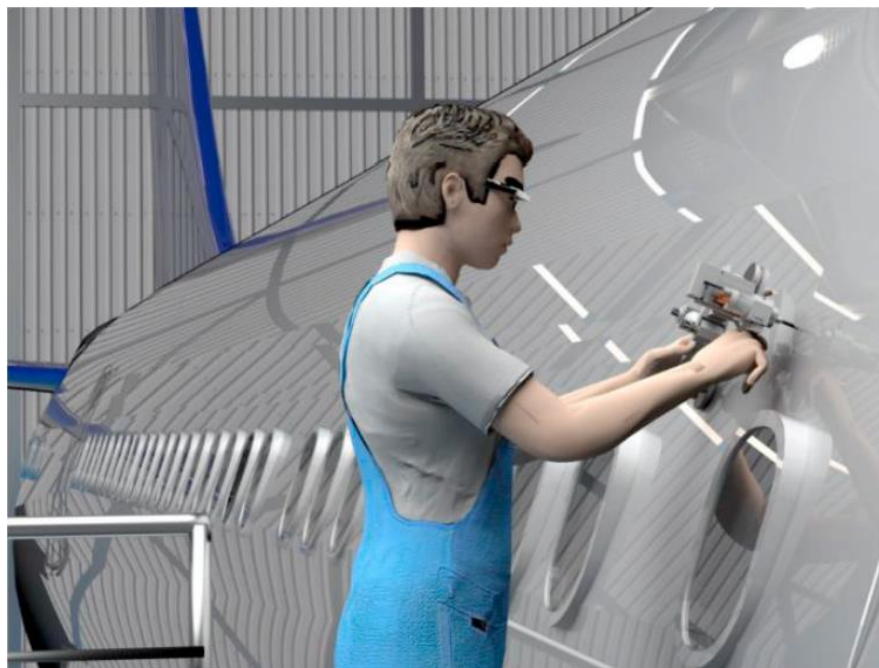




ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Mecânica



Tecnologias de Informação na Manutenção Aeronáutica

Rui Pedro de Almeida Fonseca

(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientador:

Engenheiro Especialista Pedro Miguel Rodrigues da Costa

Júri:

Presidente: Doutora Cláudia Sofia Séneca da Luz Casaca

Vogal: Doutor José Augusto da Silva Sobral

Vogal: Engenheiro Especialista Pedro Miguel Rodrigues da Costa

Fevereiro de 2021



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Mecânica

Tecnologias de Informação na Manutenção Aeronáutica

Rui Pedro de Almeida Fonseca

(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientador:

Engenheiro Especialista Pedro Miguel Rodrigues da Costa

Júri:

Presidente: Doutora Cláudia Sofia Séneca da Luz Casaca

Vogal: Doutor José Augusto da Silva Sobral

Vogal: Engenheiro Especialista Pedro Miguel Rodrigues da Costa

Fevereiro de 2021

Agradecimentos

Primeiramente quero agradecer ao Professor Pedro Costa por ter aceitado orientar-me nesta dissertação. À sua disponibilidade e passagem de conhecimento ao longo destes longos meses.

Ao Sr. Paulo Guerreiro, colaborador da TAP na área de Manutenção de aviões – Planeamento e Controlo, pela documentação que me pode facultar e pela ajuda que facultou na criação dos casos de estudo. Também quero agradecer pela sua disponibilidade para as entrevistas e por também me ter passado o seu conhecimento sobre o seu trabalho e temas relacionados.

Ao Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, a todos os professores que tive o prazer de ouvir e aprender e a todos os colegas que conheci e que também contribuíram para a minha formação.

Por fim quero agradecer à minha família por me terem apoiado nesta longa jornada.

Resumo

A manutenção aeronáutica não é só caracterizada pela elevada regulamentação associada como também pela rigorosidade que os técnicos de manutenção e seus trabalhos devem apresentar, tornando-se um dos sectores mais exigentes.

Com a Indústria 4.0 novas tecnologias podem fazer parte das funções de uma organização de modo a facilitar e melhorar as suas atividades e processos. Com isto, igualmente aparecem as Tecnologias de Informação, e mais propriamente a tecnologia de Realidade Aumentada que, assim como muitas as outras tecnologias, apoia no desenvolvimento de uma organização e dos seus processos.

A presente dissertação visa descrever o conceito da Indústria 4.0 e Tecnologia de Informação, e também, explicar no que consiste a tecnologia de Realidade Aumentada, as suas vantagens, principalmente perante os métodos convencionais de realização das tarefas, e onde é que ainda precisa de ser aperfeiçoada para que num futuro próximo possa apoiar com muita mais regularidade e facilidade os trabalhos da manutenção aeronáutica.

Numa primeira análise foi possível demonstrar que não existe nada que impeça em termos de regulamentação a prática de novas tecnologias numa MRO, tanto para os seus trabalhos como para a formação dos seus técnicos.

Com a demonstração e análise de alguns casos de estudos do uso de tecnologias de Realidade Aumentada em trabalhos de manutenção aeronáutica, realizados por outros autores, e com a aplicação e igualmente respetiva análise de casos de estudo com base em documentação real de trabalho da empresa TAP, foi possível na presente dissertação demonstrar que atualmente as tecnologias de Realidade Aumentada já apresentam uma mais valia, principalmente no tempo de realização das tarefas que como demonstrado pode ser bastante reduzido e igualmente no facto de ser uma tecnologia bem recebida por parte dos utilizadores para o uso das tarefas de manutenção.

Palavras-chave: Manutenção Aeronáutica, MRO, Tecnologias de Informação, Realidade Aumentada

Abstract

Aeronautical maintenance is not only characterized by the high associated regulations but also by the rigor that maintenance technicians and their work must present, making it one of the most demanding sectors.

With Industry 4.0 new technologies can be part of the functions of an organization in order to facilitate and improve its activities and processes. With this, information technologies also appear, and more specifically the Augmented Reality technology which, like many other technologies, supports the development of an organization and its processes.

This dissertation aims to describe the concept of Industry 4.0 and Information Technology, and also to explain what augmented reality technology consists of, its advantages, especially in view of conventional methods of performing tasks, and where it still needs to be improved so that in the near future it can support very regularly and easily the work of aeronautical maintenance.

In a first analysis it was possible to demonstrate that there is nothing to prevent in terms of regulation the practice of new technologies in an MRO, both for their work and for the training of their technicians.

With the demonstration and analysis of some case studies of the use of Augmented Reality technologies in aeronautical maintenance work, carried out by other authors, and with the application and also respective analysis of case studies based on real documentation of work of TAP, it was possible in this dissertation to demonstrate that currently Augmented Reality technologies already have an added value, especially in the time of performance of tasks which as demonstrated can be greatly reduced and also in the fact that it is a well received technology by users for the use of maintenance tasks.

Keywords: Aeronautical Maintenance, MRO, Information Technologies, Augmented Reality

Lista de Acrónimos/Abreviaturas

BD – Big Data

CAD – Computer Aided Design

EASA – Agência Europeia para a Segurança na Aviação

EO – Engineering Order

FAA – Federal Aviation Administration

HMD – Head-Mounted Display/ Helmet-Mounted Display

iDMU - industrial Digital Mock-up

IoT – Internet of Things

MiRA – Mixed Reality Application

MOON - asseMbly Oriented authOring augmeNted reality

MPD – Maintenance Planning Data

MRO – Maintenance Repair and Overhaul

MSG – Maintenance Steering Group

NFT – Natural Feature Tracking

RA – Realidade Aumentada

RFID – Radio Frequency Identification

RHEA - Realistic Human Ergonomics Analysis

RM – Realidade Mista

RV – Realidade Virtual

SB – Service Bulletin

SLAM – Simultaneous Localization and Mapping

SLS – Safran Landing Systems

TAP – Transportes Aéreos Portugueses

TI – Tecnologias de Informação

UAVs – Unmanned Aerial Vehicles

UE – União Europeia

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento.....	1
1.2	Motivação.....	1
1.3	Objetivos da dissertação.....	2
1.4	Estrutura da dissertação.....	2
2	Indústria 4.0.....	4
2.1	Definição de Indústria 4.0.....	4
2.2	Tecnologias da Indústria 4.0.....	5
2.3	Tecnologias de Informação.....	8
2.3.1	Definição e caracterização.....	8
2.3.2	Relação com a Indústria 4.0.....	10
2.3.3	Relação com RA.....	10
3	Manutenção e MRO.....	11
3.1	Definição de Manutenção.....	11
3.1.1	Tipos de Manutenção.....	11
3.1.1.1	Manutenção Corretiva.....	12
3.1.1.2	Manutenção Preventiva.....	12
3.1.1.3	Manutenção Preditiva.....	13
3.2	Manutenção Aeronáutica.....	14
3.2.1	Definição de MRO.....	15
3.2.2	Tipos de Manutenção numa MRO.....	16
3.2.2.1	Manutenção de Linha.....	16
3.2.2.2	Manutenção de Base.....	16
3.2.2.2.1	Inspeções Tipo A, B, C, e D.....	17
3.2.2.2.2	Manutenção de Motores e de Componentes.....	21
3.2.3	Outros serviços de uma MRO.....	22
3.2.4	Programas de Manutenção.....	22
3.2.5	Autoridades Aeronáuticas.....	25
4	Tecnologias de Informação numa MRO.....	26
4.1	Exemplos de TI numa MRO.....	26
4.2	A Realidade Aumentada.....	28
4.2.1	História e desenvolvimento.....	28

