas a qualquer característica do projeto cuja falência afetaria a capacidade de manter o controlo, (em particular taxa de descida). No entanto, se se verificar que a aeronave se encaixa dentro da região de mais do que um código, então isto indica que pode ser apropriado aplicar uma combinação de padrões. (por exemplo, CS-25 com reversões da CS-23 em algumas áreas, ou CS-23 com condições especiais retiradas da CS-25).

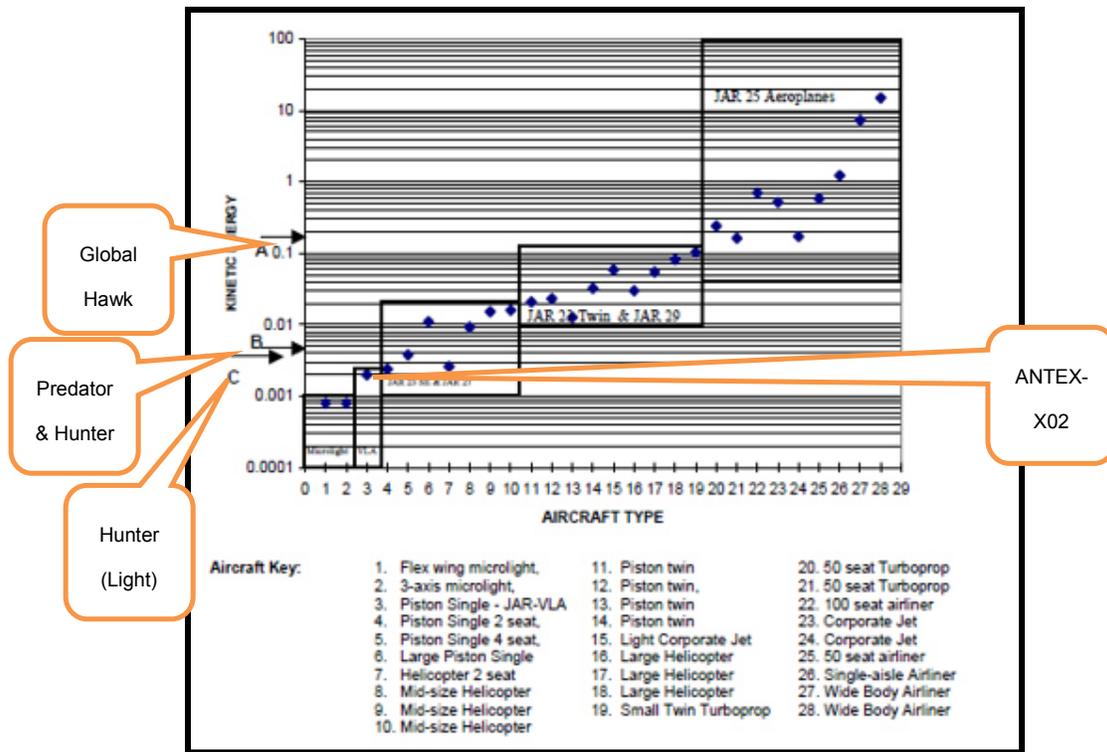


Figura nº 1 – Cenário de Descida Não Premeditada. (Fonte; CAA, 2002)

