

**Aplicação do Conceito Maintenance Steering Group 3
(MSG-3) às Aeronaves da Aviação Geral para Otimização
da Manutenção da Frota**

Pedro Daniel Gomes Ribeiro da Silva Teixeira

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica

Orientador: Prof. Virgínia Isabel Monteiro Nabais Infante

Júri

Presidente: Prof. Luis Filipe Galrão dos Reis

Orientador: Prof. Virgínia Isabel Monteiro Nabais Infante

Vogal: Prof. Paulo Miguel Nogueira Peças

Julho 2022

“Sorte é o que acontece quando a preparação encontra a oportunidade.”

Séneca

Agradecimentos

À Professora Virgínia Infante pela disponibilidade e por ter acreditado que este trabalho era possível apoiando-me sempre na sua realização.

Aos meus amigos João Correia, Miguel Frade Correia e Gonçalo Albuquerque que tanto apoio e força me deram ao longo da minha carreira no IST.

À minha amiga Ana Mafalda Fernandes que ao longo dos meus anos de técnico foi um apoio constante e uma companhia fantástica.

Ao meu colega e amigo Tiago Martins que tantas vezes facilitou a minha vida profissional tornando esta aventura possível.

Ao Engenheiro Paulo de Santamaría Gouveia pela amizade, mentoria na aviação e pelo exemplo de profissional que aspiro ser.

Existe ainda um grupo, que por virtudes da vida é ainda mais restrito nos meus agradecimento:

Aos meus pais pelo amor incondicional e por terem feito com que tudo fosse possível.

À minha esposa Helena que é a verdadeira heroína nesta história. Sempre foi a minha consciência, confidente e companheira ao longo destes 20 anos de trajeto académico e sempre me deu força mesmo quando tudo parecia não ter solução.

Às minhas filhas Madalena e Inês que são a verdadeira razão de todos os esforços e que fazem tudo valer a pena.

A vocês todos dedico este meu trabalho

Resumo

O presente estudo tem como finalidade estudar a aplicação dos conceitos da Filosofia de manutenção *Maintenance Steering Group-3* (MSG-3) às aeronaves de Aviação Geral a operar numa escola de aviação.

O mundo da aviação continua a precisar de pilotos a um ritmo elevado e como tal, a atividade das escolas de aviação está numa fase crescente, apesar da pandemia que se instalou nos últimos anos. O treino prático destes pilotos é realizado em aeronaves da categoria European Light Aircraft-2 (ELA-2), consideradas aviação geral, simples e bastante manobráveis que, devido à sua idade, carecem de manuais atualizados e de conceitos que promovam a eficiência na realização da manutenção uma vez que as tarefas de manutenção presentes nos manuais preveem uma utilização muito inferior à que as aeronaves operam neste ambiente.

O trabalho iniciou-se verificando o atual enquadramento dos programas de manutenção em uso. Para tal, foi feito o levantamento e categorização de todos os defeitos reportados durante o período em estudo (Outubro 2019 a Janeiro de 2022) numa frota composta por 7 aeronaves Cessna 152/172. Foi então verificado um desajuste dos programas de manutenção atuais à frota em estudo, uma vez que a média móvel a 3 meses de falhas apresentada por capítulo ATA está muitas vezes acima do nível de alerta definido pela média das falhas por 100H de voo mais duas vezes o desvio padrão.

Estes resultados demonstram que tanto as tarefas de manutenção, preconizadas pelos fabricantes, como a sua periodicidade estão desajustadas da operação em que estas aeronaves se inserem. Sendo de extrema importância a disponibilidade das aeronaves, verificou-se ser necessário o ajuste do Programa de Manutenção.

Para tal foram seguidos os passos na documentação criada pela *Air Transport Association* (ATA) ao abrigo do MSG-3, pondo em prática a implementação de métodos que poderão reduzir o tempo de paragem das aeronaves e ao mesmo tempo reduzir o número de falhas através de inspeções dedicadas a diversos sistemas.

Após realizar a aplicação do método sugerido pelo MSG-3, compilaram-se Programas de Manutenção mais adequados à realidade da operação, que consiste na realização de 1000 H anuais. Foi então verificado o tempo de realização do novo programa de manutenção ao longo de um ano e comparado com o tempo atual bem como feito o estudo dos custos associados a esta mudança no Programa de Manutenção.

Com a implementação dos novos Programas de Manutenção foram obtidos valores que apontam para um aumento da fiabilidade operacional bem como uma redução de 23% na

duração das tarefas de manutenção programada o que equivale a uma disponibilidade de mais 59,5 dias anuais disponíveis para a frota em estudo. Tendo em conta os valores de mão de obra praticados à data do estudo, foi possível concluir que a redução de horas despendidas em manutenção programadas, significa uma redução de 6800€ anuais, por aeronave, em custos diretos.

Palavras Chave

- Filosofia de Manutenção MSG-3
- Aviação Geral
- Fiabilidade
- Programa de Manutenção
- Manutenção Preventiva

Abstract

The present study aims to study the application of the concepts of the Maintenance Steering Group-3 (MSG-3) maintenance philosophy to General Aviation aircraft operating in an aviation school.

The aviation world continues to need pilots at a high rate and as such, the activity of aviation schools is in a growing phase, despite the pandemic that has settled in recent years. The practical training of these pilots is carried out in aircraft of the European Light Aircraft-2 (ELA-2) category, considered general aviation, simple and quite manoeuvrable, which, due to their age, lack up-to-date manuals and concepts that promote efficiency in carrying out of maintenance since the maintenance tasks present in the manuals foresee a use much lower than the one that the aircrafts operate in this environment.

The work began by verifying the current framework of the maintenance programs in use. To this end, a survey and categorization of all defects reported during the period under study (October 2019 to January 2022) was carried out in a fleet composed of 7 Cessna 152/172 aircraft. It was then verified a mismatch of the current maintenance programs to the fleet under study, since the 3-month moving average of failures presented by ATA chapter is many times above the alert level defined by the average of failures per 100H of flight twice more the standard deviation.

These results demonstrate that both the maintenance tasks, recommended by the manufacturers, and their periodicity are out of step with the operation in which these aircraft are inserted. As the availability of aircraft is extremely important, it was found necessary to adjust the Maintenance Program.

To this end, the steps in the documentation created by the Air Transport Association (ATA) under MSG-3 were followed, putting into practice the implementation of methods that could reduce aircraft downtime and at the same time reduce the number of failures through inspections dedicated to various systems.

After carrying out the application of the method suggested by MSG-3, Maintenance Programs were compiled more suited to the reality of the operation, which consists of carrying out 1000 H per year. The time of completion of the new maintenance program was then verified over a year and compared with the current time as well as the study of the costs associated with this change in the Maintenance Program.

With the implementation of the new Maintenance Programs, values were obtained that point to an increase in operational reliability as well as a 23% reduction in the duration of scheduled maintenance tasks, which is equivalent to an availability of over 59.5 annual days available for

the fleet. In study. Taking into account the labor values practiced at the time of the study, it was possible to conclude that the reduction of hours spent on scheduled maintenance means a reduction of €6800 per year, per aircraft, in direct costs.

Keywords

- Maintenance Philosophy MSG-3
- General Aviation
- Reliability
- Maintenance Program
- Preventive Maintenance

Índice

Índice	vi
Lista de Figuras.....	viii
Lista de Tabelas.....	ix
Nomenclatura.....	x
1 Introdução.....	1
1.1 Formulação do Problema.....	4
1.2 Objetivos	7
1.3 Metodologia	7
1.4 Estrutura da Dissertação	8
2 Contextualização.....	10
2.1 Filosofias de Manutenção	13
2.1.1 A filosofia MSG	14
2.1.1.1 Definição dos processos (HT, OC e CM)	15
2.1.2 Método e Conceito MSG-3.....	17
2.1.2.1 Procedimento para realização de uma análise ao abrigo do MSG-3	21
2.2 Definição dos capítulos ATA	24
3 Apresentação de Resultados	26
3.1 Definição do caso de Estudo	26
3.2 Falhas Reportadas	27
3.3 Níveis de alerta das falhas.....	33
4 Realização do Processo MSG-3	39
4.1 Passagem da informação para capítulos ATA	39
4.2 Levantamento e Identificação dos MSI	43
4.3 Análise do MSI sujeitos a estudo	45
4.4 Decisão do tipo de tarefa Preventiva	46
4.5 Definição da Periodicidade das tarefas.....	47
4.5.1 Tempo de Realização dos vários Pacotes de Manutenção.	49
4.6 Programa de manutenção após aplicação de filosofia MSG-3.....	50

5	Conclusões.....	51
5.1	Impacto ao nível da fiabilidade de operação	51
5.2	Impacto ao nível da disponibilidade	51
5.3	Impacto económico direto.....	53
5.4	Sugestões de trabalho futuro.....	54
6	Referencias Bibliográficas	55
Anexo.	I	57
Anexo.	II	59

Lista de Figuras

Figura 1-1 - Gráfico Procura vs. Oferta entre os anos 2000 e 2019.....	1
Figura 1-2 - Evolução da procura por cursos de aviação [3].....	2
Figura 1-3 - Cessna 152.....	3
Figura 1-4 - Pormenor de protocolo de inspeção Cessna 152 [6].....	6
Figura 2-1 – Esquematização da deterioração geral de sistemas adaptado de [12]	10
Figura 2-2 - Deterioração de um sistema para além da linha crítica adaptado [12].....	11
Figura 2-3 - Diagrama da lógica do processo MSG-2 adaptado de [12] e [16].....	15
Figura 2-4 - Diagrama de Lógica do processo MSG-3 [12] e [16]	18
Figura 2-5 - Diagramas para seleção do tipo de tarefas a realizar [12] e [16]	19
Figura 3-1 - Excerto de tabela de classificação das falhas	28
Figura 3-2 - Ação de Reporte (PIREP / MAREP).....	29
Figura 3-3 - Falhas por Grupo de Capítulos ATA.....	30
Figura 3-4 - Classificação de Falhas	31
Figura 3-5 - Ação de Resolução de Falhas.....	32
Figura 3-6 - Distribuição de Falhas do capítulo ATA 21.....	35
Figura 3-7 - Distribuição de Falhas dos capítulos ATA 22/27	35
Figura 3-8 - Distribuição de Falhas dos capítulos ATA 23/31	36
Figura 3-9 - Distribuição de Falhas dos capítulos ATA 24/33	36
Figura 3-10 - Distribuição de Falhas dos capítulos ATA 25/26	36
Figura 3-11 - - Distribuição de Falhas do capítulo ATA 28.....	37
Figura 3-12 - Distribuição de Falhas do capítulo ATA 32.....	37
Figura 3-13 - - Distribuição de Falhas do capítulo ATA 34.....	37
Figura 3-14 - Distribuição de Falhas dos capítulos ATA 5X	38
Figura 3-15 - Distribuição de Falhas dos capítulos ATA 61 / 7X / 80	38
Figura 4-1 - Excerto do IPC Cessna 152 [19]	40
Figura 4-2 – Excerto da tabela de separação do estudo em Capítulos ATA e Sub-ATA.....	43
Figura 4-3 – Excerto da tabela de seleção e identificação dos MSI sujeito a análise.....	44
Figura 4-4 - Matriz de Impacto de Segurança [20].....	46
Figura 4-5 - Excerto de Tabela de Análise dos MSI sujeitos a estudo	46
Figura 4-6 - Excerto da Tabela de Identificação do tipo de tarefa preventiva.....	47
Figura 4-7 - Excerto de Tabela utilizada para Definição da Periodicidade das Tarefas	47
Figura 4-8 - Excerto de Programa de Manutenção Cessna 152 / 172	50

Lista de Tabelas

Tabela 1-1 - Estrutura de Parte Prática de um curso de ATPL em horas de Voo [dados cedidos sob anonimato].....	2
Tabela 1-2 - Cancelamento de Voos [Dados cedidos sob anonimato].....	5
Tabela 2-1 - Tipos e Padrões de Probabilidade de Falha [14]	12
Tabela 2-2 - Aplicabilidade e Definição dos vários tipos de tarefas	20
Tabela 2-3 - Definição dos capítulos ATA.....	24
Tabela 3-1 - Frota de Escola de Aviação em estudo [Dados cedidos sob anonimato].....	26
Tabela 3-2 - Conjuntos de Capítulos ATA	29
Tabela 3-3 - Distribuição do tipo de falhas pelos vários grupos de capítulos ATA	31
Tabela 3-4 – Distribuição da Ação de resolução de falhas por grupo de capítulos ATA	33
Tabela 3-5 - Total de Horas de operação durante o período de estudo [Dados cedidos sob anonimato]	33
Tabela 3-6 - Falhas Contabilizadas Out-19 a Nov-20 [Dados cedidos sob anonimato].....	34
Tabela 3-7 - Falhas Contabilizadas Dez-20 a Jan-22 [Dados cedidos sob anonimato].....	34
Tabela 4-1 - Associação de Figuras Cessna a Capítulos ATA.....	40
Tabela 4-2 - MSI eliminados do estudo MSG-3	43
Tabela 4-3 - Esquema de realização dos Pacotes de Manutenção Principais	48
Tabela 4-4 - Duração de cada um dos pacotes de manutenção.....	49
Tabela 4-5 - Duração dos pacotes de manutenção atuais.....	50
Tabela 5-1 - Tempo ocupado em manutenção programada num ciclo de 1000H de operação	52

Nomenclatura

VFR	Visual Flight Rules
IFR	Instrument Flight Rules
SPIC	Single Pilot in Command
ME	Multi Engine
NT	Night Training
MCC	Multi Crew Coordination
PF	Pilot Flying
PM	Pilot Monitoring
ICAO	International Civil Aviation Organization
GA	General Aviation
TC	Type Certificate
FAA	Federal Aviation Administration
CPCP	Corrosion Prevention Corrosion Protection
SID	Supplemental Inspection Documents
PMA	Programa de Manutenção de Aeronaves
ATA	Air Transport Association
Pcond	Probabilidade Condicional
HT	Hard Time
OC	On Condition
CM	Condition Monitoring
MSG	Maintenance Steering Group
IWG	Industry Working Groups
BITE	Built In Test Equipment
GVI	General Visual Inspection
DET	Detailed Visual Inspection
SDI	Special Detailed Inspection
OVH	Overhaul
MSI	Major Significant Items
PIREP	Pilot Report
MAREP	Maintenance Report
IPC	Illustrated Parts Catalog
EGT	Exhaust Gas Temperature
CHT	Cylinder Head Temperature
AOG	Aircraft On Ground
PFLT	Pre Flight

1 Introdução

Fruto de uma procura crescente nos anos anteriores à pandemia, e expectavelmente em recuperação até ao ano de 2023, as empresas relacionadas com a aviação beneficiaram de um crescimento constante e sustentado. Não obstante a procura crescente, a competitividade agressiva e a constante necessidade de se adaptarem às exigências dos passageiros, levam a que as empresas sejam constantemente postas à prova, sendo obrigadas a arranjar estratégias que lhes permitam ser mais eficientes e reduzir custos.

Se verificarmos o crescimento da aviação mundialmente nos últimos anos até 2019, vemos que, salvo alguns patamares de estabilização, a procura foi crescente e que, um grande desafio hoje em dia é lidar com a falta de pessoal especializado tanto nas áreas administrativas como de operações e manutenção. Um estudo realizado pela consultora *KEARNEY* [1] permite traçar o gráfico apresentado na Figura 1-1 onde se ilustra a evolução da procura na aviação, tendo em conta a procura e a oferta, verificando-se um decréscimo de lucro/passageiro na generalidade do sector:

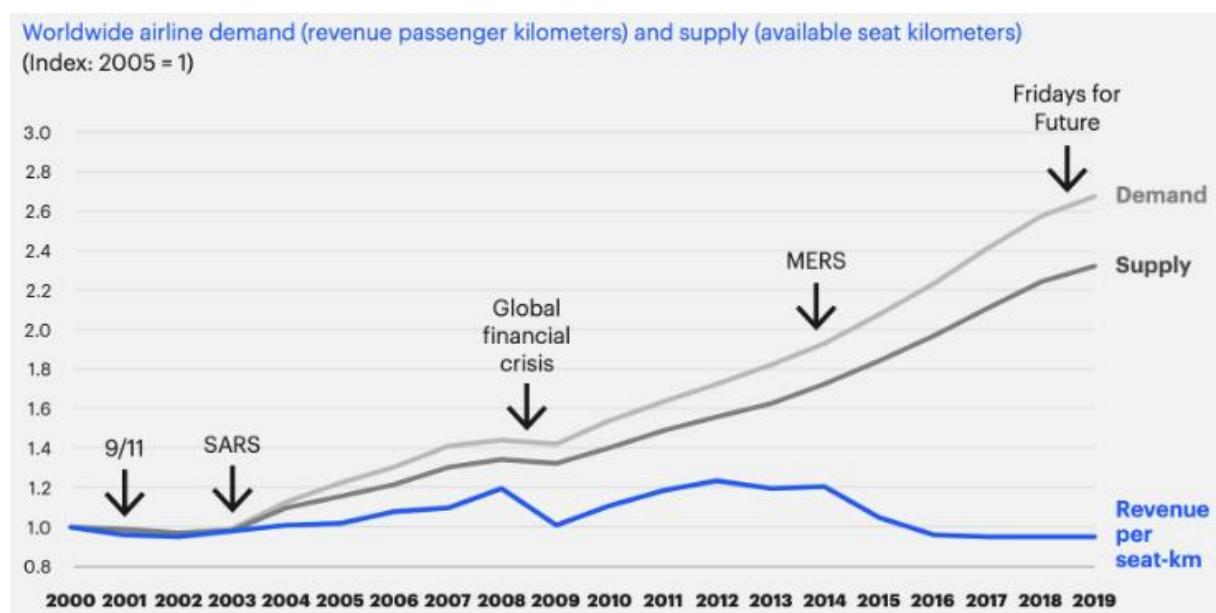


Figura 1-1 - Gráfico Procura vs. Oferta entre os anos 2000 e 2019

Conforme referido, a oferta de pessoal especializado no sector da aviação, é uma questão que urge ser resolvida e como tal tem proliferado a criação de organizações dedicadas ao treino de tais profissionais. Um dos casos de necessidade mais urgente a resolver é a falta de tripulantes de voo (Pilotos e Copilotos) que, apesar da situação pandémica e de uma temporada de menor procura, voltam a ser dos profissionais mais em falta na aviação. Estima-se que sejam necessários cerca de 14500 pilotos por ano até 2030 para suprimir a falta profissionais [2]-

De acordo com um estudo realizado pela FlightLogger [3], uma empresa especializada no fornecimento de soluções para escolas de aviação, a atividade das escolas de aviação continua em crescendo apesar da situação pandémica. A evolução da procura pode ser verificada no gráfico demonstrado na Figura 1-2.

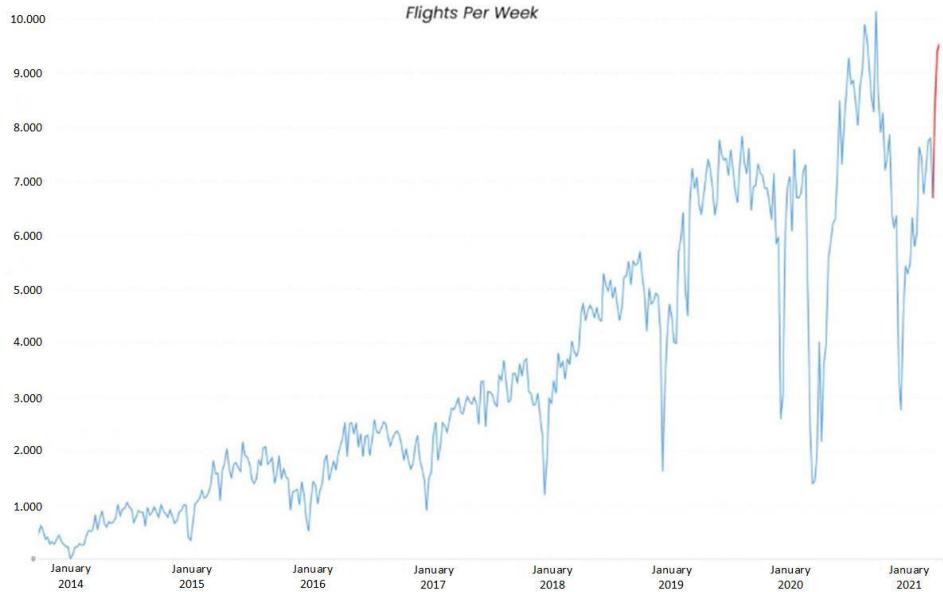


Figura 1-2 - Evolução da procura por cursos de aviação [3]

A formação destes pilotos é ainda hoje realizada com recurso a aeronaves classificadas como de aviação geral, pertencentes à categoria ELA2 (*European Light Aircraft - 2*) [4], ou seja, com um peso até 2000kg. O percurso de formação é composto por diferentes graus de complexidade e equipamento, começando nas aeronaves mais simples e manobráveis, até chegar a aeronaves de maior complexidade.