4.2.2	Definição.....	29
4.2.2.1	Realidade Aumentada, Realidade Virtual e Realidade Mista.....	29
4.2.3	Motivos de utilização de RA.....	30
4.2.4	Constituição de um sistema de RA e tipos de dispositivos.....	31
4.2.4.1	Apresentação da informação num sistema de RA.....	31
4.2.4.2	Constituição de um sistema de RA.....	32
4.2.4.2.1	Tipos de <i>Hardwares</i> e equipamentos.....	32
4.2.4.2.2	<i>Softwares</i> para RA.....	34
4.2.5	Limitações da aplicabilidade de sistemas de RA.....	38
4.2.6	Legislação e Regulamentação Aeronáutica.....	40
4.2.7	Áreas de aplicação.....	43
4.2.8	Casos de estudo de aplicação de tecnologias de RA na manutenção aeronáutica..	43
4.2.8.1	Caso da Safran Landing Systems.....	44
4.2.8.2	Caso de estudo de um procedimento de desmontagem num Cessna 337.....	49
4.2.8.3	Caso de estudo de medição do óleo num Cessna C.172P.....	52
4.2.8.4	Caso de estudo MOON.....	56
4.2.8.5	Caso de estudo MiRA.....	59
4.2.8.6	Outros casos de estudo e testemunhos.....	60
4.2.9	Análise dos ganhos dos casos apresentados	61
5	Casos de estudo TAP.....	63
5.1	Descrição.....	64
5.2	Trabalho a realizar.....	66
5.2.1	Vantagens da tecnologia de RA do caso MiRA.....	66
5.2.2	Método da Ponderação.....	68
5.2.3	Caso 1: EO da inspeção dos furos dos encaixes de stop da porta posterior de passageiros entre o FR66 e FR68 de um A320.....	70
5.2.4	Caso 2: Criação de referencial entre C-Checks.....	74
5.2.5	Análise em conjunto.....	81
6	Conclusão e Trabalho Futuro.....	84

Índice de Figuras

Figura 1 - Histórico das quatro revoluções industriais.....	4
Figura 2 - Estratégias de manutenção.....	12
Figura 3 – Exemplo de histórico de Inspeções Tipo e carga de trabalho por horas de voo de um avião A320.....	20
Figura 4 - Airbus Advanced Inspection Drone.....	28
Figura 5 - Realidade Mista e os extremos entre Realidade Aumentada e Realidade Virtual.....	29
Figura 6 - Microsoft HoloLens.....	33
Figura 7 – Exemplos de método de rastreio com marcador (à esquerda) e rastreio sem marcador (à direita)	35
Figura 8 - Exemplos de rastreamento baseado em modelo: (a) e (b) baseado na aresta; (c) baseado no fluxo ótico; (d), (e) e (f) baseado na textura.....	36
Figura 9 - Estação de trabalho e respetivos equipamentos para aplicação da tecnologia de RA no caso da SLS.....	45
Figura 10 - Gráficos de análise à carga cognitiva (NASA-TLX) e à usabilidade (SUS) para os três perfis.....	49
Figura 11 - Implementação do Manual de Manutenção do Cessna 337 da secção 1 a 3 e da 4 a 6.....	50
Figura 12 - Menu e cena aumentada da tarefa 5-41-h.....	51
Figura 13 - Protótipo de HMD utilizado com os respetivos componentes.....	53
Figura 14 - Exemplo de janelas de exibição dos passos 4 a 7 da medição do óleo. (a) um retângulo vermelho avisa o operador para ler as instruções com atenção; (b) a vareta roda no sentido anti-horário e levantada para cima; (c) a vareta mostra os diferentes níveis de óleo utilizando informação a cores; (d) a vareta roda no sentido horário e para baixo de modo a ser arrumada.....	54
Figura 15 - Média dos resultados do formulário NASA-TLX pelos 10 participantes....	56
Figura 16 - Teste do projeto MOON.....	57
Figura 17 - Exemplo de aplicação do sistema MiRA na inspeção de um componente da fuselagem interior, com o seus respetivos dados e informação	60
Figura 18 – Método de ponderação aplicado aos casos de estudo da TAP.....	69

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Inspeções Tipo da Manutenção de Base e sua caracterização.....	18
Tabela 2 – Resultados quantitativos de tempo para cada perfil, todos os perfis, cada tarefa e total do caso de estudo da SLS.....	47
Tabela 3 – Passos, riscos e informação em RA da inspeção diária de medição do óleo do Cessna C.172P.....	52
Tabela 4 - Resultados de tempo gasto para cada tarefa por métodos.....	58
Tabela 5 - Tarefas para a realização da EO da inspeção dos furos dos encaixes de stop de porta posterior de um A320 no FR66 e FR68.....	70
Tabela 6 - Resultados dos valores médios das respostas dos cinco inquéritos ao Método da Ponderação e valor correspondente, para a tarefas de manutenção da EO.....	72
Tabela 7 – Valores das percentagens da nova poupança de tempo de Horas-homem otimizado, por tarefa e total.....	73
Tabela 8 – Categorias de tarefas de manutenção em A-Check e C-Check.....	75
Tabela 9 - Resultados dos valores médios das respostas aos inquéritos e valores ao Método da Ponderação correspondente para as tarefas de manutenção repetitivas numa A-Check e C-Check	77
Tabela 10 - Nova poupança obtida a partir dos valores ao Método da Ponderação para cada categoria de tarefa de manutenção.....	78
Tabela 11 - Horas-homem original e otimizado para as A-Checks e C-Checks.....	80
Tabela 12 - Tabela de diferença de tempos e poupança entre o original e otimizado...	81
Tabela 13 - Valores de hipotética poupança para um cenário de poupança média em todas as EO de 30%.....	83

Capítulo 1 – Introdução

1.1 Enquadramento

Com o avanço dos tempos, novas tecnologias vão aparecendo e com elas novos pensamentos e metodologias. A Indústria 4.0 vai ganhando cada vez mais reconhecimento em todos os setores industriais e com eles aparece um dos mais complexos, o setor da manutenção aeronáutica.

A manutenção aeronáutica é caracterizada pela sua elevada rigorosidade, complexidade e pelos desafios que transmite tanto para os técnicos que trabalham diretamente nas aeronaves, como para os engenheiros que planeiam os melhores e mais rentáveis métodos de trabalho para a sua organização. E com isto nasce a ideia de adaptação e utilização das novas tecnologias nestes complexos e extensos trabalhos da manutenção aeronáutica, que apesar de ainda representarem investimentos elevados, também representam métodos de trabalho mais simples, seguros, rápidos e eficazes.

No que toca a novas tecnologias as Tecnologias de Informação têm ganho cada vez mais importância e sido fontes de estudo para novos métodos de trabalho não só na manutenção aeronáutica como em muitas outras aéreas. Estas tecnologias são fonte de inovação e benefícios monetários. Entre elas temos a Realidade Aumentada que pode ajudar em diversas áreas simplesmente colocando o digital no mundo real e dando-nos literalmente um outro ponto de vista das situações com que nos deparamos no dia-a-dia e, principalmente, quando realizamos certos trabalhos, como os trabalhos realizados diariamente por uma organização de Manutenção, Reparação e Revisão de aviões, como será demonstrado nesta dissertação de mestrado.

1.2 Motivação

A escolha deste tema para a dissertação de mestrado parte pelo grande interesse do autor em duas áreas. A primeira é manutenção, que mesmo antes do início da Licenciatura em Engenharia Mecânica era uma área de grande interesse, interesse esse que foi aumentando ao longo da mesma o que também é comprovado pela escolha do perfil de Manutenção e Produção para o mestrado.

A segunda é o que as novas tecnologias podem trazer de benéfico para uma organização e para os seus trabalhadores. Isto conjugado com uma área onde existe a necessidade, acima de tudo, de zero erros, pois há o transporte de vidas e bens, mas para além disso uma área que mexe com valores avultados de investimentos, onde qualquer tipo de poupança é ambicionado.

Por isso com este estudo pretende-se explorar que benefícios as novas tecnologias podem trazer e que facilidades podem representar para os trabalhadores numa área tão complexa como é a da manutenção aeronáutica.

1.3 Objetivos da dissertação

Um objetivo desta dissertação de mestrado é mostrar o apoio e benefícios que as novas Tecnologias de Informação podem trazer quando aplicadas aos sectores industriais, neste caso para os trabalhos de manutenção de aeronaves.

Mas o principal objetivo é demonstrar o quão útil e eficaz pode ser a tecnologia de Realidade Aumentada na manutenção aeronáutica, apresentar os vários benefícios que pode trazer para este setor da indústria aeronáutica e o que ainda falta melhorar para que possa ser aplicada nos trabalhos de manutenção de aeronaves, o que por sua vez será um grande passo para uma utilização regular nesta indústria, e possivelmente também noutros tipos de indústrias.

1.4 Estrutura da dissertação

A presente dissertação é composta por seis capítulos que apresentam o trabalho desenvolvido.

Neste primeiro capítulo é introduzido o tema desta dissertação de mestrado, é realizado o enquadramento do tema, os motivos para a sua escolha e os seus objetivos.

O segundo capítulo é dedicado a uma introdução à Indústria 4.0, suas tecnologias e às Tecnologias de Informação, sua importância e relação com a Indústria 4.0 e Realidade Aumentada.

O terceiro capítulo inicia com exposição de definições e conceitos da manutenção, onde de seguida se passa para o contexto aeronáutico, onde se descreve os seus tipos de manutenção, a realização dos planos de manutenção de uma aeronave e a existência de Autoridades Aeronáuticas e suas regulamentações.

No quarto capítulo é introduzida a tecnologia de Realidade Aumentada, sua definição, constituição e os diferentes tipos de dispositivos de Realidade Aumentada. Que tipos de informação é possível apresentar, áreas de aplicação e por fim as limitações que esta tecnologia apresenta atualmente.

No quinto capítulo são apresentados vários casos de estudo reais de aplicação da tecnologia de Realidade Aumentada em trabalhos de manutenção e inspeção aeronáutica. Também é realizada uma análise aos resultados obtidos, respetivos dispositivos utilizados e tipos de tarefas aplicadas nos casos de estudo descritos.

No sexto capítulo será estudada uma adaptação de uma das tecnologias de Realidade Aumentada apresentadas no capítulo anterior em duas vertentes reais de trabalho, ou seja, dois casos de estudo, que de seguida serão juntos num terceiro caso mais completo, de modo que se possa transmitir os ganhos num ambiente ainda mais realista.

Por fim no sétimo capítulo serão apresentadas as conclusões dos casos de estudo de aplicação desta tecnologia na vertente da manutenção aeronáutica seguida de sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 2 - Indústria 4.0

2.1 Definição de Indústria 4.0

A Primeira Revolução Industrial, iniciada em 1784, consistia em instalações de fabrico mecanizadas movidas através do vapor e da energia hidráulica. Já a Segunda Revolução Industrial, em 1870, envolvia linhas de montagem e conseqüente produção em massa em que já havia a introdução da energia elétrica. A Terceira Revolução Industrial, em 1969 é iniciada com a utilização da eletrônica e das Tecnologias de Informação (TI) para se conseguir uma maior automatização dos processos. Por fim, a Quarta Revolução Industrial, também chamada de Indústria 4.0, surgiu em 2010 a partir de um projeto do governo alemão da área da alta tecnologia e já consiste em processos autónomos, proporcionado por sistemas cibernéticos [1] e [2].