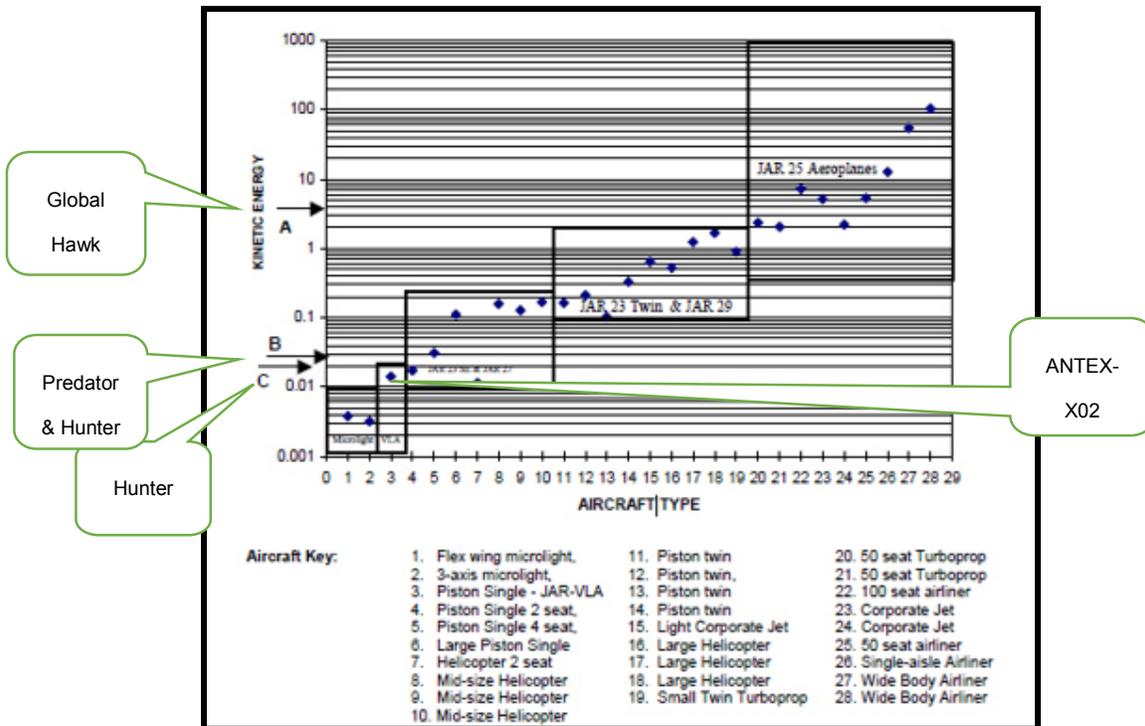


Figura nº 2 - Cenário de Perda de Controlo. (Fonte; CAA, 2002)

a. Aplicação ao RPAS ANTEX-X02 *Extended*, Considera-se (ver Apêndice A):

- Massa = 25kg
- Velocidade de perda = 18m/s ≈ 35kts
- Velocidade máxima = 40m/s ≈ 78kts

Para o cenário da descida não premeditada, a energia cinética é calculada com base em 130% da velocidade de perda (tendo em conta a configuração de aterragem e o peso máximo à descolagem).

Cenário de descida não premeditada: $E_{C_{Ext}} = \frac{25 \text{ kg} \times 1,3 \times 35 \text{ kts}}{10^7}$ (3)

Assim $E_c = 0,0000517563 \approx 0,0001$

Para o cenário de perda de controlo, a energia cinética é calculada com base em 140% da velocidade máxima de operação da aeronave.

Cenário perda de controlo: $E_{C_{Ext}} = \frac{25 \text{ kg} \times 1,4 \times 78 \text{ kts}}{10^7}$ (3)

Assim $E_c = 0,000298116 \approx 0,0003$

Anexo III - Sistemas das Aeronaves segundo o ATA 100.

Aircraft Systems	Aircraft Structures	Aircraft Powerplant
21 Air-conditioning	51 Structures	71 Power Plant
22 Auto Flight	52 Doors	72 Engine
23 Communications	53 Fuselage	73 Engine Fuel & Control
24 Electrical Power	54 Nacelles / Pylons	74 Ignition
25 Equipment & Furnishings	55 Stabilisers	75 Air
26 Fire Protection	56 Windows	76 Engine Controls
27 Flight Controls	57 Wings	77 Engine Indication
28 Fuel		78 Exhaust
29 Hydraulic Power		79 Oil
30 Ice & Rain Protection		80 Starting
31 Instruments		
32 Landing Gear		
33 Lights		
34 Navigation		
35 Oxygen		
36 Pneumatics		
38 Water & Waste		
49 Auxiliary Power Unit		

Anexo IV - Mapa de avarias das aeronaves CHIPMUNK MK 20

Anexo V - Relatório das Análises MSG-3

O processo de análise definida sob a lógica do MSG-3 subdivide a aeronave em sistemas, estruturas e zonas. Deste modo, a análise aos Sistemas/Motores do RPAS ANTEX-02 Alpha Extended englobou: a identificação dos MSI através da análise funcional a esses sistemas, a definição e a seleção de tarefas de manutenção adequadas que seriam a base do PMI. A análise funcional foi realizada através do módulo X-Fmea, em que para cada falha funcional identificada foi realizada uma avaliação e categorização das suas consequências em termos de impactos: na segurança, na operação e economia. Seguiu-se a análise às Estruturas, que consistiu: na identificação dos SSI; na avaliação do risco potencial de deterioração ambiental (ED) e/ou danos acidentais (AD) das estruturas; na definição das tarefas de inspeção estruturais e na identificação das principais zonas, principais sub-zonas. Devido à extensão do relatório final das análises efetuadas, seguidamente apresentam-se a título de exemplo dois relatórios parcelares.