De acordo com dados recolhidos junto de uma escola de aviação, desde o início até ao término da sua formação, um piloto requer uma formação teórica de aproximadamente 840H e uma formação prática em ambiente de avião de 310H de voo. Fruto da procura crescente por formação na área, as escolas de aviação são obrigadas, mais do que nunca, a reforçar as suas frotas, a tornar as suas operações eficientes e a maximizar a taxa de operação das aeronaves envolvidas nas várias fases do curso. A Tabela 1-1 mostra a título de exemplo o número de horas de formação prática em voo por aluno.

Tabela 1-1 - Estrutura de Parte Prática de um curso de ATPL em horas de Voo [dados cedidos sob anonimato]

VFR		IFR		Outras Fases				MCC	
Dual	Solo	Dual	SPIC	ME	NT	XC	PF	PM	
39:55	51:15	65:40	39:10	13:30	05:00	79:10	07:30	07:30	
Total: 309:40									

De maneira a ministrar a parte prática dos seus cursos, as escolas de aviação tendem a que as aeronaves dedicadas ao treino sejam robustas e facilmente manobráveis. Não é de estranhar que a frota de aeronaves de treino mais utilizada no mundo sejam os Cessna 152/172 [5].



Figura 1-3 - *Cessna 152*

A frota Cessna 152/172 (Figura 1-3) caracteriza-se por ser uma aeronave de asa fixa, asa alta, monomotor e completamente construída numa liga metálica (liga de alumínio 2024-T3). Estão equipadas com um trem principal fixo de estrutura tubular ou em lâmina, com capacidade de amortecimento e de um trem de nariz direcionável, com um amortecedor ar/óleo hidráulico. No interior podem ser acomodados dois ou quatro tripulantes consoante seja um Cessna 152 ou 172 respetivamente [6] [7]. Consoante o modelo exato, a aeronave pode estar equipada com um motor *Lycoming* ou *Continental* de 4 ou 6 cilindros. O sistema propulsor é composto por um hélice de passo fixo ou variável consoante o modelo em questão.

A sua baixa carga alar (peso / área das asas) permite que a aeronave seja extremamente “estável” durante a sua operação, sendo ainda possível operar em pistas curtas e não pavimentadas.

Apesar de consideráveis melhorias na qualidade e fiabilidade de componentes e sistemas, bem como de materiais e procedimentos ao longo de 100 anos de aviação, mesmo os modelos de aeronaves atuais, por mais robustos e fiáveis que sejam, necessitam de cuidados associados de maneira a preservar as suas características.

Uma vez que, por mais cuidado e acompanhamento que as aeronaves tenham, existem componentes e sistemas a degradarem-se a diferentes taxas, é essencial que os fabricantes

e operadores tenham em atenção as características específicas de cada item e realizarem um programa de manutenção associado à aeronave que satisfaça essas especificidades.

1.1 Formulação do Problema

Desde que a *International Civil Aviation Organization* (ICAO) definiu a Aviação Geral (GA) como toda a operação de aviação civil para além de serviços aéreos programados ou serviços aéreos não programados para remuneração ou aluguer [8], que esta aviação tem sido conotada com voos de lazer em aeronaves pequenas e operadas desde pequenos aeroportos [9]. Sendo que a ICAO inscreve no conceito de GA as atividades classificadas como voos de instrução, voos privados, voos de lazer ou voos de trabalho aéreo (Agricultura, Fotografia, Patrulhamento, etc.), evidencia-se que esta aviação representa um total de cerca de 30 milhões de horas anuais voadas, distribuídas por aproximadamente 370.000 aeronaves e 1.300.000 de profissionais, números consideráveis que fazem esta aviação merecedora de estudo [9].

Apesar da sua expressão na aviação mundial, a GA ainda assenta a sua operação em aeronaves antigas, em que para muitas delas já não existe detentor de Certificado Tipo (TC) ou, em que os modelos que ainda têm um detentor de TC, são antigos, com pouca expressão para o seu fabricante e, por isso, carecem de atualização de manuais e metodologias de manutenção apropriadas e ajustadas ao tipo de operação que exercem.

No caso em concreto, esta tese baseia-se no estudo da frota Cessna 152/172 de uma escola de aviação, composta por 7 aeronaves, que têm como objetivo operar 1000H por ano.

Verifica-se de imediato através dos protocolos de manutenção presentes na documentação técnica do fabricante que os manuais e as respetivas tarefas de manutenção, foram pensados para aeronaves de uso particular que operam, de um modo geral, cerca de 100H por ano. Este conceito está visível na periodicidade dos pacotes de manutenção, onde é indicado a necessidade de manutenção ao fim de 100H de operação ou anualmente. Apesar de em alguns casos, o fabricante permitir um diferente tipo de manutenção, chamada manutenção progressiva, que alarga os potenciais até um intervalo de 200H de operação, esta abordagem continua a ser insuficiente para a otimização de horas voadas por uma escola de aviação.

De acordo com os dados recolhidos, verificou-se que no período de estudo (entre Outubro de 2019 e Janeiro de 2022), a frota em causa previa ser operada um total de 14280H tendo sido operada apenas 40% do tempo previsto, o que evidencia uma eficiência bastante baixa de operação que resulta de voos cancelados e não marcados. Dos voos cancelados estima-se que 753h tenham sido devido a ineficiências de manutenção o que se traduz numa redução

de disponibilidade total em cerca de 5%, sendo que corresponde a 10% dos cancelamentos de voos.

O resumo dos regtos de operações pode ser encontrado na Tabela 1-2:

Tabela 1-2 - Cancelamento de Voos [Dados cedidos sob anonimato]

Razão para Cancelamento	Número de Cancelamentos	Horas Planeadas Canceladas	Observações
Atrasos de Manutenção	554	752:35	Voos cancelados devido a atrasos na manutenção
Falhas técnicas em Operação	565	617:55	Voos cancelados devido a falhas técnicas (AOG)
Motivos Operacionais	3387	4426:10	Meteorologia, controlo de tráfego aéreo, tripulação, etc
Outros Motivos	1607	1750:50	Outras razões (alunos, administrativas, etc)
Total	6113	7547:30	

Para além dos voos cancelados mencionados acima, existe um grande volume de horas de paragem programada de aeronaves. Estas paragens constantes, refletem o desajuste da periodicidade de tarefas indicadas pelos manuais do detentor do TC.

Verifica-se também, baseado nos dados apresentados ao longo desta tese, que a menor periodicidade de realização das tarefas de manutenção não tem impacto no existência de várias falhas decorrentes da operação.

Um outro problema que se coloca é o facto de as instruções de manutenção serem demasiado genéricas, cobrindo inspeções visuais sobre a generalidade dos sistemas, deixando de lado a especificidade de cada um.

A título de exemplo, a Figura 1-4 mostra um protocolo de inspeção para uma aeronave Cessna 152 onde se consegue ver os sistemas a inspecionar sem qualquer indicação do nível de detalhe ou especificidade do tipo de inspeção a realizar:

TYPE OF INSPECTION	
(Refer to Para. 2-50)	3. PROGRESSIVE/INTERVAL HRS.
(Refer to Para. 2-49)	2. SPECIAL
(Refer to Para. 2-48)	1. 100 HR/ANNUAL
PROPELLER	
1. Spinner	● 100
2. Spinner bulkhead	● 200
3. Blades	● 100
4. Bolts and/or nuts	● 200
5. Hub	● 200

Figura 1-4 - Pormenor de protocolo de inspeção Cessna 152 [6]

Consequência da fraca qualidade das instruções resulta a falta de estandardização dos trabalhos realizados pelos técnicos, uma vez que as instruções ambíguas deixam espaço a diferentes interpretações. Esta ambiguidade reflete-se na demora adicional no cumprimento das tarefas de inspeção pois o técnico tem de se inteirar da tarefa e apenas depois a pode iniciar. Há ainda a possibilidade de algum sistema ficar deficitariamente inspecionado, levando a problemas de segurança operacional.

A frota de aeronaves em estudo foi fabricada no período compreendido entre 1968 e 1983, com manuais de manutenção desenhados de forma um pouco errática e baseada apenas na experiência. Desde o seu lançamento até aos dias de hoje, estes manuais sofreram poucas alterações, a não ser pontualmente, por força de requisitos lançados pelas autoridades. Através de diretrivas emitidas pela *Federal Aviation Administration* (FAA) [10], a Cessna é obrigada a rever os seus manuais, de maneira a contemplar o envelhecimento da sua frota. Esta inclui então capítulos com inspeções maioritariamente estruturais, tendo em conta alguns requisitos da filosofia MSG-3 e os anos da sua frota. Estes requisitos são cumpridos através do programa de prevenção e proteção da corrosão – *Corrosion Prevention Corrosion Protection* (CPCP) e, dada a alta utilização da frota inicialmente desenhada para 12000H de operação, através do programa *Supplemental Inspection Documents* (SID). [6] Esta revisão dos manuais ao invés de refletir as novas filosofias de manutenção na integra, foi realizada apenas para os casos mandatórios pelo FAA, a estrutura da aeronave, o que criou uma descompensação nos tempos e periodicidade de realização de ações de manutenção para casos de utilização intensiva.

Urge, portanto, criar uma base de trabalho que permita otimizar as paragens para manutenção das aeronaves operadas neste regime.

1.2 Objetivos

O principal objetivo desta tese passa por, através da adaptação dos programas de manutenção (PMA) existentes a filosofias de manutenção mais recentes, nomeadamente a filosofia MSG-3, otimizar a operação de uma frota de 7 aeronaves Cessna 152/172 de uma escola de aviação.

Face à dimensão que o problema pode atingir, optou-se por realizar inicialmente a observação dos trabalhos com o respetivo registo dos tempos e procedimentos de manutenção em hangar, cruzando essa informação com dados já existentes por parte da empresa de manutenção e estabelecer o tempo médio gasto em manutenção programada por aeronave.

De seguida passou-se para a verificação da hipótese em que se estudaram os sistemas das aeronaves em questão de forma teórica, e se desenhou um programa de manutenção adaptado às mais recentes filosofias de manutenção.

Optou-se nesta tese por não considerar em estudo alguns sistemas da aeronave, nomeadamente:

- Motor, uma vez que os motores podem ser mantidos através de conceitos específicos e o estudo fiabilístico seria demasiado extenso;
- Sistemas estruturais, uma vez que estes, como já referido anteriormente, foram alvos de uma revisão imposta pelo FAA e como tal já se adaptaram às novas filosofias de manutenção.

Todos os restantes sistemas foram estudados em detalhe, de forma a se perceber a vantagem da aplicabilidade dos conceitos propostos.

Numa fase posterior os pressupostos e conclusões deverão ser validados em ambiente de trabalho real, acompanhando a manutenção dos modelos em questão, de forma a validar o modelo proposto.

1.3 Metodologia

Para a realização desta tese, foi seguida uma aproximação de levantamento e enquadramento do problema em ambiente real, seguido da formulação e estudo da hipótese, tirando as conclusões possíveis da adaptação ao caso real.

Numa primeira fase, foram levantados os dados relativos a todos as avarias detetadas, compreendidos no período em estudo. Enquadrou-se o número de falhas com o número de horas operadas para verificar a adaptabilidade do conceito atual ao nível de operação da frota.

De seguida, verificaram-se as interferências que a operação das aeronaves em estudo sofreu com as paragens devido a manutenção (programada e não programada).

A hipótese foi formulada recorrendo aos métodos ilustrados na documentação da *Air Transport Association* (ATA), relativo à filosofia de manutenção MSG-3, sendo de seguida verificada a sua adequabilidade ao problema em causa e sua resolução.

Durante a realização deste trabalho, sentiram-se várias dificuldades, verificando-se que a quantidade de dados, apesar de extensa, não se encontrava organizada. Esta desorganização dos dados existentes, levou a que tivesse que ser refeito o histórico de manutenção das aeronaves em estudo, correndo o risco de alguma perda de informação. Ainda relativamente aos dados compilados, sabe-se que existem uma série de avarias que não são reportados em relatórios técnicos de bordo, mas sim comunicados à manutenção verbalmente. Por não existir qualquer registo, estas falhas não foram tidas em conta, podendo alterar os resultados obtidos. Não obstante, a solidez dos dados obtidos é suficiente para que possam ser retiradas conclusões claras e fidedignas na realização deste trabalho.

1.4 Estrutura da Dissertação

Esta tese está dividida em 6 capítulos e respetivos subcapítulos.

O primeiro capítulo é dedicado à introdução, onde se faz a definição do problema e se explanam os objetivos desta tese. É ainda neste capítulo que se refere a metodologia utilizada e a respetiva estrutura.

No capítulo 2, faz-se uma contextualização do problema, onde são descritos os vários pressupostos teóricos utilizados no desenvolvimento desta tese. É ainda feita uma descrição do caso de estudo em causa.

No capítulo 3, são apresentados todos os dados obtidos através de observação direta e de relatórios operacionais fornecidos.

É de seguida apresentado no capítulo 4 o desenho do novo PMA, tendo em conta os pressupostos teóricos descritos no capítulo 2. Neste capítulo são explicados os passos percorridos na compilação do PMA

Finalmente apresenta-se no capítulo 5 uma sumula da teoria desenvolvida e são retiradas as respetivas conclusões. Apresentam-se ainda algumas notas em relação a limitações encontradas durante o desenvolvimento dos trabalhos e algumas sugestões de continuação dos trabalhos.

No capítulo 6 são apresentadas as referências Bibliográficas que serviram de apoio ao estudo realizado.

2 Contextualização

Não foi até sensivelmente ao fim da 2^a Guerra Mundial que se tomou consciência da importância de uma manutenção cuidada nos sistemas das aeronaves. Até esta data, a manutenção era realizada de forma errática que se limitava a suprimir falhas e a fazer pequenas tarefas de serviço. Desde essa altura, foram sendo criados alguns paradigmas na manutenção de aeronaves e novas filosofias que permitiram o desenvolvimento destas ações. Numa primeira fase, optou-se por trocar periodicamente todos os componentes de uma aeronave, o que se revelou infrutífero a nível de fiabilidade e demasiado dispendioso. Foram então sucessivamente sendo melhorados os métodos de manutenção, mas apenas em 1968, através de um estudo da *American Airlines*, foi visível a dimensão do problema. [11]

De um modo simplista, pode-se comparar a realização de manutenção preventiva, ou no nosso caso a manutenção programada, com o restaurar do sistema a um estado de qualidade original [12]. Com o passar do tempo a integridade e funcionalidade da aeronave e os seus sistemas têm tendência a deteriorar-se. Quando o nível de serviço começa a decair, têm de ser realizadas ações que previnam que o nível de serviço esteja abaixo de uma linha considerada crítica, ou seja, uma linha a partir da qual a probabilidade de falha do sistema aumentará. Para prevenir que o sistema chegue a este ponto, é necessário realizar algum tipo de ação preventiva que restaure o sistema ao seu estado inicial e previna o aparecimento de falhas. Na Figura 2-1 pode-se ver graficamente o comportamento de qualquer sistema com o passar do tempo, onde existe uma deterioração natural caso não sejam realizadas tarefas que restarem o seu nível operacional:

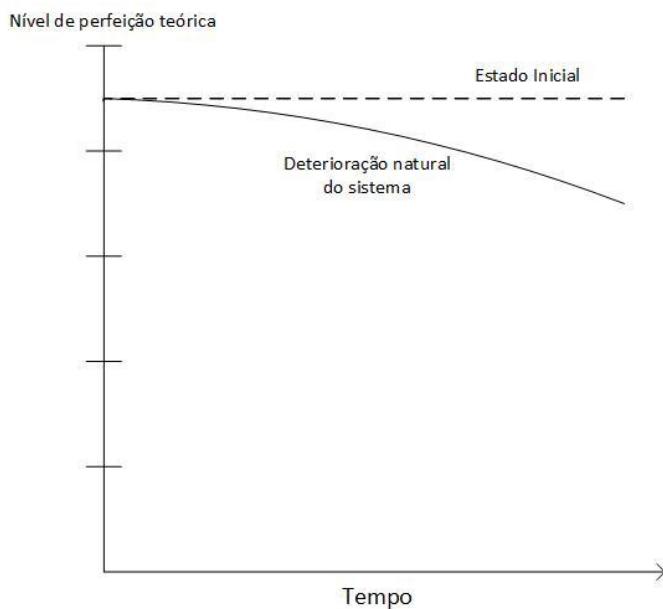


Figura 2-1 – Esquematização da deterioração geral de sistemas adaptado de [12]

Admitindo a normal utilização e apesar de se realizar a manutenção preventiva, é sempre possível que alguma falha não seja detetada e, com o avançar do tempo permite que a curva de serviço do equipamento baixe da linha crítica e surjam falhas abruptas nos sistemas. Quando estas falhas acontecem, a aeronave terá de passar por um processo de manutenção não programada onde se seguem vários métodos de deteção e correção de falhas para que a aeronave volte ao seu estado original e possa ser novamente operada.

A Figura 2-2 explana estas duas situações graficamente:

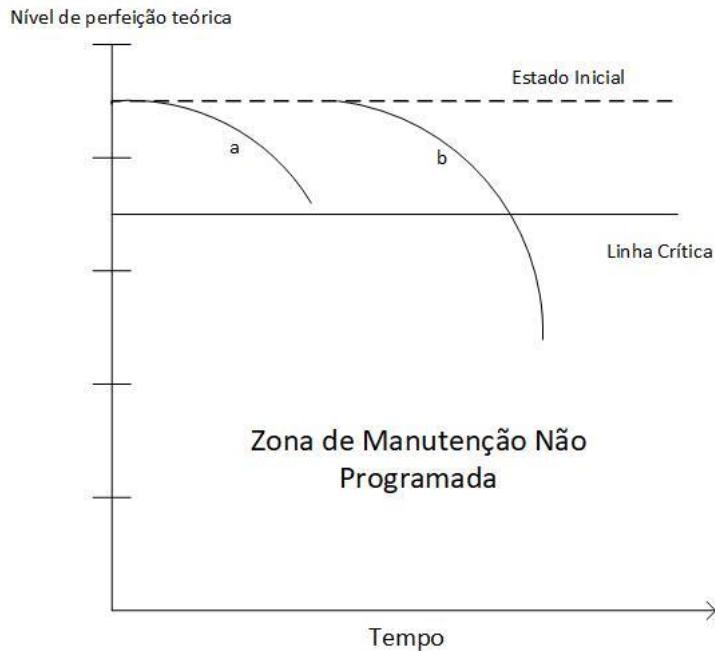


Figura 2-2 - Deterioração de um sistema para além da linha crítica adaptado [12]

Ao longo da vida da aeronave, através de estudos realizados pelos fabricantes, poderão ser instalados componentes evoluídos em relação aos originais, quer em materiais, quer em funcionalidade, que elevam a linha de serviço da aeronave para mais perto do estado teórico de perfeição. Com esta elevação da linha de serviço a periodicidade das várias tarefas de manutenção pode ser ajustada pelo detentor do TC e divulgada aos operadores através da revisão dos seus manuais de manutenção.

O problema para toda esta gestão prende-se no facto dos vários componentes e sistemas não terem níveis de fiabilidade iguais e como tal, o ponto em que a linha crítica é cruzada é exclusivo de cada um. Como dito, em 1968 a *United Airlines* [13], realizou alguns estudos concluindo que existem 6 padrões básicos para descrever a probabilidade condicional (P_{cond}) de falhas de componentes e sistemas. Estes estudos foram mais tarde verificados, em 1973 pela *BROMBERG* e em 1982 pela Marinha dos Estados Unidos [14], sendo que os padrões foram descritos como:

Tipo A – Uma constante ou gradual aumento da probabilidade de falha, seguida por uma região onde a probabilidade de falha aumenta pronunciadamente.

Tipo B – Uma alta mortalidade infantil seguida de uma constante ou lento crescimento da probabilidade de falha.

Tipo C – Baixa probabilidade de falha quando o equipamento ou sistema é novo, seguido de um aumento na probabilidade de falha que depois estabiliza.

Tipo D – Probabilidade de falha constante ao longo de toda a vida

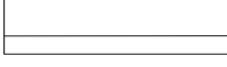
Tipo E – Caso típico conhecido como “Curva da Banheira” onde existe uma alta mortalidade infantil que vai decrescendo até se tornar constante. A probabilidade de falha volta a subir a partir de uma certa idade do equipamento.

Tipo F – Probabilidade de falha aumenta gradualmente, mas sem se conseguir definir um limite de vida.

Os padrões do tipo A e E são tipicamente associados a itens de peça única ao passo que os tipos B, C, D e F são associados a sistemas mais complexos.