Na figura 1, retirada de [1], pode-se verificar um histórico destas revoluções industriais com as suas principais características.

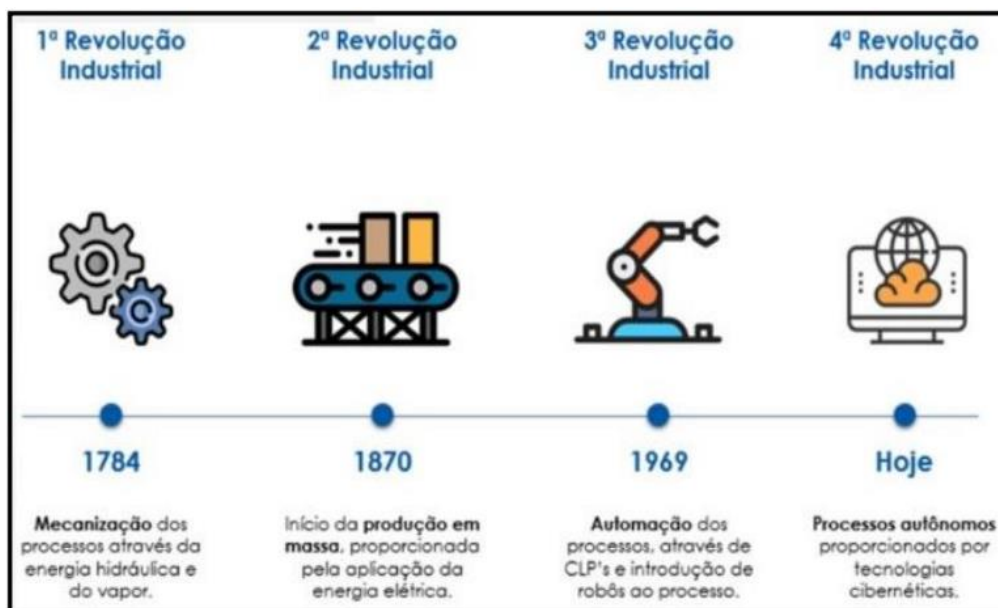


Figura 1 - Histórico das quatro revoluções industriais, fonte 1

Segundo, PwC Portugal, [3] também é explicitado que a Indústria 4.0 é focada na digitalização dos processos e na sua integração em ecossistemas digitais com os vários parceiros da sua cadeia de valor. A indústria 4.0 é o paradigma de ligar diferentes tipos de dispositivos físicos eletrônicos a uma determinada rede ou internet para que interajam, sendo que a utilização deste tipo de equipamentos inteligentes leva a um aumento da

competitividade, sendo esta também uma característica da Quarta Revolução Industrial [4].

Segundo, Esposito et al, [5] a implementação do paradigma da Indústria 4.0 é um passo necessário para o crescimento das empresas. Pois os principais objetivos da Indústria 4.0 são [1]:

- Produtividade;
- Investimento;
- Melhores condições de trabalho e;
- Crescimento de receita.

A Indústria 4.0 pode trazer sustentabilidade à empresa a nível de proteção ambiental, pois permite uma alocação eficiente de recursos como energia, matéria-prima, água e outros produtos, com base nos dados recolhidos em tempo real dos processos produtivos. Também pode trazer estabilidade a nível de automatização e segurança do processo, ou seja, este paradigma suporta processos de fabrico estabilizados que conduzem a uma gestão digital dos processos e à produção contínua, o que proporciona melhores condições de trabalho e um ambiente de fabrico seguro para os trabalhadores. E por fim também traz sustentabilidade económica, visto que muitos investigadores acreditam fortemente que este paradigma levará a uma redução dos custos de fabrico, a uma melhoria do desempenho económico, estabilidade dos processos de fabrico e a uma otimizada rede de produção global [4].

2.2 Tecnologias da Indústria 4.0

A acompanhar o paradigma da Indústria 4.0 vêm as suas tecnologias características. Segundo, Almeida e Fabro, [1] a Indústria 4.0 passa pela aplicação e união de 9 tecnologias, que ao serem combinadas podem trazer resultados ainda melhores.

De seguida, serão explicitadas com algum ênfase estas 9 tecnologias:

- Realidade Aumentada

Realidade Aumentada (RA) é a capacidade de combinar objetos reais, em tempo real, num ambiente real e a capacidade de executar interactivamente em 3D e em tempo real [6].

Uma definição e explicitação mais aprofundada sobre a tecnologia de RA será realizada mais à frente neste trabalho pois esta tecnologia será um dos seus focos e alvo de estudo em várias aplicações.

- Computação em Nuvem

Computação em Nuvem (*Cloud Computing*, CC) em termos simples é a prestação de serviços relacionados com o computador ou tecnologias de informação, como um servidor, armazenamento ou base de dados na internet. É denominado de “nuvem” porque não está realmente presente onde o serviço está a ser realizado, mas numa localização distante, em que todo o sistema é controlado por um terceiro [4].

Apresenta algumas vantagens como uma economia à operação, a velocidade de serviços, a escala numerosa de operação e a acessibilidade, visto poder ser acedida em qualquer parte, independentemente da sua localização [4].

- Cibersegurança

Cibersegurança (CS) é um novo termo para um alto nível de segurança de informação, que através da palavra “*cyber*” aplica-se em ambientes industriais de computação e das TI. Basicamente consiste em proteger, detetar e até mesmo responder a ataques à informação de uma empresa ou organização [6].

- *Big Data*

Big Data (BD) aparece com a necessidade de análise e interpretação da elevada quantidade de dados que as tecnologias da Indústria 4.0 gerem, principalmente sendo estes de diferentes origens [6]. Por outras palavras, a BD é como um suporte de recolha, armazenamento e, principalmente, de análise de dados em tempo real e de várias fontes diferentes, o que leva a uma melhor flexibilidade nos serviços da organização [4].

- Simulação

A Simulação informática é uma tecnologia utilizada para compreender melhor a dinâmica numa empresa. Permite criar experiências para validação de produtos, processos ou

sistemas de concepção e configuração, o que pode ajudar na redução de custos, diminuição do tempo de desenvolvimento do produto e no seu aumento da qualidade [6].

Basicamente, esta tecnologia passa pela modelação de modelos reais ou protótipos para estimar e entender tanto os sistemas como os processos aplicados através da sua análise comportamental. Esta tecnologia tem como base o conceito do *Digital Twin* (DT) [6].

DT é definido como um modelo digital que integra vários campos físicos, escalas e múltiplas probabilidades. É um processo utilizado para descrever e modelar as características, comportamentos, processos de formação e o desempenho de entidades físicas através da tecnologia digital [7]. Ou seja, por outras palavras, é um espelho virtual de um objeto real que pode descrever as suas propriedades físicas e funcionais do produto ou sistema ao longo do seu ciclo de vida e pode entregar e receber informações sobre esse mesmo produto ou sistema [8].

- Internet das Coisas

Internet das Coisas (*Internet of Things*, IoT) é um novo paradigma de tecnologia configurado como uma rede global de máquinas e dispositivos capazes de interagir uns com os outros [9]. Outra definição, segundo, Alcácer e Cruz-Machado, [6] é que IoT permite que tanto as pessoas como as “coisas” sejam conectadas a qualquer momento, lugar, a qualquer pessoa e qualquer “coisa” usando um tipo de rede e serviço.

- *Cyber Physical System*

Cyber Physical System (CPS) é uma tecnologia de suporte para a organização e coordenação de sistemas de rede entre a sua infraestrutura física e as capacidades computacionais. Neste sentido, as ferramentas físicas e digitais devem ser integradas e conectadas com outros dispositivos de modo a alcançarem ações descentralizadas [10].

O CPS integra a dinâmica dos processos físicos com os do *software* e da rede, fornecendo abstrações técnicas de modelagem, design e análise para o todo integrado [11].

- Impressão 3D

A Impressão 3D, ou prototipagem rápida, baseia-se no fabrico de aditivos e é um processo de junção de material com a intenção de criar um produto a partir de dados e modelos 3D [11], evitando a necessidade de peças e montagem de componentes [4].

Permite a criação de protótipos de modo a permitir a independência de elementos da cadeia de valor, reduzindo os tempos de conceção e fabrico [6], as distâncias de transporte e o stock disponível [4]. Outras características desta tecnologia é que permite o fabrico de geometrias complexas, peças ocas e produção com “zero resíduos”, entre outras [6].

- Robôs Autónomos

Os Robôs Autónomos aparecem com o aumento da automatização nos sistemas de produção e com o início da produção personalizada. Esta tecnologia passa pela combinação de microprocessadores e Inteligência Artificial (IA) com produtos, serviços e máquinas para que se tornem mais inteligentes. Daqui nascem os robôs com IA, adaptáveis, flexíveis e que podem facilitar a produção de diferentes produtos e diminuição dos respetivos custos [6].

Estas 9 tecnologias são as principais e consideradas de pilares da Indústria 4.0, mas também existem outras tecnologias que não tendo a mesma importância que as anteriores podem ser usadas para as complementar e estão também relacionadas com algumas destas 9 tecnologias. São igualmente utilizadas para introduzir o paradigma da indústria 4.0.

Entre outras pode-se referir com mais relevância a Realidade Virtual (RV), que entre várias definições pode-se dizer que consiste no uso de tecnologia computacional para criar um mundo tridimensional, ou virtual, interativo no qual os objetos têm uma sensação de presença espacial [12], por sua vez esta tecnologia é muito semelhante à RA, mas têm grandes diferenças distintas que serão explicadas mais adiante neste trabalho.

E também as tecnologias de rastreio, em que a mais estudada e aplicada é a Identificação por Radiofrequência (*Radio Frequency Identification*, RFID). RFID permite a identificação automática e a captura de dados usando ondas de rádio, uma etiqueta e um leitor. A principal diferença com o método tradicional, códigos de barra, é o facto de não necessitar de contacto com o leitor e poder armazenar mais dados sobre o bem [9].