FORM: LEP

ATA NO.
20-00-00

Item Description
STANDARD PRACTICES - AIRFRAME

Page	Description	Working Group	Date	Revision
1	List of Effective Pages			
2	Form 0 - MSI Selection Questions			
3	Form 2 - Maintainability/Reliability Data			
4	Form 3 - Functional Failure Analysis			
5	Form 4 - Categorization (Effect: 1A1)			
6	Form 5-9 - Task Selection (Cause: 1A1a)			
7	Form 4 - Categorization (Effect: 1B1)			
8	Form 5-9 - Task Selection (Cause: 1B1a)			
9	Form 10 - Tasks Summary			
10	Form 11 - Task Data Sheet (Task: 20-00-00-001)			
11	Form 11 - Task Data Sheet (Task: 20-00-00-002)			

Analyst: Paula Gonçalves Força Aerea Portuguesa	Working Group:	ISC Approval:	Revision:	Date: 28-Jan-2016	Page: 162 of 205
---	-----------------------	----------------------	------------------	-----------------------------	----------------------------



MSG-3 SYSTEMS & POWERPLANT ANALYSIS (REVISION 2011.1)

MAINTENANCE SIGNIFICANT ITEM SELECTION (MSI)

MSI

FORM: 0

ATA NO.
20-00-00

Item Description
STANDARD PRACTICES - AIRFRAME

Component Number	Part Number Manufacturer/ Supplier	Description	Could failure be undetectable or not likely to be detected by the operating crew during normal duties?	Could failure affect safety on ground or in flight?	Could failure have a significant operational impact?	Could failure have a significant economic impact?	MSI?	Highest Manageable MSI Level	Remarks
------------------	--	-------------	--	---	--	---	------	------------------------------	---------

20-00-00		STANDARD PRACTICES - AIRFRAME	No	Yes	No	No	Yes	20-00-00	
----------	--	-------------------------------	----	-----	----	----	-----	----------	--

Analyst: Paula Gonçalves Força Aerea Portuguesa	Working Group:	ISC Approval:	Revision:	Date: 28-Jan-2016	Page: 163 of 205
---	-----------------------	----------------------	------------------	-----------------------------	----------------------------

**MSG-3 SYSTEMS & POWERPLANT ANALYSIS (REVISION 2011.1)****COMPONENT - MAINTAINABILITY AND RELIABILITY DATA****MRD****FORM: 2**MSI NO.
20-00-00Item Description
STANDARD PRACTICES - AIRFRAME

Component Number	Description	Qty	Supplier	Part Number Manufacturer/ Supplier	Similar To	Historical MTBF/ MTBUR	Predicted MTBF/ MTBUR	MMEL
20-00-00	STANDARD PRACTICES - AIRFRAME					- / -	- / -	

References:

Analyst: Paula Gonçalves Força Aerea Portuguesa	Working Group:	ISC Approval:	Revision:	Date: 28-Jan-2016	Page: 164 of 205
---	-----------------------	----------------------	------------------	-----------------------------	----------------------------



MSG-3 SYSTEMS & POWERPLANT ANALYSIS (REVISION 2011.1)

FUNCTIONAL FAILURE ANALYSIS

FFA

FORM: 3

MSI NO.
20-00-00

Item Description
STANDARD PRACTICES - AIRFRAME

FUNCTION	FUNCTIONAL FAILURE	FAILURE EFFECT	FAILURE CAUSE
----------	--------------------	----------------	---------------

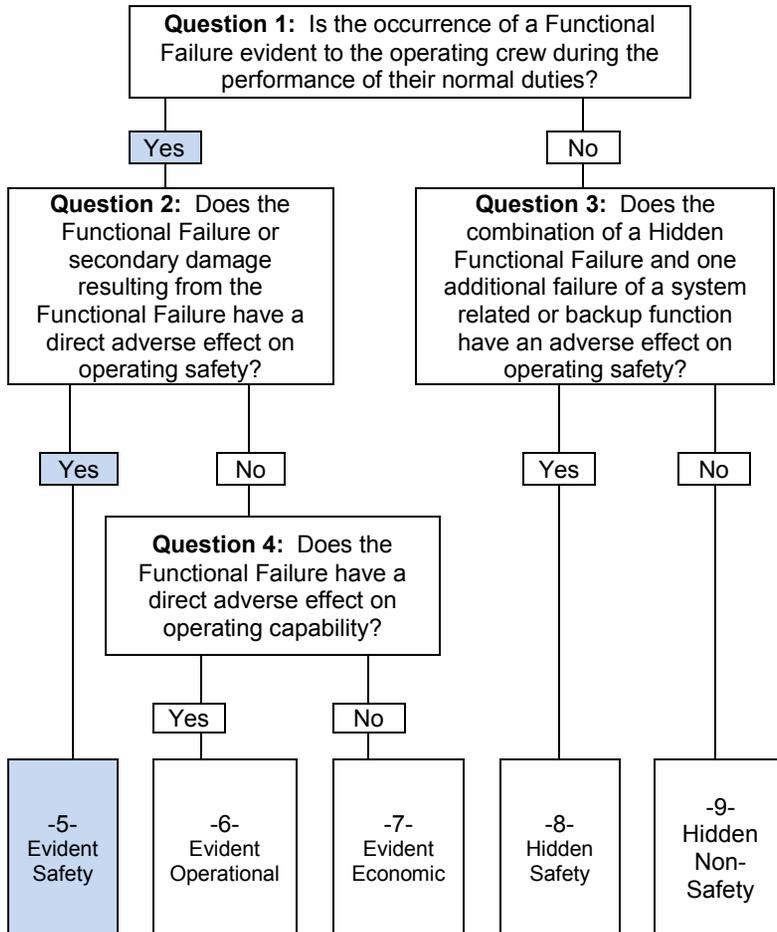
1	Conferir protecção e acomodar os equipamentos a bordo.	A	Falha na protecção.	1	transmissão de vibrações.	a	Impactos violentos.
		B	Mossas e Fissuras.	1	Transmissão de vibrações.	a	Impactos violentos.