Na Tabela 2-1, pode-se observar ver os vários padrões e os resultados obtidos por cada uma das entidades relativamente à probabilidade de falha de vários sistemas. Os gráficos apresentam P_{cond} no eixo vertical e o tempo no eixo horizontal, sendo que nas colunas à direita é mostrada a percentagem correspondente a cada um dos casos:

Tabela 2-1 - Tipos e Padrões de Probabilidade de Falha [14]

Tipos	Padrões	Resultados de Entidades		
		UAL	BROMBERG	US NAVY
E		4%	3%	3%
A		2%	1%	17%
F		5%	4%	3%
C		7%	11%	6%
D		14%	15%	42%
B		68%	66%	29%

Através da análise da Tabela 2-1, pode-se concluir que apenas nos tipos E, A e F, é benéfico definir um limite de vida para os componentes ou sistemas. Para os outros tipos que correspondem (dependente de cada estudo) a 77 – 92% dos casos, verifica-se que não faz sentido introduzir limites de vida aos componentes ou sistemas, mas sim realizar inspeções e ações de manutenção de acordo com a análise fiabilística de cada um.

De acordo com as novas linhas de orientação, o processo de desenho dos manuais de manutenção, foi evoluindo através de várias filosofias de manutenção. Muitos detentores de TC optaram por refletir nos seus manuais de manutenção as linhas de manutenção mais recentes para todos ou para alguns dos seus modelos, ao passo que outros optaram por seguir práticas mais empíricas e adaptadas a uma utilização específica do tipo de aeronave.

As várias filosofias de manutenção e a sua evolução são apresentadas na secção seguinte.

2.1 Filosofias de Manutenção

Os manuais de manutenção das aeronaves, são desenhados hoje em dia, com recurso a dois tipos de aproximação [15]:

- Aproximação orientada ao processo
- Aproximação orientada à tarefa

A diferença entre as duas aproximações será explicada em detalhe mais à frente, mas reside na atitude como são encaradas as ações de manutenção e na maneira como estas ações de manutenção são determinadas.

A aproximação orientada ao processo, utiliza 3 princípios que servem para determinar o tipo de manutenção e a periodicidade da mesma. Estes princípios, que se explicam em detalhe mais à frente, são o *Hard-Time* (HT), o *On Condition* (OC) e o *Condition Monitoring* (CM). Os princípios HT e OC são utilizados maioritariamente nos casos dos padrões de falha E, A e F indicado anteriormente, ao passo que os tipos C, D e B são atribuídos ao princípio CM.

Hoje em dia, os detentores do TC têm evoluído os seus manuais de manutenção para a aproximação orientada à tarefa em que se utilizam tarefas de manutenção pré-determinadas, para evitar as falhas em serviço.

De maneira a criar uma forma lógica de definição das tarefas criou-se o chamado *Maintenance Steering Group* (MSG) através de uma associação de Fabricantes, Operadores e o FAA chamada *Air Transport Association* (ATA). O objetivo deste grupo era desenhar programas de manutenção mais eficientes que pudessem ser desenvolvidos através do uso de processos de decisão lógica.

2.1.1 A filosofia MSG

Em 1968 com o lançamento do *Boeing 747*, à data o maior avião de passageiros do mundo, pode-se dizer que uma nova era da aviação começou [16]. Os aviões de longo curso tornaram-se num novo normal e com eles, um novo paradigma teve de ser criado.

A *American Airlines*, como primeira cliente deste modelo e impulsionadora do seu sucesso para o resto do Mundo, sentiu a necessidade de, em conjunto com a *Boeing*, criar um programa de manutenção que fosse mais eficiente que os que existiam à data, quer em minimização de paragens, quer em garantia de segurança para os passageiros de voos de longo curso. A ATA ficou responsável por redigir o documento que serviria de base à criação do programa de manutenção.

Para criar o novo Programa de Manutenção foram então criados vários grupos, compostos por diferentes equipas de projeto, regulamentar e utilizador, dedicadas a cada uma das zonas principais da aeronave. À altura foram criados 6 grupos chamados *Industry Working Groups* (IWG), cada um responsável por:

- a) Estruturas
- b) Sistemas Mecânicos
- c) Motores e Sistemas Auxiliares de Propulsão
- d) Sistemas elétricos e Aviônicos
- e) Controlos de Voo e sistemas hidráulicos
- f) Inspeções Zonais

Cada grupo tratou de um grupo específico de sistemas, tratando de definir os seus Itens de Manutenção Significativos (MSI) bem como a sua função associada, modos, efeitos e causas de falha. De seguida, utilizando um fluxograma lógico, determinaram os tipos de manutenção a realizar no novo modelo. Ao conjunto destes 6 IWGs denominou-se *Maintenance Steering Group* (MSG).

A aproximação utilizada para criar esta metodologia era de baixo para cima, ou seja, começando no mais pequeno pormenor do sistema, ia-se trabalhando subindo o grau de generalidade até se atingir o sistema completo. A título de exemplo, começava-se no parafuso de fixação do trem, seguido das pernas do trem, até se chegar à assemblagem completa.

O primeiro documento criado pelo grupo ATA, intitulou-se de MSG-1 e teve tanto sucesso que outros fabricantes se juntaram à ATA e customizaram o estudo às suas aeronaves. Este novo documento generalizado, lançado apenas 1 ano mais tarde, intitulou-se MSG-2 e incluiu numa

fase inicial os modelos *L-1011* da *Lockheed Martin* e o *McDonnell Douglas DC-10*, sendo posteriormente adicionados novos modelos e fabricantes de aeronaves.

Para além da customização a novos modelos, o MSG-2 continha ligeiras diferenças na aproximação à definição das tarefas, utilizando um sistema de passos dados até à sua definição final. Os passos dados eram:

Passo 1 – Identificar os itens que requereriam análise

Passo 2 – Identificar a função e os modos de falha associados a cada item e o efeito da falha

Passo 3 – Associar o tipo de tarefa ao item em questão

Passo 4 – Avaliar a aplicabilidade da tarefa criada ao item em questão e verificar a criação de tarefas adicionais

Passo 5 (apenas para elementos estruturais) – Definição do intervalo inicial para o programa de amostragem.

Na Figura 2-3 mostra-se o diagrama resumido da lógica do processo MSG-2:

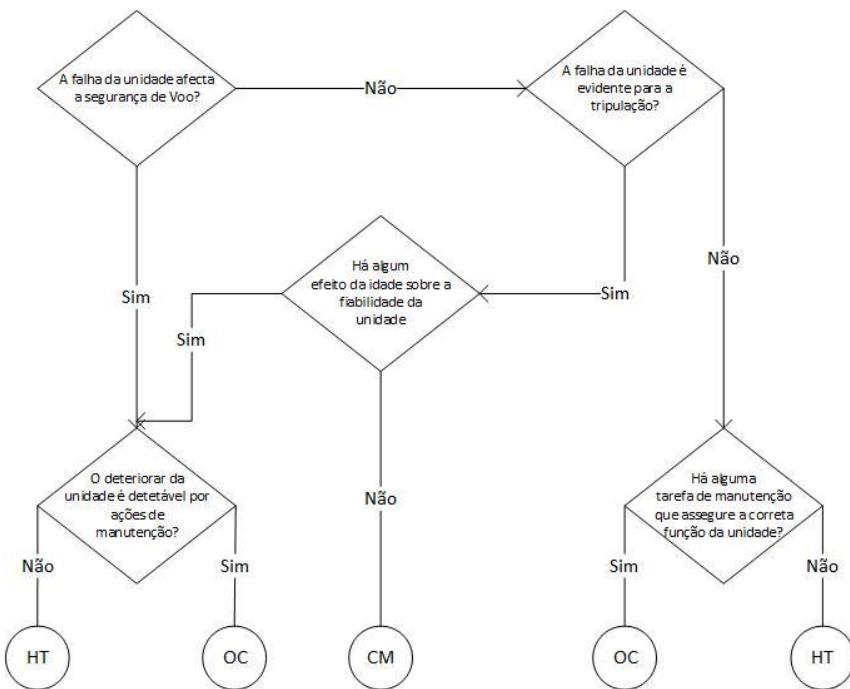


Figura 2-3 - Diagrama da lógica do processo MSG-2 adaptado de [12] e [16]

2.1.1.1 Definição dos processos (HT, OC e CM)

Uma vez que o processo desenvolvido pelo MSG-2 era um processo de baixo para cima, como explicado anteriormente, as ações de manutenção incidiam sobre componentes mais pequenos ao invés de sistemas mais complexos. Como tal, surgem os processos HT, OC e

CM que são o núcleo da aproximação orientada ao processo, e que catalogam a ação de manutenção a realizar em cada um dos componente estudados ao longo da aplicação da lógica MSG-2.

HT (*Hard Time*)

O processo HT é um processo de prevenção de falha em que o componente é removido antes de atingido o potencial considerado crítico para o mesmo. O componente é removido da aeronave sendo descartado definitivamente (caso se julgue que atingiu o limite de vida), ou é sujeito a uma revisão geral, ou é apenas sujeito a uma intervenção que lhe restitui as propriedades originais. As ações de manutenção realizadas sobre as unidades sujeitas ao processo HT, são sempre realizadas fora da aeronave (*Off Wing*).

O processo HT é utilizado em itens que se relacionam diretamente com a segurança de voo, que se degradam com a idade e que não têm a possibilidade de ser testados na sua plenitude durante as ações de manutenção prescritas para a aeronave.

O potencial dos itens em HT pode ser ajustado pelo detentor do TC, de acordo com relatórios de fiabilidade fornecidos pelos operadores. Para itens que apresentam um período de degradação bem definido, o princípio HT será o melhor a ser aplicado.

OC (*On Condition*)

O processo OC, à semelhança do HT, é um processo de prevenção de falha, mas que, ao invés da unidade ser removida para efetuar qualquer tarefa de manutenção designada, esta é testada na aeronave sendo comparados os valores retirados do teste com os especificados pelo fabricante. Assim que os parâmetros testados saiam da gama considerada normal pelo fabricante, a unidade em questão tem de ser removida e passar pelos mesmo processos que as unidades HT passam.

Para as unidades poderem seguir o processo OC, o fabricante tem de garantir que a plenitude do funcionamento da unidade em questão consegue ser testada, garantindo em qualquer altura o seu estado aeronavegável. Ao especificar os valores standard para comparação, o fabricante da unidade tem de garantir também que estes são compatíveis com mais um ciclo de inspeções ou então encurtar o intervalo de inspeção consoante a gama de valores obtidos. Este processo é muito utilizado nos motores em que são medidos os parâmetros de performance e comparados com gráficos fornecidos pelo fabricante. Enquanto o motor cumprir os valores designados continua em operação pelo mesmo intervalo ou com intervalo reduzido.

CM (*Condition Monitoring*)

O processo CM não é um processo de prevenção de falha. Neste processo, parte-se do princípio de que a unidade não sofrerá qualquer intervenção ou manutenção até que falhe e seja substituída. Estas unidades são sempre substituídas durante ações de manutenção não programada.

Uma vez que os itens CM são operados até à falha, a ATA definiu que estas unidades devem obedecer aos seguintes pontos:

- Não ter qualquer efeito direto na segurança de voo quando falha, ou seja, a aeronave continua em operação normal até aterrissar. Este ponto é muitas vezes circundado pelos fabricantes através da criação de sistemas redundantes com aviso de falha de uma das unidades.
- A tripulação deverá detetar imediatamente que a unidade falhou, ou seja, não poderá ser um item sobre o qual não incida qualquer método de visualização de falha, p.e. o sistema *Built In Test Equipment* (BITE)
- Estas unidades deverão ser sujeitas a um controlo de fiabilidade por parte dos operadores que deverão por seu lado partilhar os dados com os fabricantes. Esta ação tem como objetivo criar um histórico de falhas e um melhor conhecimento do comportamento da unidade em causa.

As unidades consideradas em CM são geralmente associadas a sistemas mais complexos, como Aviónicos ou sistemas de navegação, ou com sistemas que não influenciam de modo algum a segurança de voo tais como lâmpadas ou equipamento da *galley* do avião.

2.1.2 Método e Conceito MSG-3

Em 1979, 10 anos após o lançamento do documento original, a ATA decidiu que era necessária uma revisão ao documento de maneira a adaptar a filosofia aos sistemas cada vez mais avançados das aeronaves contemporâneas [16].

Foi criado então pela ATA um grupo de trabalho que identificou alguns conceitos do documento MSG-2 que deveriam ser atualizados, entre eles:

- O rigor da lógica de decisão;
- Uma distinção entre segurança e economia;
- A adequação do tratamento das falhas ocultas das unidades, ou seja, aquelas que passam despercebidas à tripulação de voo.

Estas mudanças foram motivadas, para além da adequação aos sistemas mais evoluídos das aeronaves, por uma forte subida no valor dos combustíveis e na matéria prima utilizada, o que obrigou a associação a encontrar formas mais eficientes para gerir a operação das aeronaves.

Nesta altura, já com o *input* de diversas autoridades e fabricantes europeus, foi decidido que se manteriam as linhas gerais do conceito MSG-2, que comprovadamente gerou 10 anos de operações fiáveis, mudando apenas a visão sobre o método de criar as tarefas de manutenção.

Ao contrário do prescrito no conceito MSG-2, o conceito MSG-3 teria uma aproximação de cima para baixo, começando o estudo das unidades da assemblagem para o mais pequeno componente. A aproximação da nova filosofia seria baseia-se em perguntar “qual a consequência da falha” do sistema, não importando se o sistema falha ou se deteriora com o passar do tempo. Esta primeira pergunta é considerada o primeiro nível e a sua resposta seria classificada em Segurança ou Económica com efeito Operacional ou Económica sem efeito Operacional de acordo com os novos diagramas de lógica que se mostram em detalhe na Figura 2-4:

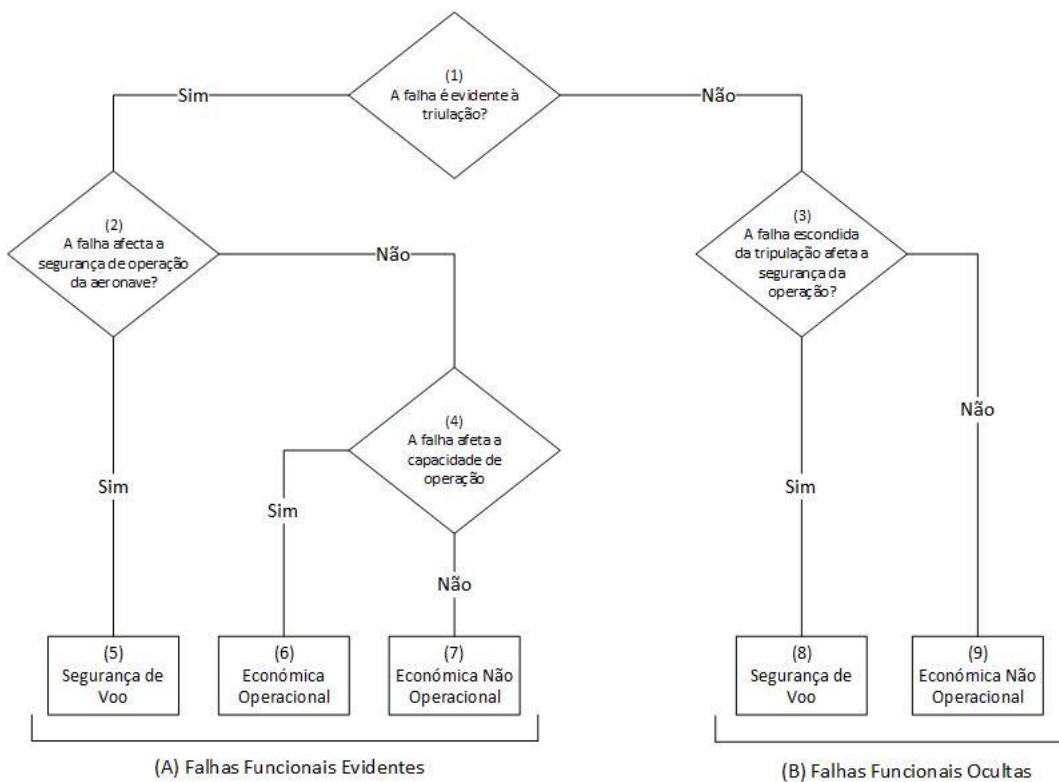


Figura 2-4 - Diagrama de Lógica do processo MSG-3 [12] e [16]

De seguida entra-se no nível 2 de maneira a definir o tipo de tarefa a realizar em cada caso. Para tal o MSG decidiu elaborar uma série de diagramas que de forma inequívoca definem a ação. A seleção de tarefas foi arranjada numa sequência específica de forma que as tarefas de resolução mais fácil fossem tidas em conta primeiro. Caso a tarefa que aparece primeiro não faça sentido de ser implementada, deverá avaliar-se a tarefa seguinte e assim sucessivamente até completar todas as tarefas definidas para os sistemas em estudo.

Os diagramas de seleção de tarefa são apresentados na Figura 2-5 para os casos (A) e (B) do diagrama anterior.

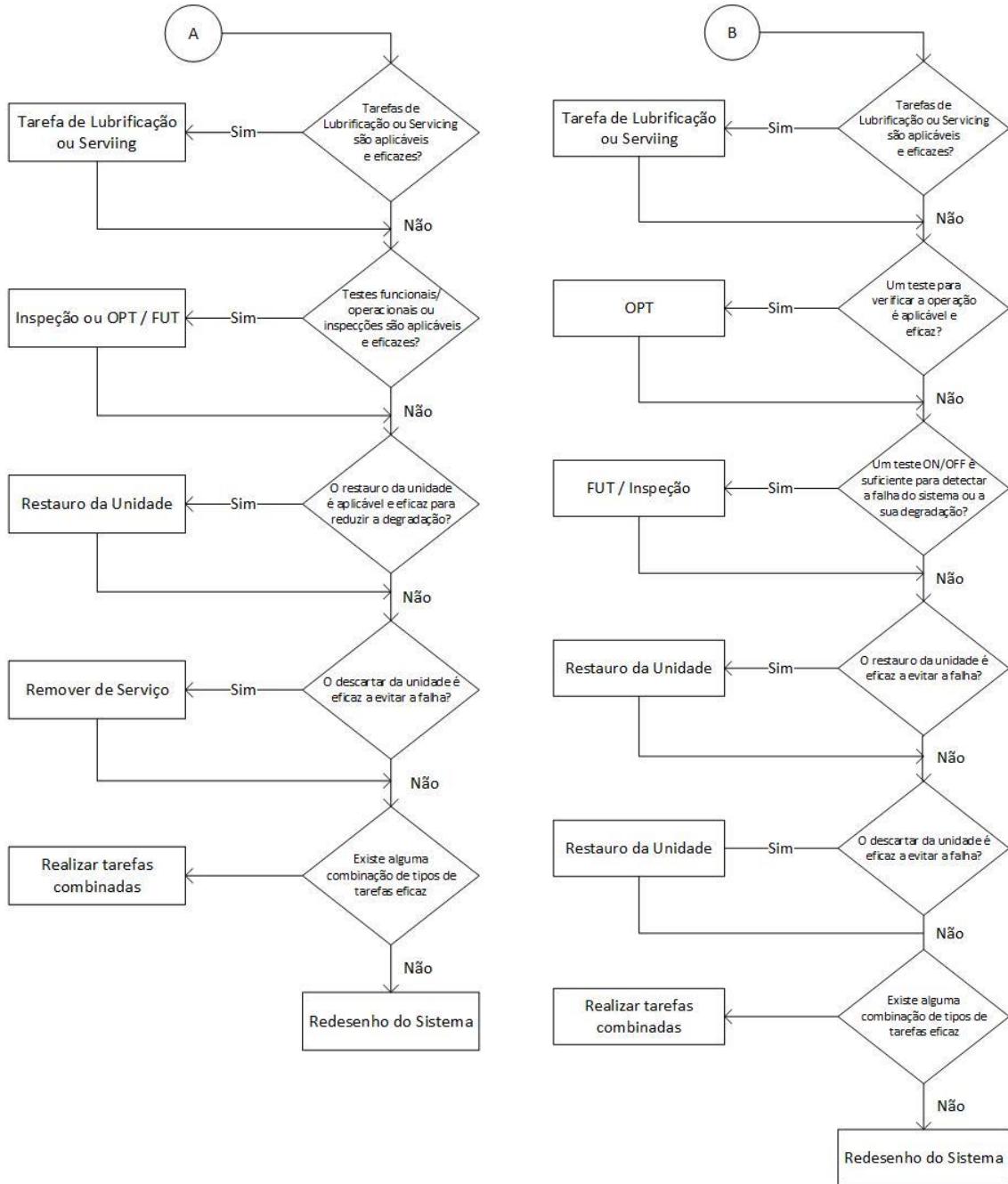


Figura 2-5 - Diagramas para seleção do tipo de tarefas a realizar [12] e [16]

Como se pode observar na Figura 2-5, os sistemas devem ser redesenhados pelo fabricante caso nenhum dos tipos de tarefas disponíveis seja aplicável.

Na Tabela 2-2 é apresentado um resumo da aplicabilidade e do impacto do tipo de tarefas que se podem realizar de acordo com a filosofia MSG-3.