2.3 Tecnologias de Informação

2.3.1 Definição e caracterização

O problema do termo TI é o facto de ter várias definições relativamente semelhantes, mas num modo geral e neste caso é definido como a disciplina científica e tecnológica de

engenharia e uma técnica de gestão de informação, por outras palavras, TI é a produção, armazenamento, manipulação, gestão, transmissão de informação, quer em forma verbal, de imagens, texto ou numérica, baseada e através de ferramentas de computação [13] e [14].

Na análise literária, muitos são os autores que referem as características assim como também as vantagens das TI. Como em [15] que refere que as TI são o principal motor da inovação numa organização. Enquanto também segundo, Chen et al, [16] os autores referem o impacto significativo na inovação dos produtos e consequentemente das empresas, que pode levar a um aumento da produtividade, redução dos custos de mão-de-obra e aumento do desempenho financeiro de uma empresa. O mesmo segundo, Mohamed et al, [17], e segundo Lai e Mahapatra, [18], em que os autores uma vez mais falam do facto de as TI permitirem que as empresas reduzam os custos, apliquem métodos de comunicação mais eficientes, reduzam o tempo de entrega, melhoram a tomada de decisão, entre outras, o que por sua vez tornará a empresa mais competitiva.

É discutido o facto de as TI estarem a introduzir-se fortemente na indústria, tornando-a inteligente e capaz de enfrentar vários desafios, como os requisitos cada vez mais personalizados dos clientes, melhor qualidade e redução do tempo para a colocação no mercado [19]. Com essa introdução, segundo Posada et al, [20] os autores apontam para uma melhoria da produtividade e aumento da eficiência na indústria.

Em relação à manutenção na indústria, é mencionado o facto das TI apoiarem e gerarem oportunidades para os tipos de manutenção mais avançados, diminuindo os tempos de inspeção e manutenção, melhorando, por fim, a sua qualidade de execução [21] e [22].

Outra característica a retirar é o facto de facilitarem as tarefas de aprendizagem e formação e entusiasmarem os alunos com o uso de simulações, ilustrações de conceitos, de ideias e a apresentação de gráficos dinâmicos, sons e vídeos. Assim como também o uso de ferramentas mais avançadas, como instruções apoiadas pela computação [13] e [14].

Porém, outros autores não falam só em características positivas e benéficas apresentando uma contrapartida, como o facto de o investimento em TI ser um campo de incerteza, de risco e dispendioso, onde há um elevado investimento inicial e com risco muito elevado [9].

2.3.2 Relação com a Indústria 4.0

As TI aparecem inicialmente e de forma suave na Terceira Revolução Industrial, a partir dos anos 60 [15], sendo esta Terceira Revolução Industrial baseada na informatização dos processos de negócios e nas TI para apoio à indústria [23].

A passagem para a Quarta Revolução Industrial é impulsionada pelas modernas TI, que levam ao aparecimento de componentes e máquinas inteligentes [24]. E como referido pelo mesmo autor, o termo 4.0 (da Indústria 4.0) descreve o aumento da integração das TI na indústria.

Igualmente segundo PwC et al, [3] é indicado que a base da Quarta Revolução Industrial é a informação e além disso, que a Indústria 4.0 promove a informatização da fábrica e do fabrico de produtos, o que dá origem ao termo “Fábrica Inteligente” [1].

2.3.3 Relação com RA

Nesta secção será feita a relação entre as TI e a RA, que é a tecnologia a abordar neste trabalho.

Como referido em [25] a RA é uma inovação tecnológica, mais propriamente, uma inovação na área das TI. A RA é uma TI bastante abrangente que combina o processamento de imagens digitais, gráficos informáticos, inteligência artificial, multimédia e entre outras áreas [26].

Segundo Lee, [27] graças às novas TI, que se apresentam desenvolvidas e consistentes o suficiente de modo a fornecerem experiências de RA através de computadores pessoais e também de dispositivos móveis, é possível cada vez mais uma melhor combinação entre o mundo real com a informação aumentada de forma interactivamente perfeita. Por outras palavras, as melhorias das TI e, igualmente, da informática levam a uma maior e mais simplificada abordagem das pessoas à utilização das tecnologias de RA.

Capítulo 3 - Manutenção e MRO

3.1 Definição de Manutenção

Segundo a Norma Portuguesa da Terminologia de Manutenção NP EN 13306:2007, manutenção é definida como a “combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão, durante o ciclo de vida de um bem, destinadas a mantê-lo ou repô-lo num estado em que ele possa desempenhar a função requerida” [28].

No campo da aeronáutica, Harry Kinnison, autor do livro “*Aviation Maintenance Management*”, define manutenção como o “processo que assegura que um sistema desempenha continuamente a sua função com os mesmos níveis de fiabilidade e segurança para o qual foi projetado” [29].

Já para a Agência Europeia para a Segurança na Aviação (EASA), segundo o regulamento EU N° 1321/2014 da Comissão Europeia, a definição de manutenção passa por “qualquer revisão, reparação, inspeção, substituição, modificação ou retificação de avarias, bem como qualquer combinação destas operações, executadas numa aeronave ou num componente de aeronave, à exceção de inspeção pré-voo”, e visto que esta é a definição para manutenção aeronáutica atribuída pela autoridade aeronáutica EASA, esta deve ser a sua definição final a ter em conta [28].

3.1.1 Tipos de Manutenção

As estratégias de Manutenção podem ser divididas em três grupos: Manutenção Corretiva, Manutenção Preventiva e Manutenção Preditiva [30]. Por sua vez a Manutenção Preventiva é subdividida em Manutenção Preventiva Sistemática e Manutenção Preventiva Condicional, enquanto a Preditiva pode ser dividida em *Opportunity-based* e *On Condition-based* [31], como se pode verificar na figura 2.

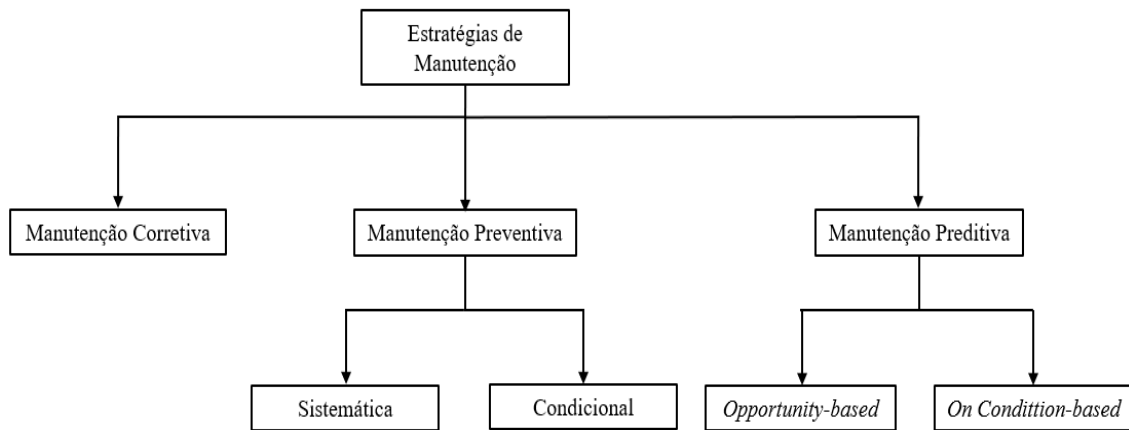


Figura 2 - Estratégias de manutenção, realizado pelo autor

3.1.1.1 Manutenção Corretiva

Manutenção Corretiva é o tipo de manutenção efetuado após a identificação de uma avaria e é realizada com o intuito de repor o bem num estado em que possa cumprir a função pretendida [31].

Segundo, Fernandes, [32] esta prática possibilita tirar o máximo de tempo de serviço, por exemplo, de uma máquina, sem ter que parar, porém quando a avaria ocorre poderá haver consequências trágicas tanto para a máquina como para o seu serviço.

3.1.1.2 Manutenção Preventiva

A Manutenção Preventiva é efetuada em parâmetros estabelecidos ou em determinados intervalos de tempo, ou seja, é realizada antes que uma avaria aconteça e de modo a prevenir a mesma, evitando os problemas associados à manutenção corretiva, isto é, desperdício de tempo e desperdício de custo do ciclo de vida dos componentes [31]. A Manutenção Preventiva pode ser dividida em dois tipos, Manutenção Preventiva Sistemática e Manutenção Preventiva Condicional.

Manutenção Preventiva Sistemática é efetuada de acordo com intervalos de tempo pré-estabelecidos, ou seja, é realizada na fase de vida útil de um bem, antes de ele atingir a sua fase de desgaste ou envelhecimento. O bem é retirado e submetido a uma revisão geral, independentemente da sua condição [31].

A vantagem da prática desta estratégia é o facto de se poder planear com antecedência a manutenção do componente ou sistema, o que pode reduzir significativamente a probabilidade de acontecer uma falha grave. Porém, nada é garantido e há sempre a possibilidade de acontecerem falhas inesperadas [33].

Por outro lado, uma desvantagem deste método é o facto de haver a possibilidade de se estar a realizar um elevado número de manutenções desnecessárias, o que levará a um aumento dos custos de manutenção igualmente desnecessários [33].

Já a Manutenção Preventiva Condicional baseia-se no desempenho do bem, que é monitorizado regularmente de modo que se possa verificar a sua condição e dependendo da sua condição pode ou não haver a necessidade de uma intervenção. Ao contrário da Manutenção Preventiva Sistemática, é possível verificar o estado do bem sem o retirar da máquina [31].

As vantagens desta estratégia passam pela possibilidade de otimização da manutenção com base dos valores de funcionamento dos equipamentos em tempo real (como por exemplo temperaturas de serviço, vibrações, pressões, etc.) em que caso haja alguma anomalia é possível adotar as medidas necessárias, de modo a resolver e/ou suavizar o problema. Também devido a esta possibilidade de monitorização a durabilidade do equipamento poderá ser maior [32].

Com isto, pode-se também esperar uma redução dos custos ligados à manutenção, pois as ações sobre os equipamentos são realizadas com uma maior certeza sobre o seu estado, e um aumento da produção, pois permite que os equipamentos se mantenham ativos o máximo tempo possível [32].