Analyst: Paula Gonçalves Força Aerea Portuguesa	Working Group:	ISC Approval:	Revision:	Date: 28-Jan-2016	Page: 165 of 205
---	-----------------------	----------------------	------------------	-----------------------------	----------------------------

FORM: 4

 MSI NO.
20-00-00

MSI	STANDARD PRACTICES - AIRFRAME	
Function	1	Conferir protecção e acomodar os equipamentos a bordo.
Failure	A	Falha na protecção.
Effect	1	transmissão de vibrações.

FAILURE EFFECT QUESTIONS
QUESTION
ANSWER


1	Yes	Yes, the occurrence of a Functional Failure will be evident to the operating crew during the normal performance of their duties.
2	Yes	Yes, the Functional Failure or secondary damage resulting from the Functional Failure will have a direct adverse effect on operating safety.
3	N/A	
4	N/A	
Category		EVIDENT SAFETY
Remarks		MMEL

Analyst: Paula Gonçalves
Força Aerea Portuguesa

Working Group:
ISC Approval:
Revision:
Date:
28-Jan-2016

Page:
166 of 205

		MSG-3 SYSTEMS & POWERPLANT ANALYSIS (REVISION 2011.1)										
		TASK SELECTION QUESTIONS										TSQ
FORM: 5-9		MSI NO. 20-00-00		Item Description STANDARD PRACTICES - AIRFRAME								
FAILURE EFFECT CATEGORY		Function	1	Conferir protecção e acomodar os equipamentos a bordo.								
		Failure	A	Falha na protecção.								
		Effect	1	transmissão de vibrações.								
		Cause	a	Impactos violentos.								
5	6	7	8	9	TASK SELECTION QUESTIONS			Yes	No	N/A	Answer & Explanation (Based on Applicability & Effectiveness Criteria)	
A	A	A	A	A	Is a lubrication or servicing task applicable and effective?				X		No, a lubrication or servicing task will not be applicable and effective.	
			B	B	Is a check to verify operation applicable and effective?					X	Question is not applicable for Category 5	
B	B	B	C	C	Is an inspection or functional check to detect degradation of function applicable and effective?			X			Yes, an inspection or functional check to detect degradation of the function will be applicable and effective.	
C	C	C	D	D	Is a restoration task to reduce failure rate applicable and effective?				X		No, a restoration task to reduce the failure rate will not be applicable and effective.	
D	D	D	E	E	Is a discard task to avoid failures or to reduce the failure rate applicable and effective?				X		No, a discard task to avoid failures or to reduce the failure rate will not be applicable and effective.	
E			F		Is there a task or combination of tasks applicable and effective?			X			Yes, an inspection or functional check to detect degradation of the function will be applicable and effective.	

TASK NO.	TYPE	TASK DESCRIPTION	FEC	INTERVAL	REMARKS/EFFECTIVITY	ZONAL
002	GVI	Inspeccionar a estrutura para identificação de danos estruturais.	5	1 Wk		N/A

Analyst: Paula Gonçalves Força Aerea Portuguesa	Working Group:	ISC Approval:	Revision:	Date: 28-Jan-2016	Page: 167 of 205
---	-----------------------	----------------------	------------------	-----------------------------	----------------------------

FORM: 4

 MSI NO.
20-00-00

MSI

STANDARD PRACTICES - AIRFRAME

Function

1

Conferir protecção e acomodar os equipamentos a bordo.

Failure

B

Mossas e Fissuras.

Effect

1

Transmissão de vibrações.