Tabela 2-2 - Aplicabilidade e Definição dos vários tipos de tarefas

Tarefa	Aplicabilidade	Eficácia na Segurança de Voo		Eficácia no Aspeto Económico
		Eficácia na Operacionalidade		
Lubrificação ou Servicing	O reabastecimento do consumível tem de reduzir a taxa de deterioração funcional	A tarefa tem de reduzir o risco de falha	A tarefa tem de reduzir o risco de falha para um nível aceitável	A tarefa tem de ser rentável
Teste Operacional (OPT) ou Inspeção Visual	A identificação da falha tem de ser possível	A tarefa tem de garantir a disponibilidade adequada da função oculta para reduzir o risco de uma falha múltipla	Não Aplicável	A tarefa tem de garantir a disponibilidade adequada da função oculta para evitar os efeitos económicos de múltiplas falhas e tem de ser rentável
Inspeção ou Teste Funcional (FUT)	A resistência reduzida à falha tem de ser detetável e existe um intervalo razoavelmente consistente entre a condição de deterioração e a falha funcional	A tarefa tem de reduzir o risco de falha de maneira a assegurar uma operação segura	A tarefa tem de reduzir o risco de falha para um nível aceitável	A tarefa tem de ser rentável, i.e., o custo de realizar a tarefa tem de ser menor que o custo da falha evitada
Restauro	A unidade tem de demonstrar características de degradação funcional a uma certa idade e um largo número de unidades tem de chegar funcional a essa idade. Tem de ser possível restaurar a unidade a um standard específico de resistência à falha	A tarefa tem de reduzir o risco de falha de maneira a assegurar uma operação segura	A tarefa tem de reduzir o risco de falha para um nível aceitável	A tarefa tem de ser rentável, i.e., o custo de realizar a tarefa tem de ser menor que o custo da falha evitada
Remover de Serviço	A unidade tem de demonstrar características de degradação funcional a uma certa idade e um largo número de unidades tem de chegar funcional a essa idade.	O limite de vida segura deve reduzir o risco de falha para garantir uma operação segura	A tarefa tem de reduzir o risco de falha para um nível aceitável	Um limite de vida económico deve ser rentável, i.e., o custo de realizar a tarefa tem de ser menor que o custo da falha evitada

Pode-se ainda definir os vários tipos de tarefas a realizar numa aeronave tendo em conta que as inspeções visuais podem-se dividir em Inspeções Visuais Gerais (GVI), Inspeções Visuais Detalhadas (DET) e Inspeções Visuais Especiais (SDI):

- Inspeção Visual Geral (GVI) – Inspeção visual de uma área interior ou exterior que deteta danos ou falhas óbvias. Este nível de inspeção é realizado a uma distância de

toque. Podem ser utilizadas ferramentas tal como um espelho e pode ser realizada em condições normais de luminosidade. Pode haver a necessidade de abertura de painéis ou acessos e equipamento auxiliar tais como plataformas ou escadotes.

- Inspeção Visual Detalhada (DET) – Inspeção intensiva de um item, assemblagem ou sistema específico para detetar danos, falhas ou irregularidades. Podem ser necessárias ferramentas tais como espelhos ou lupas e deve ser realizada com recurso a uma fonte de luz direta. A limpeza detalhada da superfície a inspecionar pode ser necessária bem como a criação de acesso mais complexos.
- Inspeções Visuais Especiais (SDI) – Inspeção intensiva de um item, assemblagem ou sistema específico para detetar danos, falhas ou irregularidades. A inspeção utiliza técnicas e produtos especializados tais como raios-X, partículas magnéticas ou líquidos penetrantes. A limpeza detalhada da superfície a inspecionar pode ser necessária bem como a criação de acesso mais complexos.
- Teste Operacional (OPT) – Um teste Operacional é uma tarefa que determina se um equipamento cumpre com a sua finalidade. Não requer tolerâncias quantitativas. É uma tarefa de deteção de falha direta.
- Teste Funcional (FUT) – Teste que verifica se um sistema ou unidade funciona ao longo de toda a gama de utilização de acordo com as especificações mínimas aceitáveis de projeto de sistema ou unidade. Esses testes podem exigir equipamentos suplementares e devem ser mais específicos e detalhados do que um teste operacional.
- Restauro – O restauro de unidade, tem como objetivo devolver à unidade um nível de resistência à falha igual ao original. O restauro de unidades pode ter diversos níveis de complexidade desde uma simples limpeza em bancada até uma revisão geral completa - Overhaul (OVH).

2.1.2.1 Procedimento para realização de uma análise ao abrigo do MSG-3

O método para definir as tarefas programadas e intervalos a realizar nos vários sistemas de uma aeronave segue os diagramas de progressão lógica anteriormente apresentados.

O estudo deve começar pela seleção dos *Major Significant Items* (MSI), ou seja, a identificação dos sistemas e componentes significantes da aeronave em causa.

O processo de seleção dos MSIs é um processo conservativo, utilizado o julgamento da engenharia baseado na antecipação das consequências da falha. A aproximação de cima para baixo permite identificar todos os itens da aeronave ao mais alto nível gerenciável. Para tal são seguidos vários passos:

Passo 1 – O fabricante deverá dividir os sistemas da aeronave nas maiores áreas funcionais, através da divisão em capítulos e subcapítulos ATA. Este processo repete-se até que todos os sistemas da aeronave tenham sido catalogados;

Passo 2 – Utilizando uma aproximação de cima para baixo, o fabricante deverá dividir os sistemas da aeronave em subsistemas cada vez mais pequenos até atingir um nível do sistema acima do mínimo, ou seja, um sistema significante ao qual seja possível adaptar a filosofia;

Passo 3 – O fabricante deverá aplicar as seguintes questões a cada um dos MSIs identificados no passo 2:

- A falha pode ser indetectável ou passar facilmente despercebida à tripulação no decorrer das suas tarefas?
- A falha pode afetar a segurança de voo, incluindo sistemas ou equipamento de segurança?
- A falha pode ter impacto operacional significativo?
- A falha pode ter um impacto económico significativo?

Passo 4 – Para aqueles itens em que a resposta a pelo menos uma das perguntas do passo anterior for “Sim”, deverá ser feita uma análise MSG-3. Deverão ainda ser verificados os níveis de trabalho de acordo com o descrito no Passo 2.

Após a aplicação destes passos, os MSIs escolhidos devem ser validados por vários grupos de especialistas até à decisão da lista final.

Após serem selecionados e validados os MSIs, deverá ser identificado para cada um deles:

- Função – As características normais de ação de uma unidade ou sistema;
- Falha(s) Funcionais – Quais as falhas que um item pode sofrer que impedem de cumprir com a sua função;
- Efeito(s) de Falha – Qual é o resultado da falha funcional;
- Causa(s) de Falha – Porque é que a falha funcional ocorreu.

Quando se identificam os pontos descritos anteriormente, deverá ser dada uma especial atenção ao sistema completo, verificando se existem elementos redundantes, qual o modo de atuação da unidade e como se pode desligar ou quais as ações possíveis de realizar em caso de falha.

Após todas as questões serem respondidas, a análise individual de cada MSI, deverá seguir os diagramas de lógica propostos e demonstrados na Figura 2-4 para definir quais as

categorias da falha (Nível 1) e a Figura 2-5 de maneira a definir o tipo de tarefa a realizar em cada sistema (Nível 2).

Após terem sido decididas quais as tarefas a realizar em cada unidade ou sistema, deverá ser atribuída um intervalo ou periodicidade com a qual a tarefa é realizada. De maneira a definir o intervalo, deverá ser estabelecido o parâmetro de controlo desse intervalo sendo que se pode utilizar o controlo em horas de voo, ciclos de operação ou limites de calendário, ou pela conjugação de quaisquer definições.

Um intervalo definido em horas de voo tem em conta as horas de operação que cada uma das várias unidades ou sistemas tem. Esta aproximação utiliza-se em sistemas que estão permanentemente a ser solicitados durante a operação da aeronave tais como motores, controlos de voo, etc.

A definição de um intervalo em ciclos de operação, ou seja, o número de descolagens – aterragens, é por norma utilizado em sistemas que sofram de falhas por fadiga e que sejam apenas solicitados durante as fases do voo acima descritas. A título de exemplo, os trens de aterragem é um sistema que deverá ser controlado por ciclos.

Todos os sistemas que sejam afetados por meios ambientais ou por envelhecimento ambiental, como por exemplo a corrosão, deverão ser controlados através de limites de calendário uma vez que a maior ou menor operação não interfere na propagação destas falhas. As inspeções estruturais ao abrigo do programa CPCP (*Corrosion Prevention Corrosion Protection*) são um exemplo de controlo através de limites de calendário.

A amplitude do intervalo entre inspeções deverá ser realizada tendo em conta o histórico de operações das aeronaves e das falhas reportadas. É por isso importante que os fabricantes tenham acesso às falhas registadas pelos operadores, de maneira a conseguirem melhor adaptar a sua documentação de manutenção.

Normalmente não está disponível informação completa e fiável relativamente à operação das diferentes unidades pelo que, caso não existam dados históricos, o fabricante terá de realizar uma análise mais conservativa, tendo em conta testes laboratoriais dos componentes ou mesmo a comparação com unidades de funcionamento e características semelhantes.

A constante afinação destes intervalos é um trabalho que o detentor do TC tem de realizar ao longo de toda a vida do modelo em causa.

2.2 Definição dos capítulos ATA

Uma vez que todos os sistemas de uma aeronave têm de ser catalogados de maneira a serem facilmente identificados, em 1956, a ATA criou uma convenção – ATA 100 – que organiza as unidades de uma aeronave em sistemas e subsistemas [17].

Esta convenção, ainda hoje a mais utilizada na aviação, tem sido atualizada sendo que foi introduzida no conceito ATA iSpec2200 que estandardizou inclusive o *layout* de manuais e documentação dos fabricantes.

De entre os vários capítulos ATA existentes definem-se na Tabela 2-3 os mais relevantes.

Tabela 2-3 - Definição dos capítulos ATA

Capítulo ATA	Nome do Capítulo
01	Introdução
05	Inspeções Periódicas
06	Dimensões e Áreas
11	Placards e Marcas
12	Servicing – Manutenção de Rotina
21	Ar Condicionado e Climatização
22	Voo Automático
23	Comunicações
24	Sistemas Elétricos
25	Equipamentos / Cabine
26	Proteção contra incêndios
27	Controlos de Voo
28	Combustível
29	Potencia Hidráulica
30	Proteção de Gelo e Chuva
31	Sistemas de indicação e gravação
32	Trens de Aterragem
33	Luzes
34	Navegação
35	Oxigénio
36	Sistemas Pneumáticos
37	Vácuo
38	Sistemas de Água
49	Unidades Auxiliares de Potência (APU)

52	Portas
53	Fuselagem
54	<i>Nacelles / Pylons</i>
55	Estabilizadores
56	Janelas
57	Asas
61	Hélices
71	Sistemas de Potência – Geral
72 (T)	Motores – Turbina
72 (R)	Motores – Convencionais
73	Controlo de combustível no motor
74	Ignição
75	Purga de Ar do motor
76	Controlos de Motor
77	Indicadores de Parâmetros Motor
78	Sistema de Escape
79	Sistema de Óleo do Motor
80	Arranque do Motor

Apesar de existirem unidades e sistemas algo ambíguos de definir ao abrigo da convenção dos capítulos ATA, esta demonstra ser uma forma eficaz de catalogar os vários sistemas. Apesar de ser uma convenção criada por um grupo de entidades, maioritariamente dos Estados Unidos, a sua utilização é considerada a norma para a aviação mundial.

3 Apresentação de Resultados

3.1 Definição do caso de Estudo

Para elaboração desta tese, faz sentido que os dados sejam recolhidos num ambiente em que a aplicação da filosofia MSG-3, não está a ser aplicada, mas em tudo poderia beneficiar da sua aplicação.

Neste caso em concreto, o estudo foi realizado numa escola de aviação e nas suas instalações de manutenção que por razões de sigilo não serão identificadas.

A escola em questão, conta com uma frota de 14 aeronaves, descritas na Tabela 3-1, sendo que o estudo irá recair sobre 7 consideradas semelhantes; cinco Cessna 152 e dois Cessna 172. No decorrer da recolha de dados, a escola adquiriu outra aeronave Cessna 172 que, por falta de dados históricos não foi tida em consideração.

Tabela 3-1 - Frota de Escola de Aviação em estudo [Dados cedidos sob anonimato]

Fabricante	Modelo	Tipo de Operação	Quantidade
Cessna	152	VFR / Night VFR	5
	172	VFR / Night VFR / IFR	3
Pipistrel	VSW121	VFR / Night VFR	3
Liberty	XL-2	IFR	1
Grumman	GA-7 (Cougar)	IFR / ME	2

A frota estudada deverá operar uma média de 1000 horas anuais sendo que o tempo de paragem para manutenção e o número de paragens por avarias da operação é um parâmetro muito importante na sua gestão.

A crescente procura em formação de pilotos leva a que a escola em questão esteja em processo de expansão da frota, pelo que a relevância deste estudo poderá ser ainda maior com o passar do tempo.

A escola conta com um número constante de sensivelmente 100 a 120 alunos inscritos, em diferentes fases do curso sendo que os alunos em fase de voo contabilizam, ao momento do estudo, uma necessidade de aproximadamente 13000 horas de voo anuais.

3.2 Falhas Reportadas

Numa primeira fase do trabalho desenvolvido, tentou-se verificar se os PMA atuais estavam enquadrados com a operação das aeronaves.

Com este estudo, pretendeu-se enquadrar o problema numa vertente fiabilística, onde se quis verificar se a realização de manutenção com os intervalos dos manuais tinha algum impacto a nível de fiabilidade na frota estudada.

Caso se verificasse que a manutenção na frota estava enquadrada ao nível da fiabilidade, ficariam criados standards de comparação com a nova aproximação que se pretende implementar.

Outro dos efeitos que se pretendia verificar era se a alta frequência com que as intervenções de manutenção programada são realizadas, não prejudicam de alguma forma a fiabilidade dos sistemas da aeronave, uma vez que, de acordo com [12], é altamente prejudicial para os sistemas a constante intervenção injustificada, seja na remoção e instalação de componentes, seja na criação constante de acessos para inspeção.

Foi então efetuado o levantamento de todas as falhas (em manutenções programadas e não programadas), da frota em estudo, no período entre Outubro de 2019 e Janeiro de 2022.

De forma a organizar e enquadrar as falhas reportadas, estas foram compiladas e categorizadas de acordo com a seguinte informação:

- Classificação da falha em *Pilot Report / Maintenance Report* (PIREP/MAREP)
- Capítulo ATA
- Data da falha
- Descrição da falha
- Classificação da falha
- Resolução da falha

PIREP/MAREP

A categorização em PIREP/MAREP permite ter uma noção se a maioria das falhas são levantadas no decorrer de ações de manutenção ou se surgem durante a operação da aeronave e são, portanto, detetados pela tripulação.

Capítulo ATA

A divisão das falhas de acordo com os capítulos ATA a que estes pertencem, tem a intenção de verificar quais os sistemas da aeronave mais expostos a falhas no decorrer da operação.

Classificação da Falha

De forma a se ter uma noção das consequências das falhas no decorrer da operação, decidiu-se dividir as falhas em implicações ao nível da segurança (S), implicações operacionais (O) ou implicações estéticas (AE). Esta classificação permitiu fazer uma aproximação à filosofia MSG-3 com a pergunta primária “Qual a consequência da falha”.

Resolução da Falha

Apenas a título indicativo, foi identificado o método de resolução de cada falha.

No final da compilação das falhas, foi obtido um total de 260 falhas reportadas distribuídos entre os dois tipos de aeronaves alvo do estudo.

Após organizados, os dados foram expostos numa tabela cujo aspeto se demonstra no excerto exemplificativo apresentado na Figura 3-1

Tipo	Aeronave	ATA	Data	Falha	Classificação da Falha	Resolução
PIREP	C152	24	22-10-2019	Alternator System not charging, perform trouble shooting	S	ADJ
MAREP	C172	54	29-10-2019	Please review all Cowling bolts and correct fixation.	O	RAI
MAREP	C172	61	29-10-2019	Block Bolts at Governor Cap without Lock Wire	S	ADJ

Figura 3-1 - Exerto de tabela de classificação das falhas

De forma a melhor interpretar os dados, foram produzidas várias comparações relacionadas com as falhas reportadas.

De maneira a verificar se a maioria das falhas aparece durante a paragem das aeronaves, em ambiente de manutenção, ou em plena operação, decidiu-se verificar a proporção entre PIREP e MAREP.

No gráfico apresentado na Figura 3-2 verifica-se que a maioria das falhas foi reportada pelos técnicos de manutenção em vez da tripulação.

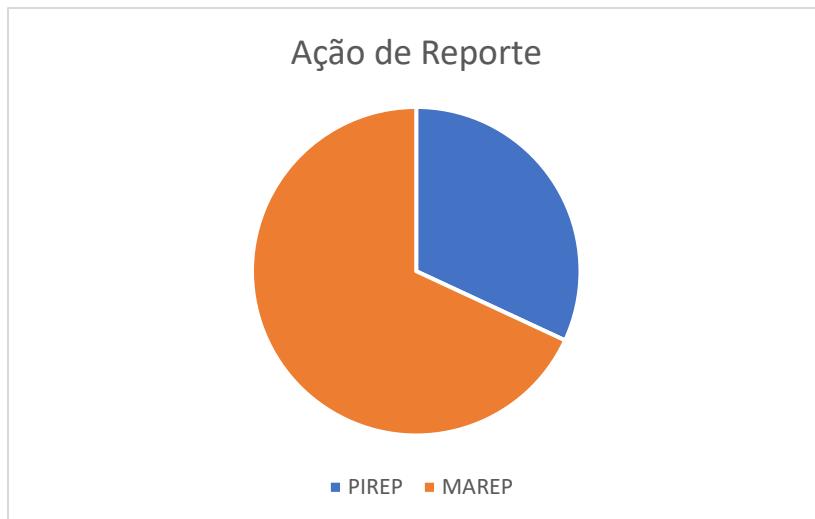


Figura 3-2 - Ação de Reporte (PIREP / MAREP)

Para o tratamento dos dados relativos às falhas e por existirem capítulos ATA com muito pouca expressão, optou-se por realizar algumas agregações de vários capítulos ATA, de acordo com as funções e similaridades entre cada uma.

Assim dividiu-se o estudo das falhas nos grupos apresentados na Tabela 3-2.

Tabela 3-2 - Conjuntos de Capítulos ATA

Grupos ATA	Denominação
21 / 37	Capítulos ATA relacionados com ventilação e pneumática
22 / 27	Capítulos ATA relacionados com controlos de voo
23 / 31	Capítulos ATA relacionados com comunicações / Gravação
24 / 33	Capítulos ATA relacionados com sistemas elétricos e dependentes
25 / 26	Capítulos ATA relacionados com a cabine e seu equipamento
28	Capítulo ATA relacionado com sistemas de combustível
32	Capítulo ATA relacionado com Trens de aterragem
34	Capítulo ATA relacionado com sistemas de Navegação
5X	Capítulos ATA relacionados com elementos estruturais
61 / 7X / 80	Capítulos ATA relacionados com sistema de potência e propulsores

Na distribuição das várias falhas pelos diversos capítulos ATA, consegue-se evidenciar que os Grupos ATA mais sujeitos a apresentarem falhas são os referentes aos capítulos 24/33 e ao capítulo 32. Estes dados são apresentados na Figura 3-3.

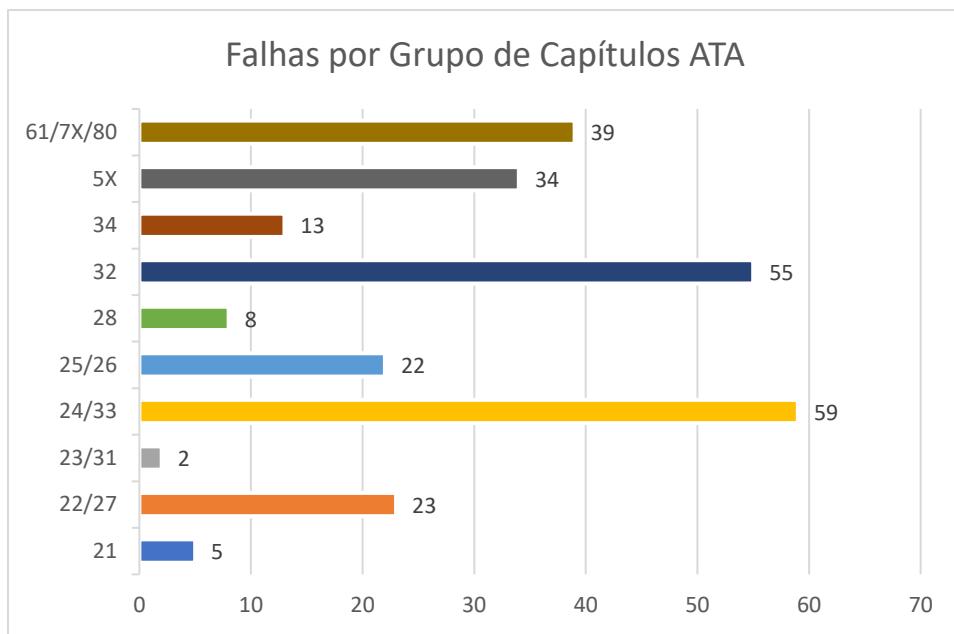


Figura 3-3 - Falhas por Grupo de Capítulos ATA

Quanto às falhas, optou-se por classificá-las em:

Safety – Falhas que envolvem diretamente a segurança da aeronave, ou seja, falhas que resultaram ou poderiam ter resultado em acidente ou incidente grave. São também consideradas falhas de *safety* todos aquelas relacionadas com algum género de equipamento de emergência.