Contudo, esta estratégia de manutenção pode levar a um elevado investimento inicial, pois requer a aquisição de equipamentos de leitura e sensores. Para além deste investimento, também requer técnicos com mais formação, pelo facto de terem que saber analisar os dados recolhidos e avaliar os tipos possíveis de problemas a existir [32].

3.1.1.3 Manutenção Preditiva

Por fim, a Manutenção Preditiva baseia-se em tecnologia de prognósticos e de gestão do estado dos componentes, desta maneira é possível saber o tempo de vida útil restante do bem e equipamentos de forma mais precisa [30].

Segundo Santos, [30] a Manutenção Preditiva é, atualmente, a mais promissora estratégia de monitorização de componentes e sistemas. No mesmo documento é mencionado que com esta estratégia é possível identificar com maior precisão os problemas dos bens prevendo o seu desgaste ou o avanço da degradação, o que ajuda a atuar com maior eficácia na prevenção de falhas com a substituição ou reparação no seu tempo adequado.

Dentro do conceito da manutenção preditiva existem mais dois tipos de manutenção que são *opportunity-based* e *on condition-based*. A manutenção preditiva *opportunity-based* está relacionada com o facto de componentes que ainda se encontram operacionais serem substituídos, pois com o apoio de recursos e dados disponíveis são substituídos tendo em conta a possibilidade de iminência de uma avaria [30].

Já a manutenção preditiva *on condition-based* remete para uma estratégia de predição do estado de um componente ou sistema quando há necessidade da realização de manutenção, necessidade essa que é determinada pela monitorização e consequente avaliação contínua do estado do componente ou sistema, deduzindo um valor antecipado para o seu limiar de falha. Este tipo de manutenção é utilizado quando são ultrapassados os limites pré-definidos relativos aos parâmetros de desempenho [30].

3.2 Manutenção Aeronáutica

Os objetivos da Manutenção Aeronáutica são assegurar a segurança dos aviões e corrigir os defeitos nas aeronaves causados nos seus ciclos de voo, tendo em conta os menores custos de manutenção e dentro dos prazos pretendidos, de modo que volte a ser o mais próxima possível da sua capacidade original e o mais rápido possível. Entende-se por ciclo de voo o intervalo de tempo desde que a aeronave descola até à sua próxima aterragem [30].

O principal desafio dos engenheiros e técnicos nos serviços de manutenção aeronáutica é manter uma aeronave completamente apta e segura para voar, sem quaisquer interrupções na operação [33].

3.2.1 Definição de MRO

Manutenção, Reparação e Revisão (*Maintenance, Repair and Overhaul*, MRO) é definida como “todas as ações que tenham o objetivo de reter ou restaurar um item em ou para um estado em que possa desempenhar a sua função exigida. As ações incluem a combinação de todas as ações técnicas e correspondentes administrativas, de gestão e de supervisão” [34], e tem como objetivo a manutenção de forma a restaurar os componentes para um estado no qual possam operar de forma segura [35].

Em relação à aeronáutica, as atividades de manutenção acabam por ser a espinha dorsal das operações nas aeronaves e têm o papel de garantir a segurança operacional das mesmas e, conseqüentemente, a sua Aeronavegabilidade [31].

Aeronavegabilidade pode ser definida como a condição tanto de uma aeronave como do seu motor ou sistema que resultam do cumprimento das Instruções de Aeronavegabilidade Continuada. Aeronavegabilidade Continuada é definida como o conjunto de procedimentos e normas definidos para uma aeronave de modo que o seu estado como máquina aeronavegável seja um processo possível e contínuo [36].

De outro modo e mais simplificado, entende-se por Aeronavegabilidade quando um avião ou os seus componentes possuem os requisitos necessários para voar tanto em condições de segurança, como dentro dos limites estruturais e das limitações impostas, tanto pelos fabricantes como pelas entidades aeronáuticas [36].

Segundo Ucler e Gok, [37] os acidentes de aviação relacionados com a manutenção têm aproximadamente 6.5 vezes mais probabilidade de serem fatais e que em pelo menos 10% dos acidentes a culpa pode ser atribuída à manutenção. Também segundo [35] a importância de uma MRO pode ser analisada pelo facto de esta representar cerca de 17% do custo de exploração de uma companhia aérea e prevendo-se que em 2024 atingirá os 90 biliões de dólares.

Para além disso, as práticas de MRO na indústria aeronáutica são caracterizadas pela sua complexidade e existência de requisitos rigorosos definidos pelas autoridades de Aeronavegabilidade, para que possam garantir a segurança tanto dos passageiros, como da tripulação e também das respetivas aeronaves [35].

Para finalizar também referir que os serviços e práticas de uma MRO devem ser realizados para a máxima satisfação do cliente e numa combinação entre custo e qualidade o mais vantajosa possível para todas as partes interessadas e envolvidas [33].

3.2.2 Tipos de Manutenção numa MRO

A manutenção de aeronaves pode ser inicialmente dividida em dois tipos: manutenção programada e manutenção não programada. A manutenção programada é representada por uma ação preventiva realizada em intervalos de tempo pré-definidos, enquanto a manutenção não programada é algo que não está planeado e é realizada após um bem falhar [34]. Por fim, dentro da manutenção programada estão os dois principais tipos de manutenção de uma MRO que são a Manutenção de Linha e a Manutenção de Base [31].

3.2.2.1 Manutenção de Linha

A Manutenção de Linha ou de Rampa é realizada ainda no tempo em que a aeronave está em serviço e as tarefas de manutenção devem ser concluídas dentro do período de rotação da aeronave que, num modo geral, é inferior a uma hora [38]. Esta manutenção é realizada normalmente numa rampa, que é uma parte do aeroporto onde as aeronaves se encontram estacionadas [39].

Inclui tarefas como *troubleshooting* (deteção e caracterização de avarias), correção de defeitos detetados pelo piloto ou pela tripulação, substituição de alguns componentes, algumas verificações planeadas, inspeções visuais, entre outras, ou seja, qualquer tarefa em que não sejam requeridos trabalhos de manutenção com alguma complexidade [40].

3.2.2.2 Manutenção de Base

A Manutenção de Base ou de Hangar é realizada no hangar. O hangar é uma estrutura fechada para manter as aeronaves, protegendo-as do tempo e luz ultravioleta, e também podem ser usados como uma oficina de reparação ou área de montagem [39].

Este tipo de manutenção é a que está mais relacionada com a manutenção programada, pois é realizada tendo em conta tempos de ciclos, horas de voo e vida útil da aeronave e

dos seus sistemas, ou seja, em situações em que há a necessidade de remover componentes e como tal é necessária uma paragem mais prolongada da aeronave [35] sendo que esta durante essa altura se encontrará fora de serviço [33]. Entre várias tarefas como pintura, substituição de motores, inspeção e reparação estrutural, as principais tarefas da Manutenção de Base são as Inspeções Tipo A, B, C, e D [30].

3.2.2.2.1 Inspeções Tipo A, B, C e D

As Inspeções Tipo (A, B, C e D) são inspeções pertencentes à categoria de Manutenção Preventiva. De seguida encontra-se a tabela 1, baseada em [29] e [34], com a explicação destes quatro tipos de inspeção de Manutenção de Base, todos dentro manutenção planeada. De notar que os valores indicados na tabela para os intervalos de tempo e ciclos de voos para realizar estas Inspeções Tipo são um valor de referência para um avião A320.

Como se pode apurar, a Inspeção do Tipo A é a que tem a menor carga de trabalho, sendo que esta carga vai aumentando até à Inspeção do Tipo D, que é a que apresenta maior carga de trabalho entre todas [38].

Cada Inspeção Tipo após ser efetuada para o mesmo avião é numerada, ou seja, no caso das Inspeções Tipo A estas são numeradas de 1 a 4 após a sua realização, sendo que quando chega a 4 volta a 1. Por exemplo podem ser numeradas como A1.3, A1.4, A2.1, A2.2, A2.3, etc. Enquanto isso a Inspeções Tipo C já são numeradas até 12, por exemplo C1.11, C1.12, C2.1, C2.2, etc. Estes valores para a sua categorização estão relacionados com a periodicidade da realização das tarefas de manutenção inseridas nas Inspeções Tipo, que serão explicadas um pouco mais à frente neste trabalho [29].

Como se pode verificar, ao longo da vida útil da aeronave (cerca de 20 anos) são realizadas várias vezes estas Inspeções Tipo que de seguida, à medida que são realizadas, são numeradas (como explicado anteriormente) para que possam ser identificadas e registadas para conhecimento do número de cada Inspeção Tipo que a aeronave já foi submetida [29].

Uma definição mais habitual e mais utilizada na indústria aeronáutica para as Inspeções Tipo A, B, C e D é, respetivamente, A-Check, B-Check, C-Check e D-Check.

Tabela 1 – Inspeções Tipo da Manutenção de Base e sua caracterização, baseado em 29 e 34

Inspeções Tipo	Periodicidade (horas de voo e tempo)	Descrição	Exemplos
A	Após 750 horas de voo ou 4 meses.	Inspeção pouco detalhada baseada na abertura de painéis de acesso para verificar e servir certos itens. Pode demorar entre 6 a 24 horas.	Inspeção visual externa para ver danos ou outros defeitos, verificação da pressão do sistema de oxigênio da tripulação, verificação das luzes de emergência, etc.
B (este tipo é mais usual nos aviões Boeing)	Após 1100 horas de voo ou 8 meses.	Inspeção um pouco mais detalhada dos componentes e sistemas. Não envolve desmontagem detalhada ou remoção de componentes. Pode demorar entre 1 a 4 dias.	Inspeção da estrutura da aeronave, das asas, etc.
C	Após 7500 horas de voo ou 24 meses.	Inspeção extensiva de componentes e sistemas. Requer inspeção visual completa de componentes e sistemas específicos e dos seus controles. A Inspeção Tipo C também inclui os trabalhos realizados na Inspeção Tipo A. Pode demorar cerca de 3 semanas.	Verificação visual do estado dos vedantes da porta de entrada, inspeção da conduta de entrada do motor à procura de fissuras, verificação dos cabos de fuga do compartimento de voo, etc.
D	Após 25000 horas de voo ou 6 anos.	Inclui inspeções visuais detalhadas e outras não destrutivas na estrutura da aeronave. Trata-se de uma intensa inspeção da sua estrutura à procura de corrosão, fissuras, deformações e desgaste, também inclui uma desmontagem extensiva para ter acesso à inspeção, onde todos os sistemas são desmontados, verificados, reparados ou substituídos e reinstalados. A Inspeção Tipo D também inclui os trabalhos realizados nas Inspeção Tipo A e C. Pode demorar até 60 dias.	Inspeção dos parafusos de fixação do estabilizador, inspeção detalhada da estrutura da caixa das asas, inspeção dos feixes do chão, etc.