FAILURE EFFECT QUESTIONS
QUESTION
ANSWER

Question 1: Is the occurrence of a Functional Failure evident to the operating crew during the performance of their normal duties?

Yes

No

Question 2: Does the Functional Failure or secondary damage resulting from the Functional Failure have a direct adverse effect on operating safety?

Question 3: Does the combination of a Hidden Functional Failure and one additional failure of a system related or backup function have an adverse effect on operating safety?

Yes

No

Yes

No

Question 4: Does the Functional Failure have a direct adverse effect on operating capability?

Yes

No

 -5-
Evident
Safety

 -6-
Evident
Operational

 -7-
Evident
Economic

 -8-
Hidden
Safety

 -9-
Hidden
Non-
Safety

1	Yes	Yes, the occurrence of a Functional Failure will be evident to the operating crew during the normal performance of their duties.
2	No	No, the Functional Failure or secondary damage resulting from the Functional Failure will not have a direct adverse effect on operating safety.
3	N/A	
4	No	No, the Functional Failure will not have a direct adverse effect on operating capability.
Category		EVIDENT ECONOMIC MMEL
Remarks		

Analyst: Paula Gonçalves
Força Aerea Portuguesa

Working Group:
ISC Approval:
Revision:
Date:
28-Jan-2016

Page:
168 of 205

MP MPC		MSG-3 SYSTEMS & POWERPLANT ANALYSIS (REVISION 2011.1)										
		TASK SELECTION QUESTIONS										TSQ
FORM: 5-9		MSI NO. 20-00-00		Item Description STANDARD PRACTICES - AIRFRAME								
FAILURE EFFECT CATEGORY		Function	1	Conferir protecção e acomodar os equipamentos a bordo.								
		Failure	B	Mossas e Fissuras.								
		Effect	1	Transmissão de vibrações.								
		Cause	a	Impactos violentos.								
5	6	7	8	9	TASK SELECTION QUESTIONS			Yes	No	N/A	Answer & Explanation (Based on Applicability & Effectiveness Criteria)	
A	A	A	A	A	Is a lubrication or servicing task applicable and effective?				X		No, a lubrication or servicing task will not be applicable and effective.	
			B	B	Is a check to verify operation applicable and effective?					X	Question is not applicable for Category 7	
B	B	B	C	C	Is an inspection or functional check to detect degradation of function applicable and effective?			X			Yes, an inspection or functional check to detect degradation of the function will be applicable and effective.	
C	C	C	D	D	Is a restoration task to reduce failure rate applicable and effective?				X		No, a restoration task to reduce the failure rate will not be applicable and effective.	
D	D	D	E	E	Is a discard task to avoid failures or to reduce the failure rate applicable and effective?				X		No, a discard task to avoid failures or to reduce the failure rate will not be applicable and effective.	
E			F		Is there a task or combination of tasks applicable and effective?					X	Question is not applicable for Category 7	

TASK NO.	TYPE	TASK DESCRIPTION	FEC	INTERVAL	REMARKS/EFFECTIVITY	ZONAL
001	GVI	Inspeccionar antes de e depois de voo.	7	1 Cyc		No

Analyst: Paula Gonçalves Força Aerea Portuguesa	Working Group:	ISC Approval:	Revision:	Date: 28-Jan-2016	Page: 169 of 205
---	-----------------------	----------------------	------------------	-----------------------------	----------------------------

**MSG-3 SYSTEMS & POWERPLANT ANALYSIS (REVISION 2011.1)****MAINTENANCE TASK SUMMARY****MTS****FORM: 10**

20-00-00

Item Description
STANDARD PRACTICES - AIRFRAME

TASK NUMBER	TASK TYPE	TASK DESCRIPTION	INTERVAL	F-FF-FE-FC	FEC	ZONE	ACCESS	REMARKS/ EFFECTIVITY
200000-001	GVI	Inspeccionar antes de e depois de voo.	1 Cyc	1B1a	7			
200000-002	GVI	Inspeccionar a estrutura para identificação de danos estruturais.	1 Wk	1A1a	5			

Analyst: Nelson Afonso_3
Força Aerea Portuguesa**Working Group:****ISC Approval:****Revision:****Date:**
28-Jan-2016**Page:**
170 of 205

**MSG-3 SYSTEMS & POWERPLANT ANALYSIS (REVISION 2011.1)****TASK DATA SHEET****TDS****FORM: 11**

20-00-00

Item Description
STANDARD PRACTICES - AIRFRAME**Task**

Task Number	20-00-00-001
Task Type	General Visual Inspection (GVI)
Task Description	Inspeccionar antes de e depois de voo.