Operacionais – Falhas que, pela sua natureza, ou extensão aquando da sua deteção, implicaram a paragem da aeronave para reparação. Estas falhas podem evoluir para falhas *safety* caso não sejam corrigidas ou detetadas a tempo.

Falhas Estéticas – Falhas que não implicam a segurança de voo nem a operação da aeronave sendo corrigidos apenas por questões estéticas. Estas falhas, caso não sejam tratados ou detetados a tempo poderão evoluir para falhas operacionais ou de segurança.

A avaliação destas falhas tendeu a ser algo conservativa de forma que os padrões de segurança fossem verificados e mantidos na passagem para a nova filosofia.

Verificou-se então que as falhas são na maioria falhas operacionais, ou seja, falhas cuja correção implicou algum distúrbio ou limitação operacional. Estas falhas são típicas de uma utilização intensiva o que se verifica alinhado com o caso de estudo.

Na Figura 3-4 é apresentado o número de falhas de cada categoria.

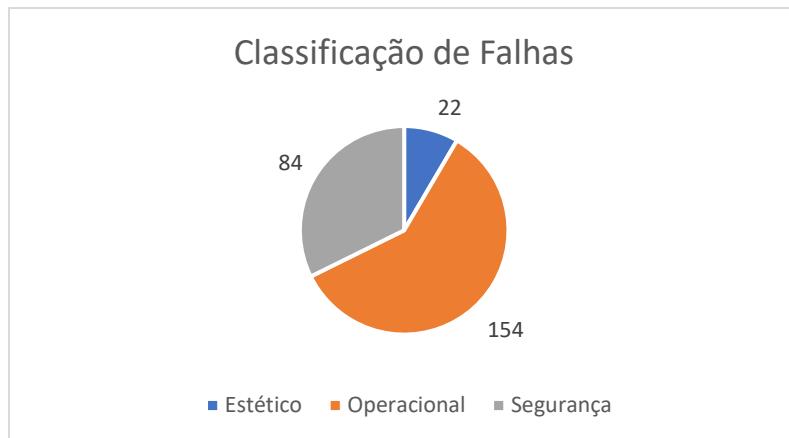


Figura 3-4 - Classificação de Falhas

Fazendo a distribuição das falhas por grupo de capítulos ATA, conseguem-se evidenciar qual o tipo de falhas predominante em cada grupo. Estes valores estão evidenciados na Tabela 3-3.

Tabela 3-3 - Distribuição do tipo de falhas pelos vários grupos de capítulos ATA

	21	22/27	23/31	24/33	25/26	28	32	34	5X	61/7X/80
AE	1	1	0	1	5	0	0	0	12	2
O	4	10	2	40	9	1	54	4	16	14
S	0	12	0	18	8	7	1	9	6	23
Total	5	23	2	59	22	8	55	13	34	39
AE %	20%	4%	0%	2%	23%	0%	0%	0%	35%	5%
O %	80%	43%	100%	68%	41%	13%	98%	31%	47%	36%
S %	0%	52%	0%	31%	36%	88%	2%	69%	18%	59%

De forma a se obter uma maior visão sobre as falhas reportadas, foi realizada a análise do tipo de ação que corrigiu a falha. Pretendeu-se assim avaliar o método de resolução, dividindo as opções em:

- *RAI (Remove and Install)* – Correções deste tipo incluem a substituição total de um ou mais componentes.
- *REP* – Sempre que o sistema em causa foi reparado através de processos adicionais como soldaduras, trabalhos de chaparia ou qualquer intervenção no componente defeituoso sem que este fosse substituído.
- *ADJ* – Esta classificação indica que a falha foi corrigida através de um ajuste do sistema, seja um reaperto, reajuste de tensões ou qualquer afinação que se julgue necessária ao correto funcionamento do sistema.

De acordo com o exposto na Figura 3-5 verifica-se que se optou por corrigir a maioria das falhas através da substituição dos componentes defeituosos. Este método de resolução é preferido face aos outros uma vez que se reflete em menos tempo de paragem da aeronave e menor utilização de recursos.

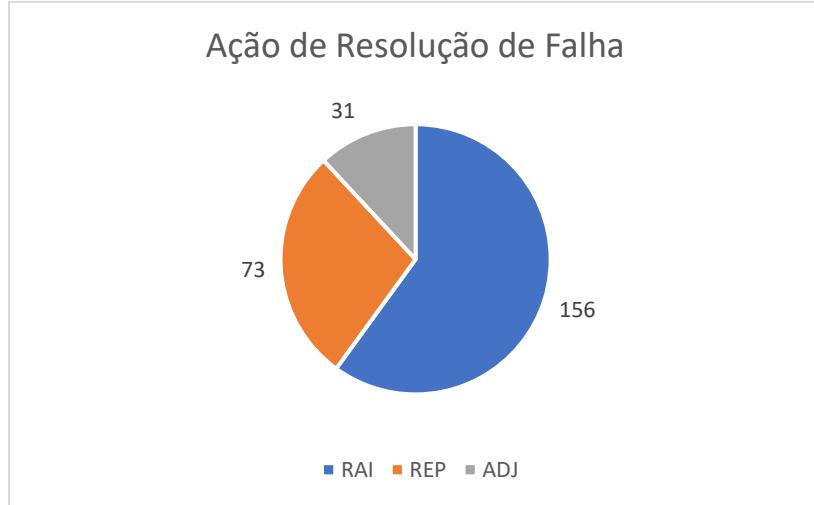


Figura 3-5 - Ação de Resolução de Falhas

Também este estudo foi comparado com o conjunto dos capítulos ATA de forma a verificar se a Ação de resolução da falha em causa se relaciona de alguma maneira com o sistema em que este aparece.

Obtiveram-se então os valores apresentados na Tabela 3-4 onde se verifica que existem grupos de capítulos ATA típicos para cada uma das resoluções. Verifica-se que 100% das falhas relacionadas com o grupos de capítulos ATA 23/31 se corrigiu na totalidade através da reparação de sistemas enquanto a maioria das falhas no grupo de capítulos ATA 24/33 se resolveu através da substituição de componentes e no grupo de capítulos ATA 61/7X/80 se resolveu através de ajustes.

Os dados obtidos são consistentes com o tipo de sistema a que dizem respeito uma vez que é de esperar que a maioria das falhas do grupo de capítulos ATA 23/31 apareça de falhas nas cablagens elétricas, ao passo que nos grupo dos capítulos ATA 24/33 se recorre em grande número à substituição de lâmpadas e baterias. No que se relaciona com o grupo dos capítulos 61/7X/80, o ajuste é a ação mais comum para a resolução de falhas uma vez que se está a lidar com grupos de potência em que, devido a vibrações e solicitações da operação, estão mais sujeitos ao desajuste de afinações.

Tabela 3-4 – Distribuição da Ação de resolução de falhas por grupo de capítulos ATA

	21	22/27	23/31	24/33	25/26	28	32	34	5X	61/7X/80
RAI	3	8	0	48	16	3	41	10	13	14
REP	1	11	2	6	4	5	9	2	20	13
ADJ	1	4	0	5	2	0	5	1	1	12
Total	5	23	2	59	22	8	55	13	34	39
RAI %	13%	35%	0%	81%	73%	38%	75%	77%	38%	36%
REP %	4%	48%	100%	10%	18%	63%	16%	15%	59%	33%
ADJ %	4%	17%	0%	8%	9%	0%	9%	8%	3%	31%

3.3 Níveis de alerta das falhas

De forma a posicionar o estudo e a verificar se os programas de manutenção atuais são ou não eficazes na prevenção de falhas na operação das aeronaves, foi realizado o estudo das falhas e o seu posicionamento quanto aos seus níveis de alerta.

Para realizar este estudo, foi necessário separar os dados em meses de operação. Inicialmente foi realizado o levantamento das horas de operação das várias aeronaves em estudo, apresentando-se estes dados na Tabela 3-5.

Tabela 3-5 - Total de Horas de operação durante o período de estudo [Dados cedidos sob anonimato]

	C152	C172	dez/20	97:45	64:30
out/19	11:55	00:00	jan/21	74:35	33:35
nov/19	30:05	00:00	fev/21	00:00	00:00
dez/19	60:25	00:00	mar/21	08:05	00:00
jan/20	46:45	13:05	abr/21	89:55	00:00
fev/20	98:55	34:30	mai/21	195:20	38:50
mar/20	40:00	00:00	jun/21	173:25	87:55
abr/20	00:00	00:00	jul/21	241:55	154:05
mai/20	173:20	15:35	ago/21	269:50	156:30
jun/20	204:05	84:25	set/21	208:10	148:00
jul/20	136:35	146:30	out/21	355:50	130:45
ago/20	30:50	50:35	nov/21	326:15	156:30
set/20	116:05	37:20	dez/21	151:30	95:55
out/20	199:10	93:40	jan/22	402:20	204:00
nov/20	127:25	87:30	Total Frota	5704:15	

Após a contabilização das horas realizadas por mês, foram igualmente separadas as falhas por mês de operação e contabilizadas conforme se mostra na Tabela 3-6 e Tabela 3-7.

Tabela 3-6 - Falhas Contabilizadas Out-19 a Nov-20 [Dados cedidos sob anonimato]

ATA	10/19	11/19	12/19	01/20	02/20	03/20	04/20	05/20	06/20	07/20	08/20	09/20	10/20	11/20
21	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27/22	0	6	0	0	2	1	0	0	0	0	0	3	1	1
23/31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
24/33	1	1	0	0	3	0	1	2	8	8	0	1	3	7
24/26	3	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
32	0	2	0	0	0	1	1	0	2	2	0	1	3	1
34	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	4
5X	3	5	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	5	0
61/7X/80	1	1	2	1	4	1	0	0	1	1	0	1	8	0
Total	8	16	2	1	14	7	2	2	11	13	0	9	23	13

Tabela 3-7 - Falhas Contabilizadas Dez-20 a Jan-22 [Dados cedidos sob anonimato]

ATA	12/20	01/21	02/21	03/21	04/21	05/21	06/21	07/21	08/21	09/21	10/21	11/21	12/21	01/22
21	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
27/22	0	0	5	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	1
23/31	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
24/33	2	1	0	1	3	0	3	1	5	4	3	2	0	7
24/26	0	0	2	1	0	0	8	0	1	0	0	0	2	0
28	1	1	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0
32	3	3	0	2	2	3	2	2	5	5	5	3	2	5
34	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	1	1	0
5X	2	1	2	0	0	0	2	0	3	3	1	0	0	1
61/7X/80	1	0	2	0	1	2	1	0	0	0	2	1	1	2
Total	9	6	13	6	6	5	20	6	13	14	11	7	6	17

Após a contabilização das falhas e devida separação por mês, verificou-se o enquadramento das falhas ao nível da operação.

Para este enquadramento foram contabilizadas as falhas por 100H de operação, sendo feita de seguida a média móvel (MM) a 3 meses para dissipaçao dos efeitos de sazonalidade. Devido ao tamanho das tabelas referidas, estas são apresentadas na totalidade nos anexo I deste documento.

Uma vez criadas as tabelas, foram elaborados os gráficos das falhas ao longo dos meses, divididas pelos conjuntos dos capítulos ATA, e foram comparadas com níveis de alerta, acima dos quais, se considera que uma alteração no Programa de Manutenção da aeronave tem de ser realizado.

Estes níveis de alerta, seguiram a convenção que é utilizada de forma comum na aviação, sendo definidos como [16]:

$$\text{Nível de Alerta} = \overline{MM} + 2 \times \sigma$$

(1)

Onde \overline{MM} representa a média móvel previamente calculada e σ o Desvio Padrão.

Os gráficos com os vários resultados são apresentados nas Figura 3-6 - Figura 3-15.