Como demonstrado na tabela 1 a periodicidade pode ser a partir das horas de voo ou do tempo de calendário, mas também pode ser a partir dos ciclos de voo. Na segunda coluna da tabela 1 pode-se verificar essa periodicidade, neste caso para um A320. Uma Inspeção Tipo A deve ser realizada após 750 horas de voo ou 4 meses, sendo a inspeção com menor periodicidade. Do Tipo B após 1100 horas de voo ou 8 meses, a Inspeção Tipo C após 7500 horas de voo ou 24 meses e por fim a Inspeção Tipo D, que é a que tem a periodicidade mais longa, após 25000 horas de voo ou 6 anos [29].

Como se pode verificar, ao longo da vida útil da aeronave (cerca de 20 anos) são realizadas várias vezes estas Inspeções Tipo que de seguida, à medida que são realizadas, são numeradas (como explicado anteriormente) para que possam ser identificadas e registadas para conhecimento do número de cada Inspeção Tipo que a aeronave já foi submetida [29].

Uma definição mais habitual e mais utilizada na indústria aeronáutica para as Inspeções Tipo A, B, C e D é, respetivamente, A-Check, B-Check, C-Check e D-Check.

Com a figura 3, demonstrada a seguir, pode-se perceber melhor o funcionamento da periodicidade das Inspeções, neste caso para as horas de voo, e numeração das Inspeções Tipo para um avião A320. Na figura pode-se verificar um gráfico em que no eixo das abcissas estão as horas de voo e no eixo das ordenadas a carga de trabalho para cada Inspeção Tipo.

Com a ajuda desta figura 3 é perceptível a periodicidade para a realização de uma A-Check num A320, 750 horas de voo, e de uma C-Check, 7500 horas de voo. Também se pode perceber pela carga de trabalho que ao se realizar uma C-Check esta contém os trabalhos realizados numa A-Check para além dos pertencentes nas C-Checks, sendo esta numerada como C-Check.

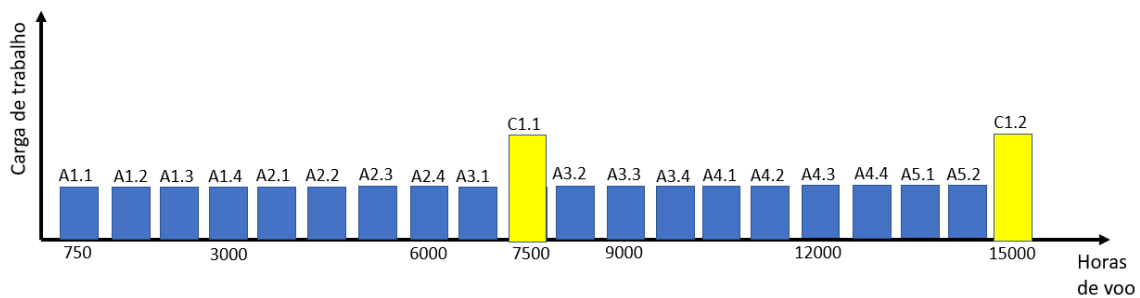


Figura 3 - Exemplo de histórico de Inspeções Tipo e carga de trabalho por horas de voo de um avião A320, realizado pelo autor

Outro ponto a mencionar é que por questões operacionais, ou seja, de modo a evitar paragens para inspeções desnecessárias e aproveitar o facto de aeronave já se encontrar imobilizada é possível antecipar uma Inspeção Tipo quando a necessidade de realizar determinadas tarefas de manutenção encontra-se próxima [29].

Na realização de uma Inspeção Tipo temos vários tipos e categorias de tarefas de manutenção desde tarefas repetitivas, que acompanham a periodicidade das Inspeções Tipo, a tarefas que na sua maioria não são repetitivas e são realizadas apenas em certos intervalos de Inspeções Tipo, ou seja, não são realizadas sempre que é realizada qualquer Inspeção Tipo, como é o caso das *Engineering Orders* (EO) [29]. As EO são documentos de manutenção normalmente realizados pelo Departamento de Engenharia de uma companhia aérea, que fornece orientação aos técnicos do modo de realização da respetiva tarefa [40]. Ou seja, são documentos de trabalho criados pela companhia aérea constituídos pela sequência de ações para atingir o objetivo definido.

Como explicado anteriormente, o que define a periodicidade das Inspeções Tipo são as tarefas de manutenção repetitivas e de rotina que as constituem. Temos as seguintes categorias de tarefas de manutenção: *General Visual Inspection* (GVI), *Discard* (Disc), *Funcional Check* (F/C), *Clean* (CLN), *Replace, Lubrification* (LUB), *Servicing* (SVC), *Operational Check* (OP/C), *Visual Check* (V/CK), *Check* (CHK), *Operational Check* (C/K), *Funcional Check* (FNC), *Drain, Acess* (ACC) e *Work Order* (RTR), estas categorias de tarefas de manutenção são realizadas sempre em qualquer Inspeção Tipo. De seguida, como tarefas não repetitivas existentes numa Inspeção Tipo existem o caso de algumas EO, algumas RTR ou as *Non Routine* (NR). Estas são realizadas em determinadas Inspeções Tipo, e normalmente não têm periodicidade [29].

Para a realização destas tarefas de manutenção incluídas nas Inspeções Tipo terão que ser gerados Cartões de Tarefa (*Task Cards*) [30]. As *Task Cards* contêm informações detalhadas sobre as tarefas de manutenção (mencionadas anteriormente) a realizar [30]. As *Task Cards* são utilizadas para registar cada sequência de trabalho, desde a receção das peças até à finalização do serviço de manutenção [42], assim como a altura em que se deve realizar [29]. Ou seja, é a partir das *Tasks Cards*, criadas para a realização de qualquer tarefa de manutenção, que estão associadas as periodicidades a ter em conta para a realização das Inspeções Tipo.

3.2.2.2.2 Manutenção de Motores e de Componentes

Outros tipos importantes de manutenção praticados durante a Manutenção de Base é a Manutenção de Motores e de Componentes. A importância destes dois tipos de manutenção realizados numa MRO é o facto de terem que ser executadas em oficinas próprias [29].

A Manutenção de Motores é realizada na Oficina de Motores e abrange os trabalhos sobre o motor após a sua extração da aeronave. Nesta oficina o motor pode ser submetido a vários níveis de desmontagem [29]. Isto pode ser desde verificações de serviço de rotina a reparações locais e revisão completa [33]. Segundo Sanches, [35] é a manutenção com mais peso na indústria aeronáutica.

Já a Manutenção de Componentes, como o nome diz, é realizada na Oficina de Componentes e engloba os trabalhos sobre os componentes não só da aeronave, mas também os dos motores após a sua remoção, e eventualmente após uma primeira passagem pela Oficina de Motores, onde foram retirados os componentes [29].

3.2.3 Outros serviços de uma MRO

Existem outros serviços que uma MRO pode oferecer a um cliente para além de trabalhos de manutenção, entre eles o planeamento da própria manutenção, criando planos de manutenção, e serviços de campanha, como por exemplo pintar e enfeitar uma aeronave ou patrocinar, por exemplo, os jogos olímpicos [38].

Segundo Barreira, [33] uma MRO para além das tarefas de manutenção e planeamento do trabalho, também pode ter o controlo de compras de materiais, fazer a gestão de pessoal e o controlo da qualidade.

3.2.4 Programas de Manutenção

Devido à complexidade e tamanho do avião Boeing 747 em 1968, a organização reparou que os programas de manutenção da altura deveriam ser mais estruturados. Por isso, a Boeing juntamente com outras organizações, clientes, fornecedores, autoridades como a Administração Federal de Aviação (*Federal Aviation Administration*, FAA), e entre outros, desenvolveram uma nova abordagem chamada MSG-1 (*Maintenance*

Steering Group) [43]. O objetivo deste novo plano foi de desenvolver novas estratégias de manutenção que pudessem garantir uma maior segurança e fiabilidade ao mínimo custo possível [31].

Devido ao sucesso da MSG-1 na altura esta rapidamente foi atualizada e estendida para outras aeronaves, dando origem ao MSG-2. Estes dois programas têm a mesma abordagem, *bottom up* [43], ou seja, é uma abordagem do componente para o sistema, pois ambas são orientadas para o processo, isto é, vai ao encontro ao processo de manutenção adequado [29].

Com a ampliação da abordagem MSG para outras e mais recentes aeronaves, foi criada a abordagem MSG-3 que é a aplicada atualmente. A principal diferença da MSG-3 para as outras duas abordagens é o facto de esta ser orientada para a tarefa e não para o processo, vai ao encontro à tarefa de manutenção adequada, é uma análise *top down*, ou seja, ao contrário das outras a análise MSG-3 é do sistema para o componente [29]. O foco da MSG-3 acaba por ser o facto de permitir perceber qual é o impacto de determinada falha na operação da aeronave [31].

Existem alguns motivos para a utilização do MSG-3 em vez da anterior, MSG-2, como o facto do MSG-2 não tratar adequadamente as avarias ocultas. O MSG-2, ao contrário do MSG-3, não impõe distinção entre a manutenção que deverá ser efetuada por motivos de segurança da que poderá ser realizada tanto por motivos operacionais ou mesmo económicos. A análise MSG-3 parte do mais elevado nível tratável, o que levará a obtenção do menor número de tarefas de manutenção, o que por sua vez conduzirá a uma maior segurança, pois minimiza o erro humano. Ao permitir um menor número de tarefas de manutenção, também se reduz a carga de trabalho e tempo de inspeções, o que aumenta a disponibilidade da aeronave e também uma redução dos custos de manutenção [29].