Interval Info

Sources of Information	Manufacturer's tests and technical analysis
	Manufacturer's data and/or vendor recommendations
	Customer requirements
	Service experience gained with comparable or identical components and subsystems
	'Best engineering estimates'
Interval Comments	
Interval	1 Cyc

Zonal

ZIP Candidate	No
Zone	
ZIP Task Number	

Other

Remarks	
Access	
Ground Support	
Procedure	

Analyst: Paula Gonçalves
Força Aerea Portuguesa**Working Group:****ISC Approval:****Revision:****Date:**
28-Jan-2016**Page:**
171 of 205

	MSG-3 SYSTEMS & POWERPLANT ANALYSIS (REVISION 2011.1)	
	LIST OF EFFECTIVE PAGES	
FORM: LEP	ATA NO. 34-00-00	Item Description NAVIGATION

Task	
Task Number	20-00-00-002
Task Type	General Visual Inspection (GVI)
Task Description	Inspeccionar a estrutura para identificação de danos estruturais.
Interval Info	
Sources of Information	Manufacturer's tests and technical analysis
	Manufacturer's data and/or vendor recommendations
	Customer requirements
	Service experience gained with comparable or identical components and subsystems
	'Best engineering estimates'
Interval Comments	
Interval	1 Wk
Zonal	
ZIP Candidate	No
Zone	
ZIP Task Number	
Other	
Remarks	
Access	
Ground Support	
Procedure	

Analyst: Paula Gonçalves Força Aerea Portuguesa	Working Group:	ISC Approval:	Revision:	Date: 28-Jan-2016	Page: 172 of 205
---	-----------------------	----------------------	------------------	-----------------------------	----------------------------

**MSG-3 SYSTEMS & POWERPLANT ANALYSIS (REVISION 2011.1)****LIST OF EFFECTIVE PAGES****LEP****FORM: LEP**ATA NO.
34-00-00Item Description
NAVIGATION

Page	Description	Working Group	Date	Revision
1	List of Effective Pages			
2	Form 0 - MSI Selection Questions			
3	Form 2 - Maintainability/Reliability Data			
4	Form 10 - Tasks Summary			
5	Form 11 - Task Data Sheet (Task: 34-60-00-002)			
6	Form 11 - Task Data Sheet (Task: 34-60-00-003)			
7	Form 11 - Task Data Sheet (Task: 34-41-00-002)			
8	Form 11 - Task Data Sheet (Task: 34-41-00-003)			
9	Form 11 - Task Data Sheet (Task: 34-51-00-003)			
10	Form 11 - Task Data Sheet (Task: 34-51-00-004)			
11	Form 11 - Task Data Sheet (Task: 34-52-00-002)			
12	Form 11 - Task Data Sheet (Task: 34-52-00-003)			

Analyst: Paula Gonçalves Força Aerea Portuguesa	Working Group:	ISC Approval:	Revision:	Date: 28-Jan-2016	Page: 173 of 205
---	-----------------------	----------------------	------------------	-----------------------------	----------------------------



MSG-3 SYSTEMS & POWERPLANT ANALYSIS (REVISION 2011.1)

MAINTENANCE SIGNIFICANT ITEM SELECTION (MSI)

MSI

FORM: 0

ATA NO.
34-00-00

Item Description
NAVIGATION

Component Number	Part Number Manufacturer/ Supplier	Description	Could failure be undetectable or not likely to be detected by the operating crew during normal duties?	Could failure affect safety on ground or in flight?	Could failure have a significant operational impact?	Could failure have a significant economic impact?	MSI?	Highest Manageable MSI Level	Remarks
------------------	--	-------------	--	---	--	---	------	------------------------------	---------

34-00-00		NAVIGATION	Yes	Yes	Yes	No	Yes	34-00-00	
34-40-00		Independent Position Determining	No	No	Yes	No	Yes	34-00-00	
34-50-00		Dependent Position Determining	No	Yes	Yes	No	Yes	34-00-00	
34-60-00		Flight Management Computing_ Computational board	Yes	Yes	No	No	Yes	34-00-00	

Analyst: Paula Gonçalves
Força Aerea Portuguesa

Working Group:

ISC Approval:

Revision:

Date:
20-Mar-2014

Page:
174 of 205

**MSG-3 SYSTEMS & POWERPLANT ANALYSIS (REVISION 2011.1)****COMPONENT - MAINTAINABILITY AND RELIABILITY DATA****MRD****FORM: 2**MSI NO.
34-00-00Item Description
NAVIGATION