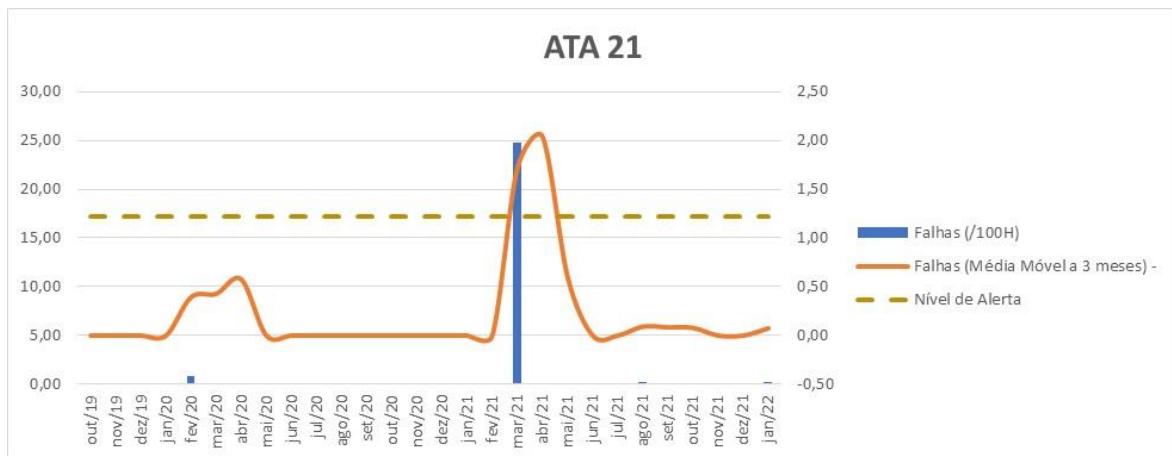


Figura 3-6 - Distribuição de Falhas do capítulo ATA 21

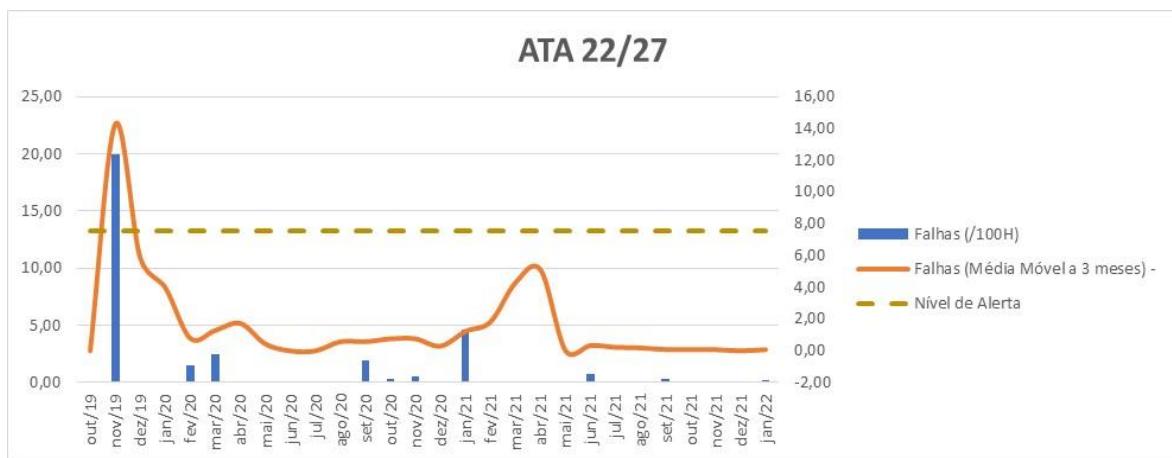


Figura 3-7 - Distribuição de Falhas dos capítulos ATA 22/27

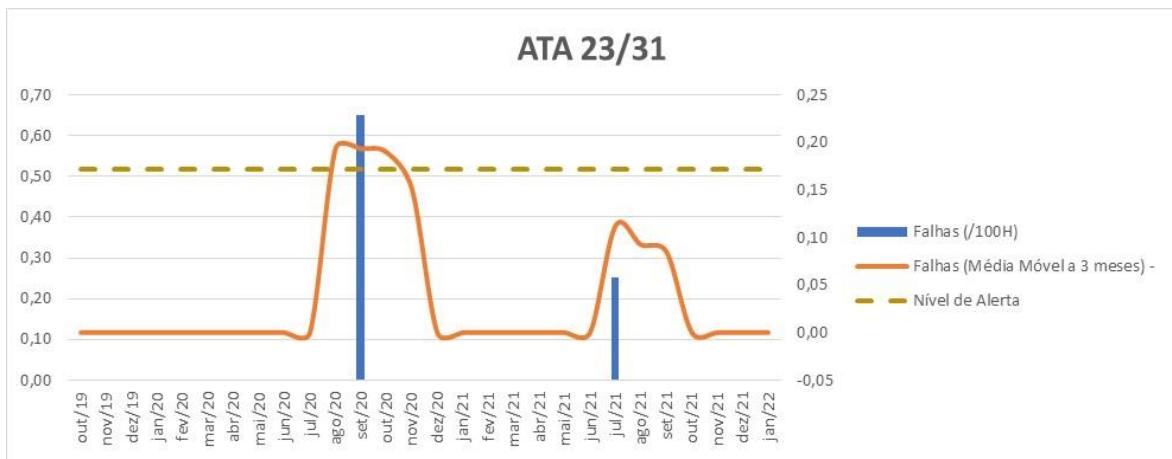


Figura 3-8 - Distribuição de Falhas dos capítulos ATA 23/31

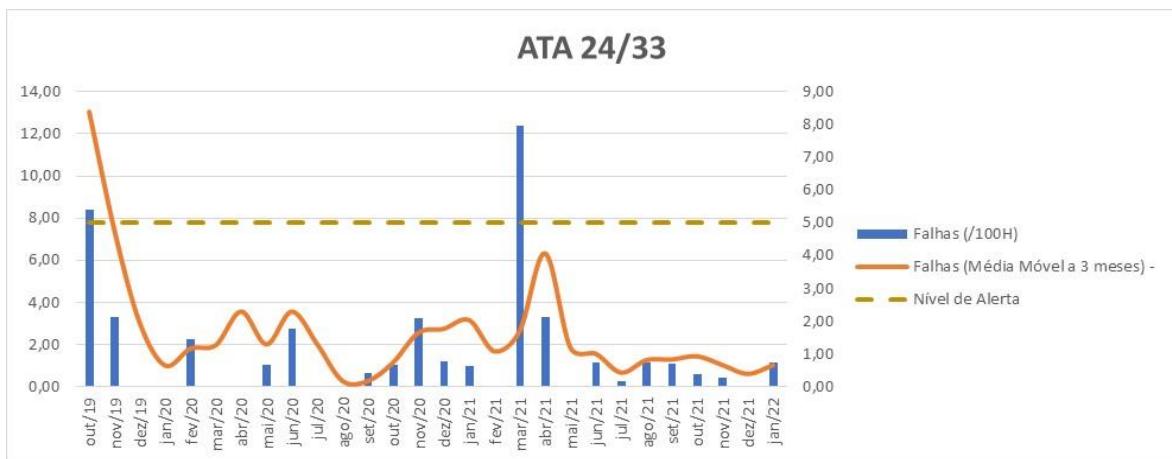


Figura 3-9 - Distribuição de Falhas dos capítulos ATA 24/33

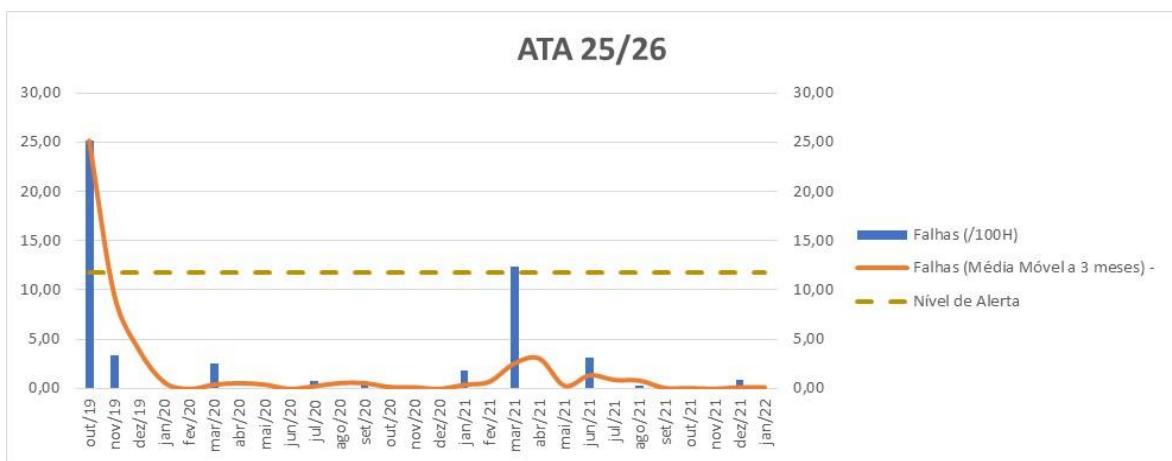


Figura 3-10 - Distribuição de Falhas dos capítulos ATA 25/26

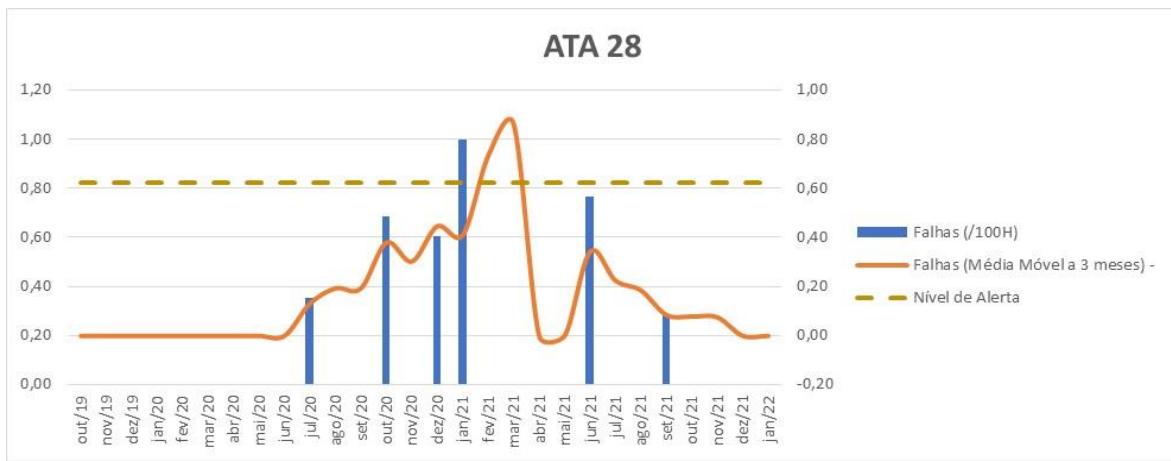


Figura 3-11 - - Distribuição de Falhas do capítulo ATA 28

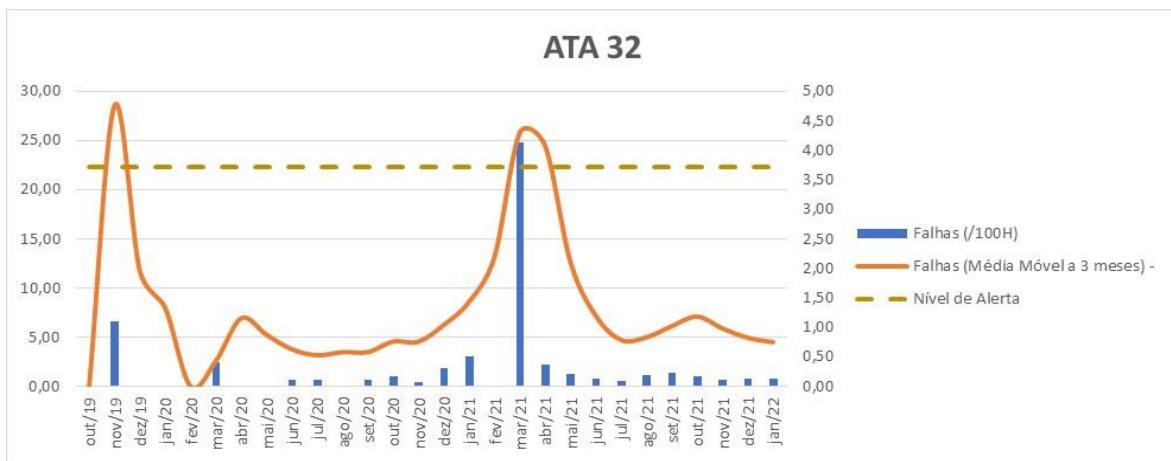


Figura 3-12 - Distribuição de Falhas do capítulo ATA 32

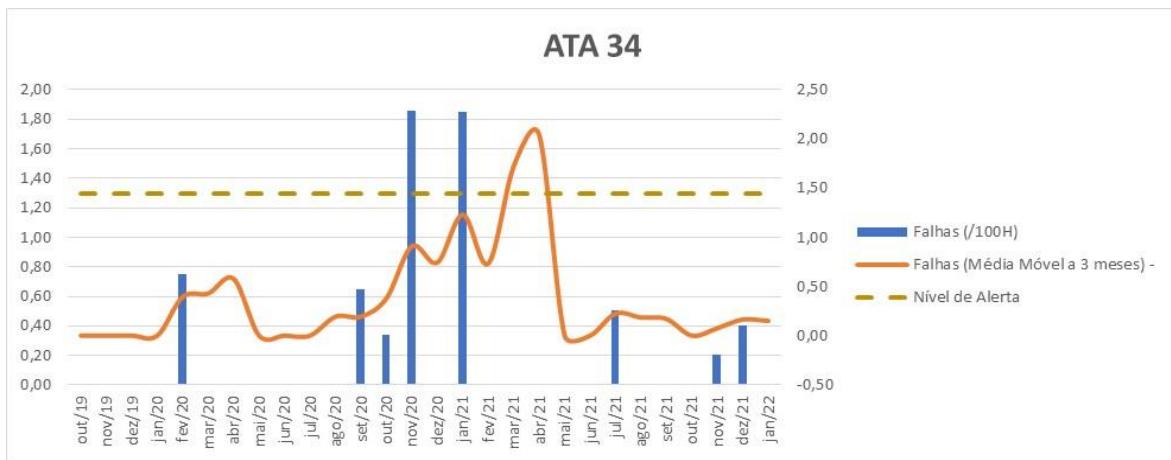


Figura 3-13 - - Distribuição de Falhas do capítulo ATA 34

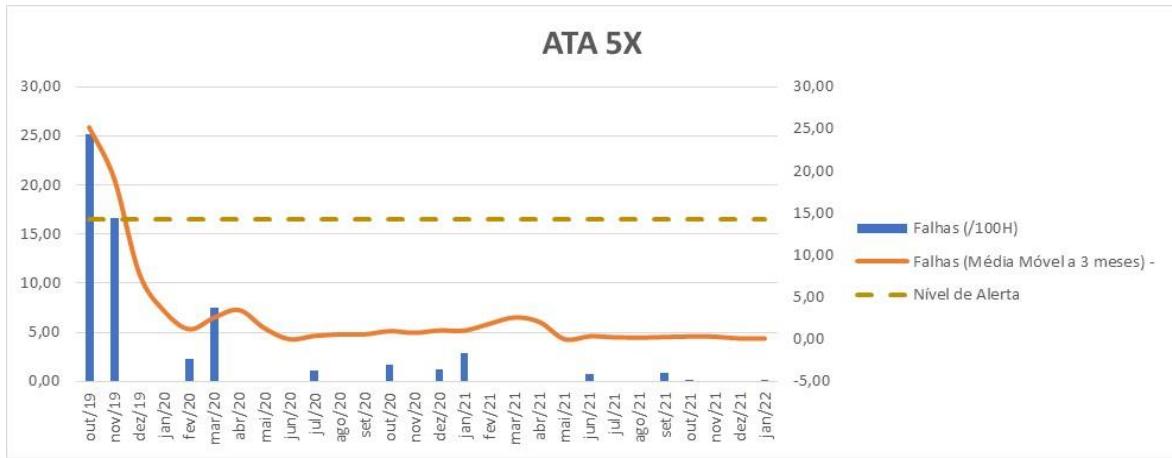


Figura 3-14 - Distribuição de Falhas dos capítulos ATA 5X

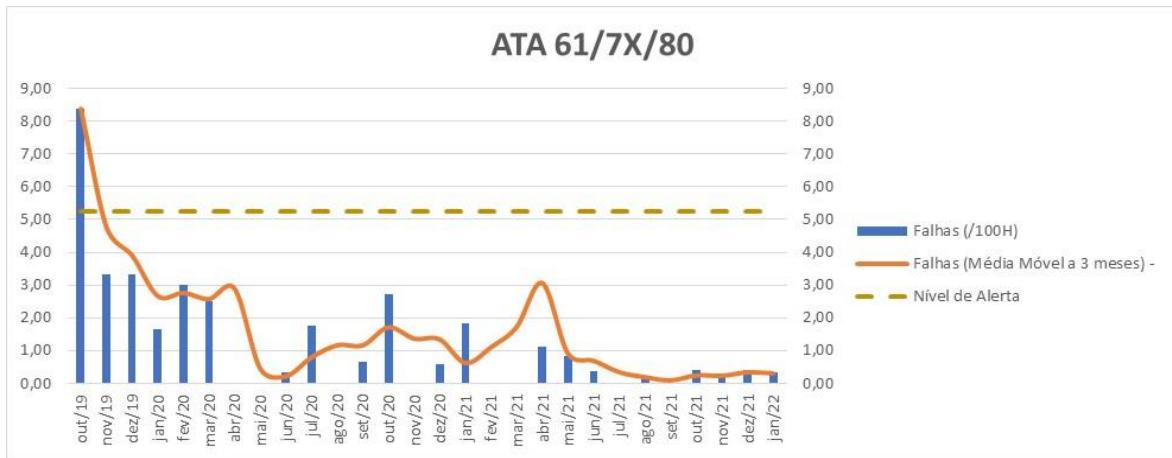


Figura 3-15 - Distribuição de Falhas dos capítulos ATA 61 / 7X / 80

Conforme se pode verificar, todos os conjuntos de capítulos ATA têm fases em que as suas falhas estão acima dos níveis de alerta, podendo evidenciar-se um desajuste dos Programas de Manutenção utilizados à operação e frota em questão.

4 Realização do Processo MSG-3

Conforme contextualizado no capítulo 2.1.2, foi elaborado um estudo completo da aeronave e seus sistemas tendo em conta os fundamentos da Filosofia de manutenção MSG-3.

Esta filosofia, foi posta em prática, simulando os resultados de uma reunião do MSG. Foram tidos em conta todos os sistemas da aeronave à exceção do motor e fuselagem conforme se referiu anteriormente.

A implementação da filosofia MSG-3 seguiu os seguintes passos:

- Passagem dos capítulos referidos nos manuais Cessna para referência ATA;
- Levantamento dos MSI e decisão do grupo de estudo;
- Análise dos vários MSI;
- Decisão do tipo de tarefa;
- Decisão da periodicidade.

4.1 Passagem da informação para capítulos ATA

Conforme referido no capítulo 1.1, a idade dos manuais utilizados pelos fabricantes é um obstáculo na estandardização dos conceitos de manutenção e implementação das filosofias atuais.

Para realizar a seleção dos MSI; foi então necessário recorrer ao catálogo de peças – *Illustrated Parts Catalog* (IPC) dos modelos em questão de forma a definir todos os sistemas integrantes das aeronaves e seus subsistemas até chegar aos níveis de estudo pretendidos.

No caso dos Cessna 152 o IPC está dividido em 91 figuras. Estas figuras referem a vários sistemas da aeronave e sua montagem e apresentam uma organização típica de imagem com setas numeradas que remetem para uma tabela com referências de componentes.

Não é feita nenhuma referência aos capítulos ATA conforme se demonstra a título de exemplo, um excerto deste manual na Figura 4-1 - Excerto do IPC Cessna 152Figura 4-1.

Os manuais dos Cessna 172, seguem a mesma filosofia, sendo divididos em 106 figuras uma vez que existem mais variações opcionais aos modelos.

É de referir ainda que não existe qualquer tipo de customização dos manuais em estudo. O manual é aplicável a todos os modelos de aeronaves, sendo o operador responsável por verificar quais os sistemas instalados e qual a variação do modelo sobre a qual irá ser efetuado o trabalho.

P692: Revision - 0, Revision Date - Mar 15, 1996

- + Introduction
- Parts Listing
 - Figure 1 - Miscellaneous Bulk Items
 - Figure 1A - Registration Markings
 - Figure 2 - Placards, Nameplates and Exterior Markings
 - Figure 2A - Placards, Nameplates and Exterior Markings
 - Figure 3 - Wing Assembly Complete - Standard and Extended Range
 - Figure 4 - Wing Structure Assembly - Standard Range

Figura 4-1 - Excerto do IPC Cessna 152 [19]

A processo de estudo destes manuais, resultou na correspondência entre figuras e capítulos / subcapítulos ATA conforme apresentado na Tabela 4-1.

Tabela 4-1 - Associação de Figuras Cessna a Capítulos ATA

Figura Cessna 152	Figura Cessna 172	Capítulo ATA	Sub Capítulo ATA
Figuras 1A / 2 / 2A	Figuras 1A / 2 / 2A	11	11-01 / 11-02 / 11-03 / 11-04 / 11-05 / 11-06
Figuras 3 / 4 / 5 / 6 / 7 / 8 / 9 / 10 / 11	Figuras 3 / 4 / 4A / 5 / 6 / 6A / 6B / 7 / 7A / 8 / 8A / 9 / 9A	33 / 57	33-40 / 57-10 / 57-20 / 57-30 / 57-40 / 57-60
Figuras 12 / 13 / 14	Figuras 10 / 11 / 12	28	28-10
Figura 15	Figura 13	27	27-10
Figura 16	Figura 14	27	27-50
Figura 17	Figura 15	53	53-20
Figuras 18 / 18A / 19 / 19A	Figura 18	55	55-10
Figuras 20 / 21 / 21A	Figuras 19 / 20	27 e 55	27-30 / 55-20
Figura 22	Figura 16	55	55-30
Figura 23	Figuras 17 / 17A	27 e 55	27-20 / 55-40
Figuras 24 / 25 / 26 / 27 / 27A / 28 / 29 / 30 / 31 / 32	Figuras 21 / 22 / 22A / 23 / 23A / 24 / 24A / 24B / 25 / 26 / 27 / 27A / 28 / 29 / 30 / 31 / 32 / 33 / 34 / 35 / 36 / 36A	53	53-10 / 53-20 / 53-30 / 53-40 / 53-50
Figuras 33 / 34 / 35 / 36 / 37 / 38 / 39 / 40	Figuras 37 / 38 / 39 / 40 / 40A / 41 / 42 / 43 / 44 / 44A	32	32-10 / 32-20 / 32-30 / 32-40 / 32-50

Figuras 42 / 42 / 43	Figuras 45 / 45A / 45B / 46 / 46A / 46B / 47 / 47A / 47B / 48 / 48A / 49 / 49A	52	52-10 / 52-30
Figuras 44 / 45 / 45A	Figuras 50 / 50A / 50B / 51	25	25-10
Figura 46	Figuras 52 / 52A / 52B	25	25-80
Figuras 47 / 48 / 48A / 49 / 50 / 50A / 51	Figuras 53 / 53A / 54 / 54A / 55 / 55A / 55B / 56 / 57	25	25-10
Figuras 52 / 52A / 52B	Figuras 58 / 58A / 58B / 58C / 58D	34	34-10 / 34-20 / 34-30 / 34-50
Figura 53	-	24	24-60
Figuras 53A / 53B	Figuras 58E / 58F	33	33-10
Figuras 54 / 54A / 55 / 56	Figuras 59 / 59A / 60 / 60 ^a / 61 / 61A / 62	25	25-10
Figura 57	-	34	34-20
Figura 58	Figura 63	53	53-20
Figura 59	Figura 63A	23	23-60
Figura 59A	-	26	26-20
Figura 60	Figura 64 / 64A	61	61-10 / 61-20
Figuras 61A / 61B / 61C / 61D	Figuras 65 / 65A / 66 / 66A / 67 / 67A / 67B / 67C / 67D / 72 / 72A	71	71-10
Figura 62	Figuras 68 / 68A / 68C / 68D	71	71-20 / 71-40
Figura 63	Figura 69 / 69A	24 / 71 / 72 / 73 / 74	24-10 / 71-50 / 71-60 / 72-10 / 73-10 / 73-20 / 74-10
Figura 63A	Figura 68B	79	79-20
Figuras 64 / 61A / 64B / 65	Figura 70	78	78-10 / 78-20
Figura 66	Figuras 71 / 71A / 71B / 71C	71	71-60
Figuras 67 / 67A	Figura 63B / 73 / 74	21	21-20 / 21-60
Figura 68	Figura 76	27	27-20
Figuras 69 / 69A	Figuras 75 / 77	32	32-40

Figura 70	Figuras 78 / 79	27	27-10
Figura 71	Figuras 83 / 83A / 83B	27	27-20
Figuras 72 / 72A	-	27	27-10
Figura 73 / 74	Figuras 82 / 82A	27	27-50
Figuras 75 / 75A / 76	Figuras 80 / 81	27	27-30
Figuras 77 / 78	Figuras 84 / 84A / 85	34	34-10
Figura 80	-	32	32-40
Figuras 81 / 82 / 83	Figuras 87 / 87A / 87B / 87C / 88 / 89 / 89 ^a / 89B / 90 / 90 ^a / 90B	28	28-20 / 28-40
Figura 84	Figuras 86 / 86A / 86B	79	79-20 / 79-30
Figuras 85 / 85A / 85B	Figuras 91 / 91A / 91B / 91C	37	37-10 / 37-20
Figuras 86 / 86A	Figuras 96 / 96A	24	24-10 / 24-40 / 24-60
Figuras 88 / 88A / 89	Figuras 98 / 99 / 99 ^a / 100 / 101	33	33-40
Figura 90	Figuras 104 / 105	23	23-10
Figura 91	Figuras 97 / 97A / 97B / 102 / 103	33	33-10
-	Figura 92	73	73-20
-	Figuras 93 / 94 / 95	53	53-20
-	Figura 106	24	24-40

Após realizar esta associação entre figuras presentes nos manuais Cessna e os capítulos ATA, passou-se à customização de todos os capítulos face aos equipamentos instalados nas aeronaves em causa uma vez que nos manuais Cessna, vêm descritos sistemas e componentes que são opcionais e como tal não fazem parte da frota em estudo.

Foram ainda acrescentados alguns capítulos ATA ao estudo como o capítulo 22 referente aos sistemas de Piloto Automático. Apesar de não fazer parte do fabrico original da aeronave, foram sistemas incluídos pelo operador na frota que merecem ser alvo de estudo.

É de notar ainda que os manuais Cessna, apesar de seguirem a mesma filosofia, são diferentes ao nível do detalhe, sendo o manual do Cessna 172 mais explícito em relação aos detalhes de alguns sistemas. Para além do nível de detalhe, o modelo Cessna 172, possui mais variações de equipamento o que faz com que o seu manual seja mais extenso.

A concretização deste passo resultou numa tabela cujo excerto se mostra na Figura 4-2.

Seleção de MSI			
Passo 1			
Descrição	ATA	Sub-ATA	Sistema
Navegação	34	34-10	Informação de Ambiente de Voo

Figura 4-2 – Excerto da tabela de separação do estudo em Capítulos ATA e Sub-ATA

4.2 Levantamento e Identificação dos MSI

Após se estabelecerem as correspondências entre os manuais da Cessna e os respetivos capítulos ATA, procedeu-se ao levantamento dos MSI.

Para tal, foram observados os IPC dos modelos em estudo e procedeu-se à divisão em sistemas, respeitando a divisão em capítulos ATA. Posteriormente estes sistemas foram divididos em subsistemas e componentes, até se chegar ao nível mais baixo.

Após se decidirem os níveis práticos mais baixos de trabalho foram então estudados os sistemas e identificados os MSI sujeitos a estudo.

Uma vez identificados os MSI candidatos a estudo por uma análise MSG-3, colocaram-se as perguntas identificadas no passo 3 da secção 2.1.2.1.

A partir desta análise, e uma vez que a resposta às quatro perguntas foi “Não” decidiu-se eliminar do estudo MSG os pontos referidos na Tabela 4-2.

Tabela 4-2 - MSI eliminados do estudo MSG-3

Capítulo ATA	Subcapítulo ATA	Sistema	MSI
11	11-20	Placards Fuselagem Exterior	Placards Fuselagem Exterior
			Placards Asas e Cauda
			Placards Fairings
			Placards Superfícies de Controlo
	11-30		Placards de Instrumentos e painel de controlo
	Placards Interiores	Placards de Cabine	

21	21-60	Controlo de Temperatura	Unidade de Controlo de Temperatura na Cabine
23	23-40	Interfonia	Microfone
	23-60	Descarga de Estática	Pontas de Descarga de Estática
25	25-10	Compartimento de Voo	Forra e Estofo dos Assentos
			Painéis
			Equipamento Auxiliar
			Carpete
	25-60	Sistemas de Salvamento	Kit de Primeiros Socorros
32	32-20	Trem de Nariz	<i>Shimmy Damper</i>
	32-50	Direção	Foles de Proteção
33	33-10	Compartimento de Voo	Cúpula de Iluminação interior
77	77-20	Indicadores de Temperatura	Leitura <i>Exhaust Gas Temperature</i> (EGT)
			Leitura <i>Cylinder Head Temperature</i> (CHT)

É importante referir que, por exemplo no caso do Kit de Primeiros Socorros, a responsabilidade do controlo dos MSI é do departamento operacional e não da manutenção pelo que se decidiu retirar este item.