É com esta abordagem MSG-3 a servir como base que se inicia a construção de um Programa de Manutenção inicial, denominado *Maintenance Planning Data* (MPD), para novas aeronaves por parte dos fabricantes na fase de projeto, antes da aeronave entrar em serviço, e por parte das respetivas Autoridades Aeronáuticas [29]. Visto a aeronave não ter estado em serviço, ou seja, não ter “prática” de utilização, o MPD inicial é estruturado tendo em conta os dados e documentos de aeronaves semelhantes que já se encontram em serviço [43].

No momento em que a aeronave avança no seu ciclo de vida, o MPD tem que ser controlado e aperfeiçoado, deve ser alvo de uma evolução constante [11]. Ele incorporará, em revisões futuras, outros requisitos surgidos durante o serviço da aeronave [29]. Exemplo do tipo de documentos que dará origem a este tipo de revisões são os Boletim de Serviço (*Service Bulletin*, SB) e as Diretrizes de Aeronavegabilidade (*Airworthiness Directive*, AD) [29].

As AD são regulamentos emitidos pela Autoridade Aeronáutica quando uma condição insegura é notada, para corrigir essa mesma condição insegura que existe ou é provável de existir num produto ou equipamento, ou quando há a possibilidade de se desenvolver noutros equipamentos semelhantes, sendo, por tanto, obrigatória [29].

Já os SB são referentes, normalmente, a uma modificação de um item destinado a melhorar a segurança, conforto do passageiro, fiabilidade e a operação da aeronave e incluem uma descrição detalhada tanto das tarefas como das peças necessárias [29]. Por outras palavras, é um documento usado pelos fabricantes de aeronaves, dos seus motores ou dos seus componentes para informar detalhes de modificações que podem ser incorporadas nas suas aeronaves [44].

A partir dos SB, ou igualmente da experiência dos Operadores Aéreos, provêm as Ordens de Engenharia (*Engineering Orders*, EO), já definidas anteriormente. As EO são utilizadas para gerir e planear trabalhos de manutenção e podem incluir *Task Cards* ou indicar limitações tanto nas aeronaves como nos seus componentes [45]. Segundo o mesmo autor vários tipos de EO podem ser associados numa publicação técnica.

Tal como as EO, as *Task Cards* também são um tipo de documentação de manutenção com origem no MPD. Com origem nos *Task Cards*, e igualmente do MPD, surgem as tarefas de manutenção presentes nas Inspeções Tipo, indicadas anteriormente na secção 3.2.2.2.1. (GVI, CLN, F/C, etc.) [29].

O MPD, realizado pelo fabricante, aprovado pelas respetivas Autoridades Aeronáuticas e atualizado pelo Operador Aéreo, juntamente com estes tipos de documentação de manutenção falados provenientes do MPD, são uma base para a criação do Programa de Manutenção da Aeronave (PMA), que por sua vez será responsabilidade do Operador Aéreo. O PMA é elaborado pela parte de Engenharia do Operador Aéreo e a sua estrutura deve ser o mais adequada possível para responder aos requisitos e legislações das Autoridades Aeronáuticas [43].

Do PMA resultam as periodicidades das *Tasks Cards* e como tal das tarefas de manutenção, incluídas nas Inspeções Tipo, que podem ser de dois tipos: por parâmetros de uso (horas de voo e ciclos de voo) ou tempo de calendário [29]. Exemplo das periodicidades para as horas de voo e de tempo de calendário de um A320 podem ser visualizados na tabela 1 do capítulo 3.2.2.2.1, referente às Inspeções Tipo A, B, C e D.

Ao contrário das tarefas de manutenção provenientes das *Tasks Cards*, as EO não fazem parte do PMA, pois este é criado com o intuito da necessidade de realização de manutenção preventiva, onde se encontram as tarefas de manutenção incluídas nas Inspeções Tipo e conseqüentemente a sua periodicidade. Enquanto as EO, como não têm periodicidade e como são documentos criados para apoiar os técnicos na sequência de ações para alcançar o objetivo estabelecido, não fazem parte da manutenção preventiva e com isso não fazem parte igualmente do PMA. O mesmo acontece com os SB, pois, como definido anteriormente, são referentes a uma modificação num item para melhorar a segurança ou a operação da aeronave [29].

Sendo que este tipo de documentação referente às tarefas de manutenção está sempre sujeito a alterações dependendo das necessidades dos Operadores Aéreos e das legislações das Autoridades Aeronáuticas, conseqüentemente o PMA estará igualmente sujeito a alterações, isto para dizer que o PMA é um documento dinâmico que se encontra sempre submetido a alterações, quer às propostas pelos Operadores Aéreos nas tarefas de manutenção, como também por alterações obrigatórias pelas Autoridades Aeronáuticas que devem seguir [29].

3.2.5 Autoridades Aeronáuticas

Tal como foi dito anteriormente, uma organização de MRO tem como objetivo garantir a Aeronavegabilidade das aeronaves e para tal deve ser certificada, assim como também as suas aeronaves o devem ser, por determinadas agências que garantam isso mesmo, as denominadas de Autoridades Aeronáuticas.

Existem duas grandes Autoridades Aeronáuticas que garantem com normas ou diretrizes a Aeronavegabilidade das aeronaves, são a EASA (para a União Europeia) e a FAA (para os Estados Unidos da América). As aeronaves só podem voar se obtiverem um Certificado de Aeronavegabilidade ou aprovação da EASA ou da FAA. [43].

Segundo Correia, [43] as principais responsabilidades das Autoridades Aeronáuticas são:

- Prescrever requisitos e procedimentos de Aeronavegabilidade, desde a Certificação-Tipo até à produção e operação de aeronaves;
- Emitir e difundir regulamentação por todas as partes envolvidas no transporte aéreo;
- Controlar as organizações que estão envolvidas tanto nos materiais a utilizar, como no projeto, produção, operação e manutenção das aeronaves;
- Certificar não só as organizações aeronáuticas, como também o seu material e equipamento.

Capítulo 4 - Tecnologias de Informação numa MRO

Com a evolução e desenvolvimento das TI, seria esperado que mais cedo ou mais tarde fossem aplicadas na indústria aeronáutica e pelas MRO, cujos trabalhos são caracterizados por serem extremamente complexos, onde se pretende uma probabilidade de erro nula e onde os técnicos estão constantemente sob a pressão do tempo [37].

De modo a reduzir os erros de trabalho e acidentes, facilitar as tarefas dos técnicos, reduzir o tempo gasto nessas tarefas e, conseqüentemente, aumentar a disponibilidade das aeronaves, as empresas de MRO estão cada vez mais a usar as TI nos seus processos [46] e [47].

Na próxima secção serão apresentados alguns exemplos de TI, encontrados na revisão bibliográfica, aplicadas em manutenção aeronáutica e como estas contribuíram nos processos de manutenção.

4.1 Exemplos de TI numa MRO

Uma investigação realizada por Esposito et al, [5] avaliou várias tecnologias de rastreio (RFID, Banda ultralarga (*Ultrawideband*, UWB), *Beacon* e *RuBee*) para descobrir a melhor solução para o processo de gestão de rastreio de dados em atividades e processos de MRO em componentes aeronáuticos que precisam de ser digitalizados. Nessa avaliação final o resultado recaiu sobre o RFID. O autor ainda reforçou a aplicação da tecnologia RFID num projeto implementado entre a Transportes Aéreos Portugueses (TAP) *Maintenance and Engineering* e a Airbus *Megasys* denominado *Mobile Enabled Engine Repair Application* (MEERA) em que o RFID é utilizado em componentes de motores espaciais.

Num outro estudo realizado, o autor referiu que a tecnologia RFID também poderá ser usada para identificar e rastrear peças de helicópteros ao longo do seu ciclo de vida, de modo a permitir a automação e aumentar a visibilidade do processo tanto para os fornecedores como para as organizações de MRO [48].

O uso de sensores e tecnologias de rastreio leva à criação de uma elevada quantidade de dados, que por sua vez levará ao uso de técnicas de armazenamento de Big Data (BD) [49] para avaliação e análise dos mesmos. Estas técnicas de BD são úteis quando se

implementam redes de sensores para obter dados em tempo real, ajudando a prevenir falhas e fundir dados a partir das informações obtidas, para que se possa tomar as melhores decisões [48]. O *Chief Executive Officer* (CEO) da easyJet, após finalizar um acordo com a Airbus pela sua plataforma de dados *Skywise Predictive Maintenance*, que apoia a identificação dos componentes que irão falhar para que possam ser substituídos antes do acontecimento, acabou afirmando que ao aproveitar o poder da BD irá reduzir e eventualmente eliminar os atrasos devido a falhas técnicas, possibilitando um maior número de voos dentro dos horários previstos [49].

Entre outras possibilidades, a aplicação da IoT em MRO pode permitir atividades relacionadas com a recolha e avaliação do estado das aeronaves, de maneira a prever ocorrência de falhas, disponibilização dos dados em tempo real, identificação de padrões de falhas e agendamento de tarefas e ações de manutenção preditiva, evitando que uma aeronave voe para destinos com falta de peças sobressalentes [50]. Ou seja, a IoT possibilita tanto a recolha como a troca de dados entre operadores aéreos, partilhando as informações da aeronave em tempo real, e auxilia a execução das tarefas [30].

Sustentando esta ideia, Ondemir et al, [51] e Deal, [52] referem o potencial da IoT na redução da incerteza quanto à condição dos componentes, permitindo tomadas de decisão mais precisas, e a importância da mesma na recolha de dados obtidos por sensores ou por RFID, que começarão a melhorar a atuação perante determinadas avarias, reduzir a ocorrência de falhas e planear as respetivas tarefas de manutenção e reparação.

No que toca à inteligência artificial e utilização de robôs, Novak et al, [53] discutem o uso de *Unmanned Aerial Vehicles* (UAVs), ou drones, para trabalhos de inspeções visuais de aeronaves. As inspeções visuais à fuselagem exterior de aeronaves podem demorar entre 4 e 6 horas, sendo um processo muito demorado, como tal a utilização não só de UAVs, mas também de robôs terrestres pode reduzir significativamente este tempo e oferecer uma precisão de inspeção maior, o que por sua vez levará a uma redução dos custos de manutenção e aumento da segurança quer dos técnicos durante os trabalhos de manutenção quer também durante a navegação da aeronave.