Component Number	Description	Qty	Supplier	Part Number Manufacturer/ Supplier	Similar To	Historical MTBF/ MTBUR	Predicted MTBF/ MTBUR	MMEL
34-00-00	NAVIGATION					- / -	- / -	
34-40-00	Independent Position Determining					- / -	- / -	
34-50-00	Dependent Position Determining					- / -	- / -	
34-60-00	Flight Management Computing_ Computational board	1				- / -	262489 / -	

References:

Analyst: Paula Gonçalves Força Aerea Portuguesa	Working Group:	ISC Approval:	Revision:	Date: 20-Mar-2014	Page: 175 of 205
---	-----------------------	----------------------	------------------	-----------------------------	----------------------------

**MSG-3 SYSTEMS & POWERPLANT ANALYSIS (REVISION 2011.1)****MAINTENANCE TASK SUMMARY****MTS****FORM: 10**

34-00-00

Item Description
NAVIGATION

TASK NUMBER	TASK TYPE	TASK DESCRIPTION	INTERVAL	F-FF-FE-FC	FEC	ZONE	ACCESS	REMARKS/ EFFECTIVITY
346000-002	SVC	Inspeccionar contactos.	1 Cyc	3A2a	5			
346000-003	GVI	Inspeccionar contactos e ligações ao piccolo.	1 Wk	3A1a	5			
344100-002	GVI	Inspeccionar contactos.	1 Mon	1A1a	6			
344100-003	FNC	realizar teste funcional antes da utilização.	1 Day	1A1a	6			
345100-003	GVI	Inspeccionar as ligações dos cabos ao piccolo.	1 Day	2A1a	5			
345100-004	FNC	realizar teste funcional.	1 Day	2A1a	5			
345200-002	GVI	Inspeccionar contactos e ligações ao piccolo.	1 Wk	1A1a	6			
345200-003	FNC	Realizar checklist readiness e configuração da plataforma.	1 Wk	1A1a	6			

Analyst: Paula Gonçalves
Força Aerea Portuguesa**Working Group:****ISC Approval:****Revision:****Date:**
20-Mar-2014**Page:**
176 of 205

**MSG-3 SYSTEMS & POWERPLANT ANALYSIS (REVISION 2011.1)****TASK DATA SHEET****TDS****FORM: 11**

34-00-00

Item Description
NAVIGATION**Task****Task Number**

34-60-00-002

Task Type

Servicing (SVC)

Task Description

Inspeccionar contactos.

Interval Info**Sources of Information**

Manufacturer's tests and technical analysis

Manufacturer's data and/or vendor recommendations

Customer requirements

Service experience gained with comparable or identical components and subsystems

'Best engineering estimates'

Interval Comments**Interval**

1 Cyc

Zonal**ZIP Candidate**

N/A

Zone**ZIP Task Number****Other****Remarks****Access****Ground Support****Procedure****Analyst:** Paula Gonçalves
Força Aerea Portuguesa**Working Group:****ISC Approval:****Revision:****Date:**
20-Mar-2014**Page:**
177 of 205

**MSG-3 SYSTEMS & POWERPLANT ANALYSIS (REVISION 2011.1)****TASK DATA SHEET****TDS****FORM: 11**

34-00-00

Item Description
NAVIGATION**Task****Task Number**

34-60-00-003

Task Type

General Visual Inspection (GVI)

Task Description

Inspeccionar contactos e ligações ao piccolo.

Interval Info**Sources of Information**

Manufacturer's tests and technical analysis

Manufacturer's data and/or vendor recommendations

Customer requirements

Service experience gained with comparable or identical components and subsystems

'Best engineering estimates'

Interval Comments**Interval**

1 Wk

Zonal**ZIP Candidate**

No

Zone**ZIP Task Number****Other****Remarks****Access****Ground Support****Procedure****Analyst:** Paula Gonçalves
Força Aerea Portuguesa**Working Group:****ISC Approval:****Revision:****Date:**
20-Mar-2014**Page:**
178 of 205

**MSG-3 SYSTEMS & POWERPLANT ANALYSIS (REVISION 2011.1)****TASK DATA SHEET****TDS****FORM: 11**

34-00-00

Item Description
NAVIGATION**Task****Task Number**

34-41-00-002

Task Type

General Visual Inspection (GVI)

Task Description

Inspeccionar contactos.

Interval Info**Sources of Information**

Manufacturer's tests and technical analysis

Manufacturer's data and/or vendor recommendations

Customer requirements

Service experience gained with comparable or identical components and subsystems

'Best engineering estimates'

Interval Comments**Interval**

1 Mon

Zonal**ZIP Candidate**

No

Zone**ZIP Task Number****Other****Remarks****Access****Ground Support****Procedure****Analyst:** Paula Gonçalves
Força Aerea Portuguesa**Working Group:****ISC Approval:****Revision:****Date:**
20-Mar-2014**Page:**
179 of 205

**MSG-3 SYSTEMS & POWERPLANT ANALYSIS (REVISION 2011.1)****TASK DATA SHEET****TDS****FORM: 11**

34-00-00

Item Description
NAVIGATION**Task****Task Number**

34-41-00-003

Task Type

Functional Check (FNC)

Task Description

realizar teste funcional antes da utilização.