O levantamento dos vários MSI e a identificação daqueles que seriam sujeitos a uma análise MSG-3, resultou numa tabela cujo excerto se apresenta na Figura 4-3.

Passo 2	MSI	Seleção de MSI				Passo 4	
		Passo 3					
		Questão 1	Questão 2	Questão 3	Questão 4		
Sistema de Altimetria	Altimetro	Sim	Sim	Sim	Sim	Sistema de Altimetria	
	Tubagens de pressão	Sim	Sim	Sim	Sim		
	Tomada de Estática	Sim	Sim	Sim	Sim		
	Codificador de Altitude	Sim	Sim	Sim	Sim		
	VSI	Não	Sim	Sim	Sim		
Sistema de Indicação de Velocidade Vertical	Tubo de Pitot	Sim	Sim	Sim	Sim	Sistema de Indicação de Velocidade Vertical	
	Tomada de Estática	Sim	Sim	Sim	Sim		
	Tubagens de Pressão	Sim	Sim	Sim	Sim		
	ASI	Não	Sim	Sim	Sim		
Sistema de indicação de velocidade horizontal	Tubo de Pitot	Sim	Sim	Sim	Sim	Sistema de indicação de velocidade horizontal	
	Tomada de Estática	Sim	Sim	Sim	Sim		
	Tubagens de Pressão	Sim	Sim	Sim	Sim		
	Avisador de Perda	Sim	Sim	Sim	Sim		
Sistema de Aviso de Perda	Tubagens	Sim	Sim	Sim	Sim		

Figura 4-3 – Exerto da tabela de seleção e identificação dos MSI sujeito a análise

4.3 Análise do MSI sujeitos a estudo

Após terem sido selecionados os MSI que seriam sujeitos a estudo, foi iniciada a sua análise. Esta análise incidiu sobre os impactos de segurança, operacionais e económicos da eventual falha de cada MSI.

A cada um dos MSI escolhidos foram então identificados os pontos descritos no Passo 4 da secção 2.1.2.1.

Com base nos pontos identificados, classificaram-se os MSI quanto a:

- Possibilidade de deixar a aeronave imobilizada – *Aircraft on Ground* (AOG)
- Possibilidade da falha original em acidente ou acidente grave
- Existência de sistemas redundantes

Esta análise permitiu enquadrar a importância do MSI nos sistemas da aeronave de forma que se pudessem elaborar os estudos seguintes.

Para além dos pontos mencionados, e com o apoio de especialistas na área, os MSI foram catalogados de acordo com a Matriz de impacto de segurança que se apresenta na Figura 4-4 - Matriz de Impacto de SegurançaFigura 4-4. Esta matriz classifica as consequências da falha do MSI numa escala de A a E quanto à severidade da falha e de 1 a 5 quanto à periodicidade com que a falha possa acontecer.

As classificações de acordo com a Matriz de impacto de segurança são então identificadas recorrendo a um código de cores (verde, amarelo e vermelho) consoante a severidade do seu impacto.

São considerados elementos críticos todos os MSI cuja análise de segurança operacional resulta numa classificação vermelha. Estes elementos deverão ser referidos nos Programas de Manutenção a customizar uma vez que a periodicidade de verificação ou manutenção não deverá ser excedida.

Severidade	Catastrófica	E	E1	E2	E3	E4	E5
	Perigosa	D	D1	D2	D3	D4	D5
	Maior	C	C1	C2	C3	C4	C5
	Menor	B	B1	B2	B3	B4	B5
	Insignificante	A	A1	A2	A3	A4	A5
		1	2	3	4	5	
		Extremamente Improvável	Improvável	Remota	Ocasional	Frequente	
		Frequência					

Figura 4-4 - Matriz de Impacto de Segurança [20]

Mais uma vez, o estudo da análise dos MSI, foi compilado e resultou numa tabela cujo excerto se apresenta na Figura 4-5.

Análise dos MSI				
Passo 1		Passo 2		
Questões de Análise		AOG	Acidente / Incidente	Caracterização Matriz Safety
a) Indicação de altitude ao piloto		Sim	Sim	D3
b) Falha na indicação de altitude / Leitura errada da altitude				No
c) Incapacidade de identificar a altitude				
d) Fugas no sistema / Erro de histerese no Altimetro / Danos eléctricos no Codificador				
a) Indicação da razão de subida-descida da aeronave		Sim	Sim	C3
b) Falha na indicação da velocidade vertical ou indicação errada				No
c) Incapacidade do piloto saber qual a razão de subida-descida e manter uma rota de acordo com o ATC				
d) Fugas no Sistema / Falha no instrumento				
a) Indicação da velocidade horizontal relativa ao solo da aeronave		Sim	Sim	C3
b) Falha na indicação da velocidade horizontal ou indicação errada				No
c) Incapacidade do piloto manter uma velocidade e adequar o regime de motor à situação				
d) Fugas no Sistema / Falha no instrumento				
a) Indicar ao piloto que se encontra a baixa velocidade e que entrará em perda		Sim	Sim	D2
b) Falha na indicação sonora / Falha na indicação Visual				No
c) Piloto não sabe que se encontra numa altitude-velocidade de perda				
d) Fugas no sistema / Dano no avisador sonoro				

Figura 4-5 - Exerto de Tabela de Análise dos MSI sujeitos a estudo

4.4 Decisão do tipo de tarefa Preventiva

Uma vez estudados os MSI e o seu impacto na segurança e operação da aeronave, prosseguiu-se com a análise MSG-3 através do procedimento descrito nos diagramas apresentados na Figura 2-5, presente na secção 2.1.2.

Para classificação das tarefas preventivas, foram usadas as definições apresentadas na Tabela 2-2 presente na secção 2.1.2.

O tipo de tarefa a realizar no MSI em causa, teve em conta a sua função e o tipo de solicitações a que este está sujeito. Assim, após concretização do tipo de tarefa associada, compilaram-se os dados numa tabela cujo excerto se encontra evidenciado na Figura 4-6.

Tipo de Tarefa Preventiva	
Acção Preventiva	Descrição
FUT	FUT do sistema de Estática (1) FUT do instrumento em bancada (2)
FUT	FUT do sistema de Estática / Dinâmica
FUT	FUT do sistema de Estática / Dinâmica
OPT	OPT do sistema de perda

Figura 4-6 - Excerto da Tabela de Identificação do tipo de tarefa preventiva

Para vários MSI, foram identificados vários tipos de tarefa preventiva de falha uma vez que as diversas solicitações podem levar a inspeções de natureza diferente.

4.5 Definição da Periodicidade das tarefas

Uma vez definido o tipo de tarefa preventiva de falha a realizar, foi necessário proceder aos intervalos com que cada tarefa deverá ser realizada.

Os dados utilizados na definição da periodicidade das tarefas, foram compilados numa tabela cujo excerto se apresenta na Figura 4-7.

Periodicidade de Realização de ações				
Passo 1	Passo 2	Passo 3	Passo 4	
Tipo de Manutenção	Uso Predominante	Tarefa	Intervalo	
Hard Time	FH / CL	FUT (1)	1000 FH 12 MO	01:00
		FUT (2)	24 MO	01:20
Condition Monitoring	FH / CL	FUT	1000 FH	00:35
			12 MO	00:35
Condition Monitoring	FH / CL	FUT	1000 FH	00:05
			12 MO	00:05
Condition Monitoring	FH	OPT	PF	-

Figura 4-7 - Excerto de Tabela utilizada para Definição da Periodicidade das Tarefas

Num primeiro passo, com a ajuda dos especialistas nas aeronaves em estudo, classificaram-se os MSI de acordo com a definição de processos em HT, OC e CM, conforme descrito na

secção 2.1.1.1. É de notar que, como esperado, a maioria dos MSI se classificam como estando no processo CM uma vez que não são vitais à segurança de voo e podem operar até à falha total.

Foi definido de seguida o uso predominante do MSI em causa de forma a agrupar as várias tarefas em pacotes de manutenção controlados por Horas de Operação (FH), Ciclos de Operação (CY) ou por Calendário (CL). A classificação do uso predominante teve em conta as solicitações a que o MSI está sujeito e qual o tipo de intervalo de controlo dessas solicitações.

Uma vez que os principais pacotes de manutenção definidos pelo fabricante são repetidos 200H ou 12 meses (o que for atingido primeiro), optou-se por manter o período dos 12 meses para a realização de uma inspeção total aos sistemas da aeronave uma vez que o limite de calendário se reflete nos itens que se deterioram com as condições ambientais, sendo estas independentes do tipo de operação.

Quanto ao limite relacionado com as horas de operação e uma vez que se estima serem realizadas cerca de 1000H por ano, optou-se por criar dois pacotes de manutenção principais:

- Pacote de Manutenção A – 500H de periodicidade
- Pacote de Manutenção B – 1000H ou 12 meses (o que se atingir primeiro)

As tarefas constantes do Pacote de Manutenção B deverão ser controladas de forma a serem realizadas ao mesmo tempo das do Pacote de Manutenção A.

Com uma operação contante das aeronaves em estudo, o ciclo de inspeções deverá ser dividido por duas inspeções anuais, sendo uma inspeção completa realizada anualmente. Assim, o ciclo anual de realização dos pacotes principais de manutenção será conforme exemplificado na Tabela 4-3.

Tabela 4-3 - Esquema de realização dos Pacotes de Manutenção Principais

	500H	1000H ou 12 meses
Paragem da aeronave	Pacote A	Pacote A + Pacote B

As outras tarefas que, quer pela sua importância, quer por questões legais, a sua periodicidade possa sair dos pacotes principais de manutenção, foram atribuídas periodicidades que se julgam serem possíveis de coordenar com os pacotes principais ou com inspeções intermédias realizadas no âmbito de inspeção ao motor a cada 50H.

Através da análise do tipo de tarefas a realizar, é ainda criado um pacote de trabalhos, identificado na tabela de suporte ao estudo, cujo excerto se pode ver na Figura 4-7, como PFLT - *Pre Fight*. Esta inspeção é composta por tarefas realizadas na inspeção *Pre Flight*, sendo realizada pela tripulação antes da realização de qualquer voo.

A lista de tarefas constante desta inspeção, teve em conta não ser necessária a utilização de quaisquer ferramentas para as realizar e serem tarefas de verificação imediata com a classificação OK ou Não OK, uma vez que se parte do princípio de que a tripulação não tem conhecimentos técnicos para julgar o estado de alguma avaria [21].

Nesta fase da análise, e de maneira a dar suporte às conclusões a retirar com este trabalho, foram observados e registados os tempos de realização de cada tarefa de manutenção.

4.5.1 Tempo de Realização dos vários Pacotes de Manutenção.

Conforme referido, na fase final da análise MSG-3 foram cronometrados os tempos relativos à realização das várias tarefas propostas.

Estes tempos, foram registados, arredondados a intervalos de 5 minutos criando a coluna relativa ao Passo 4 da tabela presente na Figura 4-7. Na contabilização destes tempo foi tido em conta a abertura de painéis e de acessos necessários à realização das inspeções, bem como as deslocações para obter materiais e ferramentas específicas.

De forma a calcular o tempo despendido num ciclo de manutenção, ou seja, até ser realizado o pacote de manutenção B, tiveram de ser tidas em conta as inspeções afetas à manutenção do motor. Por uma questão de especificidade e âmbito demasiado alargado, as ações relativas ao motor não foram estudadas.

Após cronometragem dos tempos, obtiveram-se os valores apresentados na Tabela 4-4:

Tabela 4-4 - Duração de cada um dos pacotes de manutenção

Pacote de Inspeção	Duração
Inspeção 50H Motor	6H
Inspeção 100H Motor	11H
Pacote de Inspeção A	35H
Pacote de Inspeção B	45H

De forma que seja criado um ponto de comparação quanto ao estado atual, foram verificados os tempos das manutenções contantes do Programa de Manutenção aprovado. Estes tempos

foram verificados com recurso ao histórico das manutenções efetuadas e podem ser verificados na Tabela 4-5.

Tabela 4-5 - Duração dos pacotes de manutenção atuais

Pacote de Inspeção	Duração
Inspeção 50H	8H
Inspeção 100H	16H
Inspeção 200H	24H

No caso atual, não existem inspeções específicas do motor uma vez que o Manual de Manutenção emitido pelo TC tem inspeções divididas por estes três intervalos.

4.6 Programa de manutenção após aplicação de filosofia MSG-3

Após aplicação da filosofia MSG-3 às aeronaves em estudo, foi criado um programa de manutenção para os sistemas da aeronave.

A título de exemplo encontra-se na Figura 4-8 um excerto do Programa de Manutenção. A totalidade das tarefas pode ser encontrada no Anexo II deste documento.

PMA Cessna 152 / 172				
Descrição	ATA	Sub-ATA	Sistema	Sub-Sistema
Ventilação	21	21-20	Distribuição de Ar	Tubagem de Ar
				Unidade Permutadora de Calor
Piloto Automático	22	22-10	Piloto Automático	Unidade de controlo de AP
				Servos de controlo de AP

PMA Cessna 152 / 172 (Cont)				
Descrição	Uso Predominante	Tarefa	Intervalo	Duração
GVI de Tubagens, ligações e fixações	FH	GVI	500 FH	00:15
OPT do funcionamento do sistema aquando do Run-Up de entrada	FH	OPT	100 FH	00:30
OPT do sistema AP	FH	OPT	100 FH	00:05
GVI Do Sistema Eléctrico	FH	GVI	500 FH	00:25
OPT do sistema AP	FH	OPT	100 FH	00:05
GVI Do Sistema de Cabos	FH	GVI	500 FH	00:20

Figura 4-8 - Exerto de Programa de Manutenção Cessna 152 / 172

5 Conclusões

Após a realização deste estudo, torna-se possível retirar algumas conclusões e propor sugestões de trabalho futuro.

As conclusões podem ter impactos variados, dos quais se destacam três principais:

- Impacto ao nível da fiabilidade de operação
- Impacto ao nível da disponibilidade
- Impacto económico direto

Estes impactos, certamente trarão mudanças ao nível de funcionamento da escola de aviação em estudo caso sejam aplicados os resultados deste trabalho.

5.1 Impacto ao nível da fiabilidade de operação

Conforme referido várias vezes ao longo deste documento, os manuais disponibilizados pela Cessna, enquanto detentor do TC, para os modelos em estudo, estão bastante desatualizados e são parcisos em informação de inspeção.

Ao terem sido realizados e compilados sem recorrer ao estudo do impacto das falhas dos vários sistemas, foi posta de parte uma correta descrição das tarefas a realizar. Sem uma descrição exata das tarefas a realizar e quais os seus contornos, são inevitavelmente deixados por realizar alguns testes ou inspeções necessárias à boa operação das aeronaves.

A título de exemplo pode-se falar no caso do motor de ação do mecanismo posicional dos *flaps* que é referido na literatura do fabricante, mas sem qualquer menção ao tipo de inspeção ou teste, ficando o técnico sem informação exata.

É de esperar então um aumento da fiabilidade de operação no geral uma vez que a informação das inspeções a realizar, que é passada ao técnico tem a indicação do nível de detalhe exigido e sobre o mesmo MSI podem inclusive incidir vários tipos de inspeção/teste, consoante a solicitação do mesmo.

Este aumento da fiabilidade operacional irá reduzir o número de horas consideradas AOG, descrito na Tabela 1-2.

5.2 Impacto ao nível da disponibilidade

O estudo realizado cobriu o período de Outubro de 2019 a Janeiro de 2022. Apesar de contemplar 28 meses de operação, os dados obtidos do histórico de operações acabam por ser algo inconstantes uma vez que a escola parou por várias vezes devido aos efeitos da pandemia. No geral a escola de aviação em estudo teve parada cerca de 7 meses o que,

entre efeitos de arranque de operação e preparação para paragem de operação levou a que existissem dados algo atípicos de operação.

Não obstante, e uma vez que o objetivo da escola se mantém nas 1000H anuais de operação por aeronave, foram comparados ciclos completos de manutenção tendo em conta os tipos de inspeção e a sua duração antes e depois da aplicação da filosofia MSG-3. Estes valores encontram-se descritos na Tabela 5-1.

Tabela 5-1 - Tempo ocupado em manutenção programada num ciclo de 1000H de operação

Ciclos Pré MSG-3		Ciclos Pós MSG-3	
Pacotes de Inspeção	Duração (h)	Pacotes de Inspeção	Duração (h)
50 FH	8	50 FH	6
100 FH	16	100 FH	11
50 FH	8	50 FH	6
200 FH	24	100 FH	11
50 FH	8	50 FH	6
100 FH	16	100 FH	11
50 FH	8	50 FH	6
200 FH	24	100 FH	11
50 FH	8	50 FH	6
100 FH	16	500 FH	35
50 FH	8	50 FH	6
200 FH	24	100 FH	11
50 FH	8	50 FH	6
100 FH	16	100 FH	11
50 FH	8	50 FH	6
200 FH	24	100 FH	11
50 FH	8	50 FH	6
100 FH	16	100 FH	11
50 FH	8	50 FH	6
1000 FH	40	1000 FH	45
Total	296	Total	228

O tempo de duração da realização dos vários pacotes de manutenção, é apresentado em horas e deve ser tido em conta que:

- O período laboral é de 8h diárias
- A oficina labora 5 dias por semana
- Cada pacote de inspeção é realizado por uma equipa de dois técnicos

Está também contabilizada, em cada pacote de manutenção, a duração da realização das inspeções de entrada e saída que são comuns a todos os pacotes de manutenção mencionados. Destas inspeções de entrada e saída contam ensaios básicos como a rolagem da aeronave e o ensaio de ponto fixo ao motor.

Ao comparar a duração da realização dos ciclos de inspeção em cada um dos casos, é possível constatar que existe uma redução de 68H, cerca de 23%, de duração das tarefas de manutenção com a aplicação dos conceitos da filosofia MSG-3.

Admitindo que cada aeronave opera 8h diárias, a redução mencionada equivale a mais 8,5 dias de trabalho anual disponíveis em cada aeronave, o que num universo de 7 aeronaves estudadas se reflete num acréscimo de 59,5 dias anuais. Sendo a frota em questão bastante relevante e operada durante todo o curso de um piloto de ATPL, considera-se que o impacto das alterações sugeridas é bastante relevante.

5.3 Impacto económico direto

Com o ajuste da periodicidade dos pacotes de manutenção, virá inevitavelmente uma redução a nível de custos de manutenção para a escola de manutenção estudada.

No caso concreto, a manutenção é faturada à hora do técnico. Admitindo que um valor médio atribuído a um técnico de manutenção é de 50€/h, pode verificar-se que a redução anual por aeronave é considerável.

Considerando que os pacotes de manutenção são sempre realizados no mínimo por 2 técnicos, a redução esperada em custos de mão de obra é de 6800€ anuais, equivalente a 136h de mão de obra reduzida face ao programa atual.

Extrapolando o impacto ao nível da fiabilidade de operação, podem ainda ser reduzidos outros custos relacionados com a mão de obra utilizada na correção de falhas decorrentes da operação bem como em material danificado associado a estas falhas.

5.4 Sugestões de trabalho futuro

Após realizar este trabalho, foram identificados vários pontos que poderão ser explorados de maneira a reduzir ainda mais o tempo de imobilização das aeronaves e o aumento da fiabilidade operacional.

- Um dos pontos que não foi estudado ao longo deste trabalho foi o motor. Face à robustez verificada nas unidades de potência instaladas nestas aeronaves, julga-se que através de estudos fiabilísticos poderá ser estudada a hipótese de abolir completamente o pacote de inspeção de 50H, o que se iria refletir numa redução de 60H de trabalhos de manutenção, ou seja, um acréscimo de 7,5 dias na operação por aeronave ou 52,5 dias na frota estudada.
- Uma outra hipótese para possível aplicação nas unidades de potência envolvidas é o estudo da possibilidade destes motores serem acompanhados *On Condition* em vez de serem removidos a cada 2400H de operação como são hoje. Julga-se que através de sensorização correta aplicada através de *Engine Analyzers*, será possível obter parâmetros de motor que permitam acompanhar o funcionamento do motor, atuando apenas nas alturas chaves e reduzindo, uma vez mais, o tempo de paragem das aeronaves.
- Muitas outras ações como a melhoria dos processos de manutenção, aliados ao estudo de eficiência dos técnicos em hangar ou a segmentação de determinadas aeronaves a fases distintas do curso ou mesmo a otimização das operações de treino poderão ser realizadas, trazendo benefícios inquestionáveis à aviação geral a nível de redução de custos e aumento da disponibilidade de equipamentos e segurança operacional.