Interval Info**Sources of Information**

Manufacturer's tests and technical analysis

Manufacturer's data and/or vendor recommendations

Customer requirements

Service experience gained with comparable or identical components and subsystems

'Best engineering estimates'

Interval Comments**Interval**

1 Day

Zonal**ZIP Candidate**

N/A

Zone**ZIP Task Number****Other****Remarks****Access****Ground Support****Procedure****Analyst:** Paula Gonçalves
Força Aerea Portuguesa**Working Group:****ISC Approval:****Revision:****Date:**
20-Mar-2014**Page:**
180 of 205

**MSG-3 SYSTEMS & POWERPLANT ANALYSIS (REVISION 2011.1)****TASK DATA SHEET****TDS****FORM: 11**

34-00-00

Item Description
NAVIGATION**Task****Task Number**

34-51-00-003

Task Type

General Visual Inspection (GVI)

Task Description

Inspeccionar as ligações dos cabos ao piccolo.

Interval Info**Sources of Information**

Manufacturer's tests and technical analysis

Manufacturer's data and/or vendor recommendations

Customer requirements

Service experience gained with comparable or identical components and subsystems

'Best engineering estimates'

Interval Comments**Interval**

1 Day

Zonal**ZIP Candidate**

No

Zone**ZIP Task Number****Other****Remarks****Access****Ground Support****Procedure****Analyst:** Paula Gonçalves
Força Aerea Portuguesa**Working Group:****ISC Approval:****Revision:****Date:**
20-Mar-2014**Page:**
181 of 205

**MSG-3 SYSTEMS & POWERPLANT ANALYSIS (REVISION 2011.1)****TASK DATA SHEET****TDS****FORM: 11**

34-00-00

Item Description
NAVIGATION**Task****Task Number**

34-51-00-004

Task Type

Functional Check (FNC)

Task Description

realizar teste funcional.

Interval Info**Sources of Information**

Manufacturer's tests and technical analysis

Manufacturer's data and/or vendor recommendations

Customer requirements

Service experience gained with comparable or identical components and subsystems

'Best engineering estimates'

Interval Comments**Interval**

1 Day

Zonal**ZIP Candidate**

N/A

Zone**ZIP Task Number****Other****Remarks****Access****Ground Support****Procedure****Analyst:** Paula Gonçalves
Força Aerea Portuguesa**Working Group:****ISC Approval:****Revision:****Date:**
20-Mar-2014**Page:**
182 of 205

**MSG-3 SYSTEMS & POWERPLANT ANALYSIS (REVISION 2011.1)****TASK DATA SHEET****TDS****FORM: 11**

34-00-00

Item Description
NAVIGATION**Task****Task Number**

34-52-00-002

Task Type

General Visual Inspection (GVI)

Task Description

Inspeccionar contactos e ligações ao piccolo.

Interval Info**Sources of Information**

Manufacturer's tests and technical analysis

Manufacturer's data and/or vendor recommendations

Customer requirements

Service experience gained with comparable or identical components and subsystems

'Best engineering estimates'

Interval Comments**Interval**

1 Wk

Zonal**ZIP Candidate**

No

Zone**ZIP Task Number****Other****Remarks****Access****Ground Support****Procedure****Analyst:** Paula Gonçalves
Força Aerea Portuguesa**Working Group:****ISC Approval:****Revision:****Date:**
20-Mar-2014**Page:**
183 of 205

**MSG-3 SYSTEMS & POWERPLANT ANALYSIS (REVISION 2011.1)****TASK DATA SHEET****TDS****FORM: 11**

34-00-00

Item Description
NAVIGATION**Task****Task Number**

34-52-00-003

Task Type

Functional Check (FNC)

Task Description

Realizar checklist readiness e configuração da plataforma.

Interval Info**Sources of Information**

Manufacturer's tests and technical analysis

Manufacturer's data and/or vendor recommendations

Customer requirements

Service experience gained with comparable or identical components and subsystems

'Best engineering estimates'

Interval Comments**Interval**

1 Wk

Zonal**ZIP Candidate**

N/A

Zone**ZIP Task Number****Analyst:** Paula Gonçalves
Força Aerea Portuguesa**Working Group:****ISC Approval:****Revision:****Date:**
20-Mar-2014**Page:**
184 of 205