O estudo realizado poderá ainda ser extrapolado para diversos ramos da indústria no geral. É sabido que a otimização dos programas de manutenção de todos os equipamentos tem um grande impacto na sua disponibilidade e na produtividade das organizações. A atualização dos Programas de Manutenção com a adaptação do método estudado, poderá evidenciar uma manutenção desajustada ao funcionamento dos equipamentos, trazendo benefícios claros na fiabilidade de componentes e tempo de inatividade.

Fazendo um estudo dos sistemas de cima para baixo, baseado nas falhas encontradas, e colocando as questões do MSG-3 adaptadas ao ramo da indústria em questão, levará a que a realização das tarefas seja focada na resolução e prevenção das falhas, substituindo tarefas que são muitas vezes direcionadas apenas ao componente do sistemas.

6 Referencias Bibliográficas

- [1] Kearney Consultancy: The Future of Aviation: Could COVID-19 be the first and final crisis for airlines? Acedido em 24 de Março de 2022, em <https://www.kearney.com/covid-19/article-/insights/the-future-of-aviation-could-covid-19-be-the-first-and-final-crisis-for-airlines>
- [2] Schlangenstein, M.; Bachman, J. para a TIME: Airlines Substitute aircrafts for Buses as Pilot Shortage persists. Acedido em 8 de Maio de 2022, em <https://time.com/6170090/pilot-shortages-persist/>
- [3] Larsen, M. para a FlightLogger: Impact of Covid-19 on Pilot Training. Acedido em 8 de Maio de 2022, em <https://flightlogger.net/2021/05/14/covid-19-may-update/>
- [4] EASA: Operations in General Aviation. Acedido em 22 de Março de 2022, em <https://www.easa.europa.eu/domains/general-aviation/operations-general-aviation>
- [5] NICOCRAFT: Top 5 Training aircrafts of all time. Acedido em 22 de Março de 2022, em <https://www.nicrocraft.com/top-5-training-aircraft-of-all-time>
- [6] Model 152 Series (1968-1975) Maintenance Manual – D2064-1TR10. (Agosto 2020). Textron Aviation
- [7] Model 172 Series (1977-1986) Maintenance Manual – D2065-3TR9. (Agosto 2020). Textron Aviation
- [8] International Civil Aviation Organization. (2009). Tenth Session of the statistics division – Review of the classification and definitions used for civil aviation activities. ICAO. Montreal. Canada.
- [9] International Council of Aircraft Owner and Pilot Associations. AOPA. Frederik, Maryland, EUA.
- [10] SEL-05-01, Revision 1. (Novembro 2012). Textron Aviation
- [11] Bentley, S. paraq a Sofema: Notes on the evolution of the MSG-3 (Maintenance Steering Group Logic-3). Acedido em 28 de Abril de 2022, em <https://sassofia.com/blog/notes-on-the-evolution-of-msg-3-maintenance-steering-group-logic-3/>
- [12] Kinnison, H. (2004). Aviation Maintenance Management. McGraw-Hill
- [13] Nowlan, F. (1978). Reliability Centered Maintenance. United Airlines. São Francisco. EUA.
- [14] NASA. (2008). RCM Guide – Reliability Centered Maintenance Guide for facilities and Collateral Equipment

[15] FAA: Section 29 Process-Oriented Maintenance Program to a Task-Oriented Maintenance Program Conversion, and Maintenance Steering Group (MSG)-2 to MSG-3 Conversion. Acedido em 12 de Janeiro de 2022, <https://fsims.faa.gov/PICDetail.aspx?docId=8900.1,Vol.6,Ch2,Sec29>

[16] Air Transport Association. (2005). ATA MSG-3 – Operator/Manufacturer Scheduled maintenance Development. ATA. Washington. EUA

[17] SKYBRARY: ATA Classification. Acedido em 23 de Janeiro, em <https://skybrary.aero/articles/ata-classification>

[18] Amborsky, J. (2006). Calculation of Alert Levels for Reliability. Institute of Aviation. Warsow. Poland

[19] Model 152 Series (1978-1985) Parts Catalog – P692. (Março 1996). Textron Aviation

[20] International Civil Aviation Organization. (2018). Safety Management Manual – DOC 9859. ICAO. Montreal. Canada

[21] Regulamento (UE) N.º 1321/2014 DA COMISSÃO. (Novembro 2014). Aeronavegabilidade permanente das aeronaves e dos produtos, peças e equipamentos aeronáuticos, bem como à certificação das entidades e do pessoal envolvidos nestas tarefas. Bruxelas. Bélgica

Anexo. I

Por motivos de confidencialidade, apenas parte da tabela é apresentada.

Seleção de MSI				Seleção de MSI			
Descrição	ATA	Sub-ATA	Sistema	Passo 1		Passo 2	
				Passo 1	MSI	Passo 2	MSI
Placards	11	11-01	Placards Fuselagem Exterior	Placards Fuselagem Exterior	No	Questão 1	Questão 4
		11-02	Placards Asas e Cauda	Placards Asas e Cauda	No	Questão 2	Passo 3
		11-03	Placards Fairings	Placards Fairings	No	Questão 3	Passo 4
		11-04	Placards Superfícies de Controlo	Placards Superfícies de Controlo	No	Nível Significante	
		11-05	Placards de Instrumentos e painel de controlo	Placards de Instrumentos e painel de controlo	No		
		11-06	Placards de Cabine	Placards de Cabine	No		
Ventilação	21			Tubagem de Ar	Yes	Questão 1	Questão 4
		21-20	Distribuição de Ar	Unidade Permutadora de Calor	No	Questão 2	Passo 3
		21-60	Controlo de Temperatura	Unidade de controlo de Temperatura	No	Questão 3	Passo 4
				Unidade de controlo de AP	No	Nível Significante	
Piloto Automático	22	22-10	Piloto Automático	Servos de controlo de AP	No	Questão 1	Passo 3
				Servos de controlo de AP	Yes	Questão 2	Passo 4

Anexo. II

Neste anexo é apresentado o PMA compilado na sua totalidade

PMA Cessna 152 / 172							
Descrição	ATA	Sub-ATA	Sistema	Sub-Sistema	Descrição	Uso Predominante	Tarefa
						Intervalo	Duração
Ventilação	21	21-20	Distribuição de Ar	Tubagem de Ar	GVI de Tubagens, ligações e fixações	FH	GVI 500 FH 00:15
				Unidade Permutadora de Calor	OPT do funcionamento do sistema aquando do Run-Up de entrada	FH	OPT 100 FH 00:30
Piloto Automático	22	22-10	Piloto Automático	Unidade de controlo de AP	OPT do sistema AP	FH	OPT 100 FH 00:05
				Servos de controlo de AP	GVI Do Sistema Eléctrico	FH	GVI 500 FH 00:25
				Unidade COMM	OPT do sistema AP	FH	OPT 100 FH 00:05
Comunicações	23	23-10	Rádios - COMM/NAV	PTT (Push to Talk)	GVI Do Sistema de Cabos	FH	GVI 500 FH 00:20
				Caixa de Controlo de Audio	OPT do sistema de Transmissão/Recepção	-	OPT PFLT -
				Interfoneia	OPT do sistema de Transmissão	-	OPT PFLT -
		23-40			GVI do Sistema Eléctrico	FH	GVI 500 FH 00:20
					OPT do sistema de Transmissão/Recepção das várias unidades COMM instaladas	-	OPT PFLT -
					GVI do sistema Eléctrico e Montagem de Equipamento	FH	GVI 500 FH 00:15
					OPT do sistema de comunicação entre tripulantes	-	OPT PFLT -

				SVC do nível de electrolito	FH / CL	SVC	50 FH	00:20
			Bateria	OPT com teste de capacidade	FH	OPT	100 FH	00:30
				GV do estado geral da bateria e seu sistema eléctrico (Terminals / Conectores e cablagens)	FH	GV	100 FH	00:10
				OPT durante Run-Up de Entrada	FH	OPT	100 FH	00:00
			Alternador	GV dos terminais e cablagem de ligação	FH	GV	100 FH	00:20
				FUT em bancada com desassembly e verificação de escovas	FH	FUT	500 FH	00:40
				OPT medindo a voltagem de saída do alternador e ajustando se necessário	FH	OPT	500 FH	00:10
			Regulador de Voltagem	GV das cablagens de ligação	FH	GV	500 FH	00:15
				OPT do sistema fazendo um arranque com GPU	FH / CL	OPT	1000 FH	00:10
			GPU System	GV do sistema de cablagem eléctrica, conectores e terminais	FH	GV	1000 FH	00:05
			Harness Eléctrico	DVI do harness de cablagem eléctrico situado na firewall e sua passagem para o interior da aeronave	FH	DVI	500 FH	00:15
			Disjuntores (Circuit Breakers)	GV verificando que todos os CBs se encontram para dentro	FH	GV	100 FH	00:05
				DVI dos BUS de ligação aos CBs, sua cablagem, terminais e conectores	FH	DVI	500 FH	00:15
			Interruptor Principal (Master Switch)	DVI do sistema de cablagem eléctrico, mola de fixação e estado geral dos botões	FH	DVI	500 FH	00:15
			Interruptores Secundários (Switches)	OPT dos vários interruptores, verificando as suas funções	FH	OPT	100 FH	00:05
				DVI do sistema de cablagem eléctrico, fixações, estado geral dos botões	FH	DVI	500 FH	00:20
			Canhão de Ignição	OPT de todos os modos de funcionamento durante o Run-Up de entrada	FH	OPT	50 FH	00:00
				DVI do sistema de cablagem eléctrico	FH	DVI	500 FH	00:10

27-10	Aileron	Manches	DVI da estrutura dos manches	FH	DVI	500 FH	00:20	
			OPT quanto à amplitude e liberdade de movimentos	-	OPT	PFLT	-	
			ADJ do sistema de cabos, com medição de tensões e amplitudes	FH	ADJ	500 FH	00:40	
		Sistema Comando Aileron	DVI ao sistema de polias, passadores, cabos e correntes	FH	DVI	500 FH	00:20	
27-20	Leme de Direcção	Sistema de Pedais	DVI da estrutura dos pedais, tirantes e ligações	FH	DVI	500 FH	00:35	
			OPT quanto à amplitude e liberdade de movimentos	-	OPT	PFLT	-	
			ADJ do sistema de cabos, com medição de distância e amplitude	FH	ADJ	500 FH	00:35	
		Sistema de Comando do Leme de Direcção	DVI ao sistema de polias, passadores, cabos e correntes	FH	DVI	500 FH	00:10	
27	Superfícies de Controlo	Sistema de Comando do Leme de Profundidade	ADJ do sistema de cabos, com medição de tensões e amplitudes	FH	ADJ	500 FH	00:35	
			DVI ao sistema de polias, passadores, cabos e fixações	FH	DVI	500 FH	00:20	
		Sistema de Comando do Compensador do Leme de Profundidade	ADJ do sistema de cabos, com medição de correntes e fixações	FH	ADJ	500 FH	00:40	
			DVI ao sistema de polias, passadores, cabos e correntes	FH	DVI	500 FH	00:20	
			OPT do funcionamento do selector de flaps	-	OPT	PFLT	-	
27-30	Leme de Profundidade	Sistema de Controlo de Flaps	GVI da fixação do selector e seu sistema de limitadores de curso, incluindo o motor e respectiva fixação	FH	GVI	500 FH	00:10	
			ADJ do sistema de cabos, com medição de tensões e amplitudes	FH	ADJ	500 FH	00:40	
27-50	Flaps	Sistema de Comando de Flaps	DVI ao sistema de polias, passadores, cabos e correntes	FH	DVI	500 FH	00:20	

	28-10	Armazenamento	Tanques de Combustível	DVI aos tanques e suas ligações	FH	DVI	1000 FH	01:50
			GVI das tubagens	FH	GVI	500 FH	00:25	
			OPT da válvula selectora	-	OPT	PFLT	-	
			CLN da válvula selectora	FH	CLN	1000 FH	00:40	
			OPT do funcionamento do primer e sua liberdade de movimentos	-	OPT	PFLT	-	
			GVI da fixação e do sistema de tubagens que alimentam o motor	FH	GVI	500 FH	00:10	
			CLN dos filtros de malha localizados à saída dos tanques de combustível	FH	CLN	1000 FH	00:10	
			OPT das válvulas de drenagem de combustível	-	OPT	PFLT	-	
			OPT da válvula de drenagem do Gascolator	-	OPT	PFLT	-	
			CLN da cuba do Gascolator	FH	CLN	500 FH	00:15	
			OPT do funcionamento do sistema	-	OPT	PFLT	-	
			FUT do sistema de indicação	FH	FUT	1000 FH	00:55	
	28-40	Indicação	Sistema Indicador de Pressão de Combustível	OPT do funcionamento do sistema	-	OPT	PFLT	-

32-10	Trem Principal	Estrutura de Trem	DVI da estrutura do trem e sua fixação	CY / CL	DVI	1000 CY	01:30
	Eixo da Roda	DVI dos eixos das rodas		CY / CL	DVI	1000 CY	00:20
		LUB de todas as uniões móveis	FH	LUB	100 FH	00:10	
		Estrutura Perna de Trem	DVI da estrutura da Perna do trem	CY / CL	DVI	1000 CY	00:25
32-20	Trem de Nariz	Eixo da Roda	DVI do Eixo da Roda	CY / CL	DVI	1000 CY	00:10
		Amortecedor	SVC da pressão pneumática e do óleo Hidráulico	CY	SVC	200 CY	00:15
			DVI do Sistema de Amortecimento	CY / CL	DVI	1000 CY	00:15
		Rodas	LUB do rolamentos das Rodas	FH	LUB	500 FH	01:00
			DVI das Jantes e suas fixações	CY / CL	DVI	1000 CY	00:40
		Pneus	SVC da pressão pneumática	FH / CY	SVC	50 FH	00:10
			DVI dos pneus	FH	DVI	100 FH	00:10
			GVI dos pneus	-	GVI	PELT	-
		Actuadores de Travagem	GVI do estado de desgaste dos actuadores de travagem	FH / CY	GVI	1000 CY	00:20
		Distribuição de Potência	OPT do sistema e capacidade de travagem	FH	OPT	500 FH	00:05
			GVI de todas as ligações e acumuladores	FH	GVI	500 FH	00:20
			OPT do sistema de direcção	FH	OPT	500 FH	00:05
32-50	Direcção	Sistema de Controlo de Direcção	GVI do sistema de direcção	FH	GVI	500 FH	00:15

	33-10	Compartimento de Voo	Iluminação de Instrumentos	OPT Da Iluminação de Instrumentos	FH	OPT	500 FH	00:10
		Luzes de Navegação	OPT das Luzes de Navegação	-	OPT	PFLT	-	
		Luz de Rolagem	OPT da Luz de Rolagem	-	OPT	PFLT	-	
		Luz de Aterragem	OPT da Luz de Aterragem	-	OPT	PFLT	-	
		Luzes Strobe	OPT das luzes Strobe	-	OPT	PFLT	-	
Luzes	33-40	Iluminação Exterior	OPT do Beacon	-	OPT	PFLT	-	

Sistema de Vácuo	37	37-10	Distribuição de Vácuo	Sistema de distribuição de Vácuo	OPT da bomba de vácuo aquando do Run-Up de entrada	FH	OPT	100 FH	00:00
				DVI do desgaste da Bomba de vácuo	FH	DVI	500 FH	00:20	
37-20	Indicação	Válvula Reguladora	Indicador de vácuo	Válvula Reguladora	RAI do filtro da válvula reguladora de Vácuo	FH	RAI	100 FH	00:10
				Indicador de vácuo	OPT do indicador de vácuo aquando do Run-Up de entrada	FH	OPT	100 FH	00:00
61-10	Assemblagem do Hélice	61	Fixação do Hélice	Estrutura de Hélice	GVI da tubagem de vácuo e suas ligações	FH	GVI	500 FH	00:25
				Spinner	DVI do sistema do hélice (Pás, Cubo e Véio)	FH	DVI	500 FH	00:20
61-20	Controlo do Hélice	61	Regulação / Controlo de Passo	Hélice	OVH do sistema do Hélice	FH	OVH	2400 FH	01:00
				Fixação do Hélice	DVI so spinner e suas fixações	FH	DVI	500 FH	00:10
				Hélice	DVI da fixação do hélice	FH	DVI	500 FH	00:15
					OPT do sistema regulador de passo durante o Run-Up de entrada	FH	OPT	100 FH	00:00
					DVI do sistema de Regulação e controlo de Passo bem como dos acumuladores de pressão	FH	DVI	500 FH	00:20
					OVH do sistema de controlo / regulação do hélice	FH	DVI	2400 FH	00:40

Secção de Potência	71	71-10	Capots	Capots	DVI do sistema de Capots e suas Fixações	FH	DVI	100 FH	00:15
		71-20	Montantes de Motor	Sistema de Fixação de Motor	DVI do sistema de fixação do motor	FH	DVI	500 FH	00:25
		71-40	Fixações	Sistema de abraçadeiras de fixação ao motor	SDI do berto do motor	FH / CY	SDI	2400 FH	04:00
		71-50	Sistema Eléctrico	Sistema Eléctrico do Motor	RAI dos sinoblocos de Motor	FH / CY	RAI	2400 FH	00:40
	71-60	72-10	Conduitas de Ar	Sistema de Arrefecimento de motor	GVI das fixações e abraçadeiras de motor	FH	GVI	4800 CY	
		72(R)	Secção Frontal de Motor	Flange do Hélice	GVI do sistema eléctrico de motor	FH	GVI	500 FH	00:15
		72(R)	Prato do Motor de Arranque	Prato do Motor de Arranque	GVI das placas difusoras e condutas	FH	GVI	500 FH	00:15
		72(R)			DVI da flange do hélice	FH	DVI	1000 FH	00:15
					DVI do prato do motor de arranque	FH	DVI	1000 FH	00:25

			Filtro de Ar	RAI do filtro de Ar	FH	RAI	100 FH	00:10
			Injectores	CLN dos injectores por ultrasons	FH	CLN	1000 FH	00:25
			Tubagem de Distribuição de Combustível	DVI das tubagens de distribuição de combustível	FH	DVI	500 FH	00:20
				RAI das tubagens flexíveis de distribuição de combustível	CL	RAI	60 MO	02:00
			Carburador	DVI da caixa do carburador e corpo do carburador	FH	DVI	500 FH	00:25
				OVH do corpo do carburador	FH	OVH	2400 FH	01:15
			Sistema de Controlo de Mistura	LUB do sistema de cabos	FH	LUB	100 FH	00:05
				DVI do sistema cabo/pxuador do sistema de mistura	FH	DVI	500 FH	00:15
				DVI do sistema de ligações e terminais	FH	DVI	100 FH	00:15
			Geradores de Energia	OPT e ajuste do timing dos magnetos	FH	OPT	100 FH	00:30
			Magnetos	FUT dos magnetos em bancada	FH	FUT	500 FH	00:40
				OVH dos magnetos	FH	OVH	2400 FH	00:40
			Rede de Alta Tensão	GVI do sistema de alta tensão	FH	GVI	500 FH	00:15
				OPT das velas	FH	OPT	100 FH	00:10
			Distribuição	CLN das velas	FH	CLN	100 FH	00:15
			Velas	DVI das velas	FH	DVI	500 FH	00:30

Controles de Motor	76	76-10	Controlo de Potência	Sistema de Controlo de Potência	LUB do sistema de cabos	FH	LUB	100 FH	00:05
Indicadores de Motor	77	77-10	Potência	Tacómetro	DVI do sistema de cabo/puxador do sistema de potência	FH	DVI	500 FH	00:15
Escape	78	78-10	Colector	Sistema de Colectores e Fixação de Escape	OPT do sistema de indicação de RPM	-	OPT	PFLT	-
					FUT do sistema de indicação de RPM	FH	FUT	1000 FH	00:10
					LUB da bicha de transmissão do sistema de indicação de RPM	FH	LUB	1000 FH	00:05
					GVI das tubagens e fixação do escape	FH	GVI	500 FH	00:20
					DVI do sistema de escape	FH	DVI	500 FH	00:25
					OPT do sistema de elevação da pressão de óleo	-	OPT	PFLT	-
					DVI das tubagens de distribuição de Óleo	FH	DVI	500 FH	00:25
					RAI das tubagens flexíveis de óleo	CL	RAI	60 MO	02:00
					DVI das alhetas do radiador de óleo	FH	DVI	500 FH	00:15
					CLN do interior do radiador de óleo	FH	CLN	1000 FH	00:30
					OPT do sistema de indicação de pressão de óleo	-	OPT	PFLT	-
					DVI do sensor, cablagem eléctrica e fixação do instrumento	FH	DVI	500 FH	00:10
					OPT do sistema de indicação de temperatura de óleo	-	OPT	PFLT	-
					DVI do sensor, cablagem eléctrica e fixação do instrumento	FH	DVI	500 FH	00:10
					DVI do pinhão de ataque do motor de arranque, sua cablagem e terminais	FH	DVI	500 FH	00:20
					Relé do motor de arranque	FH	DVI	500 FH	00:10
					Cablagem Eléctrica do Motor de Arranque	FH	DVI	500 FH	00:15
Arranque do Motor	80	80-10	Arranque						