Em 2018 a gigante Airbus desenvolveu a “*Airbus Advanced Inspection Drone*” em que utilizam os seus drones para trabalhos de inspeção visual dentro dos seus hangares, referindo, que acelera e facilita as inspeções das aeronaves reduzindo o seu tempo de inatividade e aumentando a qualidade dos relatórios de inspeção [54]. Um exemplo do

drone e tecnologia utilizada pela Airbus pode ser verificado na figura 4, em baixo. Em 2020 começaram a utilizar este tipo de inspeções visuais com o apoio da RA em serviço militar, realizando inspeções ao avião de transportes pesados A400M, tentando também aplicar essa tecnologia noutros 3 aviões militares (CN235, C295 e A330 MRTTs (*Multi Role Tanker Transports*)) [55].



Figura 4 - Airbus Advanced Inspection Drone, fonte 55

4.2 A Realidade Aumentada

4.2.1 História e desenvolvimento

A RA é uma avançada tecnologia digital que surgiu no início dos anos 90, curiosamente, na indústria aeronáutica, quando Tom Caudell, cientista da Boeing, com o apoio dos seus colegas criaram um sistema de apoio à montagem de fios e cabos numa aeronave [7].

Apesar desta tecnologia ter sido desenvolvida há quase mais de 30 anos e consequentemente a partir dessa altura ter tido as suas primeiras manifestações, só começou a ter uma significativa evolução em ambientes industriais recentemente com a redução das dimensões dos componentes eletrónicos, o aumento do poder informático, a evolução da autonomia dos computadores e a adoção tanto de *smartphones* como também de outros dispositivos portáteis [56].

4.2.2 Definição

RA pode ser definida como o processo de sobrepor informação virtual à visão do mundo real do utilizador, de forma a “aumentar” [57],[58] e [59]. Ou seja, muito basicamente um sistema de RA complementa a visão do mundo real com objetos virtuais em tempo real, interativos e gerados por computador que coexistem no mesmo espaço que o mundo real [59].

4.2.2.1 Realidade Aumentada, Realidade Virtual e Realidade Mista

Algo muitas vezes complicado de diferenciar são os conceitos de RA e RV, o que faz com que muitas pessoas considerem praticamente o mesmo, quando são distintas entre si.

A diferença entre RA e RV é que a RA completa a realidade, em vez de a substituir, pois permite ao utilizador visualizar o mundo real com objetos ou mensagens visuais sobrepostas ou compostas com o mundo real [60], como foi explicado anteriormente. Enquanto a RV cria um ambiente totalmente virtual, de tal forma que é como se o indivíduo estivesse realmente lá [61]. Ou seja, o utilizador entra num ambiente totalmente sintético, não conseguindo visualizar ou sentir o mundo real [60].

De uma forma mais breve diz-se que em RV não há conexão entre o utilizador e o mundo real, ao contrário do que acontece com RA [48], e também que RA é uma variação de RV [60] e [61].

RA e RV fazem parte de um campo mais vasto denominado de Realidade Mista (RM), que é caracterizado por conter diferentes tecnologias que misturam o mundo físico com o digital e que estão entre a extrema do ambiente real com o virtual, como demonstrado na figura 5 [62].

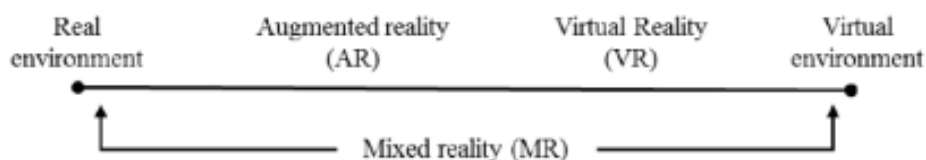


Figura 5 - Realidade Mista e os extremos entre Realidade Aumentada e Realidade Virtual, fonte 62.

Esta tecnologia (RM) que mistura os elementos reais com os virtuais pode ser caracterizada pela utilização de hologramas em trabalho remoto, em que as equipas partilham dados holográficos 3D evitando viagens e melhorando a comunicação entre

ambas [63]. Outros dispositivos que podem existir no campo da RM podem ser *tablets* e projetores de RA, *Cave Automatic Virtual Environment* (CAVE) ou *Head-Mounted display/Helmet-Mounted Display* (HMD) [64].

4.2.3 Motivos de utilização de RA

Existem vários motivos para o uso desta inovadora tecnologia, entre eles a evolução da complexidade dos produtos pretendidos pelos clientes assim como a integração de sistemas informáticos incorporados, o que leva à necessidade de melhores e elevadas competências dos técnicos [59]. Quanto maior a complexidade de um produto, maior é o potencial benefício da RA [64].

Outro motivo tem a ver com a globalização e o aumento do ciclo de vida de um produto, que faz com que as organizações tenham de ser muito eficientes nas suas infraestruturas espalhadas pelo mundo, o que leva à deslocação dos técnicos. Com esta tecnologia é possível uma melhor interação entre os próprios trabalhadores e entre os trabalhadores e os clientes, colaborando para uma melhor gestão das organizações evitando deslocações demoradas [59].

Outro motivo relacionado com o tempo é a questão da formação de trabalhadores, que com o apoio desta tecnologia pode vir a ser reduzida, e conseqüentemente também se reduziria os seus custos, para além de também facilitar esses mesmos processos de formação [65].

Leva a intervenções mais rápidas quer em processos de manutenção como em processos de montagem e a uma maior redução dos seus erros. Também pode garantir a possibilidade de procedimentos mais seguros, a redução da documentação exaustiva, a orientação remota e a supervisão de um perito dos trabalhos a serem realizados [65].

Por fim, a possibilidade de ter acesso no próprio local a dados do projeto ou ao trabalho a ser realizado e a possibilidade de adicionar e/ou sobrepor informações em qualquer fase do mesmo, demonstra o quão versátil é esta tecnologia [65].

Resumidamente e num modo geral, a tecnologia de RA é aplicada com o objetivo de aumentar a eficácia, ou seja, reduzir os erros, e de aumentar a eficiência, ou seja, redução dos tempos de tarefas [64]. Estes motivos e benefícios da aplicação de RA serão

demonstrados e comprovados numa prática de manutenção aeronáutica nas próximas secções do trabalho.

4.2.4 Constituição de um sistema de RA e tipos de dispositivos

Um sistema típico de RA é constituído por cinco ferramentas importantes [59]:

1. Sistema informático para que se possa executar a aplicação;
2. Câmara digital para capturar o cenário atual;
3. Sistema de rastreio para fazer o posicionamento entre a parte real e a parte virtual;
4. Um visor ou ecrã para que se possa visualizar o cenário real aumentando;
5. Um sistema de aquisição de dados para que se possa interagir com o cenário real aumentado.

Estes pontos serão agora analisados mais profundamente integrados nos dois focos de um sistema de RA que são o seu *software* e o seu *hardware* [66].

4.2.4.1 Apresentação da informação num sistema de RA

As formas de apresentação da informação num sistema de RA podem ser:

- Instruções em texto. Usadas para descrever a tarefa ou como notas e advertências [67] e [68];
- Instruções em áudio. Por exemplo mensagens verbais usadas para fornecer informações ao utilizador [67];
- Instruções em forma de imagens e figuras. Por exemplo a utilização de setas 2D e 3D para indicar a direção de um movimento [68];
- Etiquetas de localização. Para mostrar a localização do componente-alvo e zona circundante [67] e [68];
- Modelos 3D de ferramentas, componentes ou mesmo avatares virtuais [69]. Muitas vezes são utilizadas como animações que mostram o seu movimento correto para realizar a tarefa (normalmente utilizadas para tarefas mais

complexas) [68] ou guiar o utilizador [69], de modo a facilitar o trabalho e percepção do técnico [67];

- Instruções em vídeo [69] e;
- Ligação vídeo ou áudio com um técnico especializado (assistência remota). Certos sistemas de RA permitem isto para que se possa prestar assistência técnica remota, exibida com a abordagem de qualquer tipo de ecrã [64].

A escolha do tipo e modo de apresentação do conteúdo é dos dilemas mais importantes num sistema de RA. Este tipo de escolha pode ser relacionado com a complexidade do trabalho a realizar ou do local/ambiente a ser realizado. Por exemplo, as instruções áudio não são adequadas para ambientes de trabalho ruidosos, uma indicação de uma determinada posição/local deve ser realizada com uma seta estática em vez de um texto ou vídeo, ou também uma ação de movimento complexo necessitaria de uma animação 3D em vez de texto ou mesmo imagens estáticas [69].

Muitos dos sistemas de RA combinam estes tipos de informação, por exemplo em [69] o autor refere que a utilização da combinação de setas de direção, modelos virtuais e texto de instruções podem ser usados para orientar o utilizador a encontrar determinadas ferramentas ou solicitar o estado dos componentes. Porém também a quantidade de informação a ser selecionada requer muita importância, pois o facto de ser selecionada demasiada/insuficiente informação, informações erradas ou descuidadas podem afetar fortemente a atenção do utilizador, os resultados, desempenho e segurança da tarefa [67].

4.2.4.2 Constituição de um sistema de RA

4.2.4.2.1 Tipos de *Hardwares* e equipamentos

Do ponto de vista do *hardware*, ou seja, componentes físicos, segundo Piedimonte e Ulbo, [65] num sistema de RA existem três componentes principais a utilizar:

- uma câmara, que é utilizada para captar o ambiente real;
- uma unidade de controlo para que se possa processar o vídeo e imagens capturadas pela câmara;

- e um dispositivo para apresentar a informação final já aumentada, como por exemplo uma tela, um projetor ou um ecrã.

Adicionalmente existem outros dispositivos que complementam e melhoram a aplicação e/ou são utilizados para aplicações mais específicas. Estes dispositivos adicionais podem ser *Global Positioning Systems* (GPSs), sensores de movimento humano, acelerómetros, giroscópios, etc. [65].

Atualmente os principais equipamentos para a aplicação das tecnologias de RA são a utilização de ecrãs móveis, como por exemplo *smartphones* e *tablets*, de ecrãs fixos, como monitores, e a utilização de capacetes, isto é, HMDs, ou de óculos de RA [62]. No entanto a utilização dos HMD e dos óculos de RA tem sido mais limitada e ainda não foi perfeitamente adotada devido aos protótipos existentes serem muito pesados e o poder de computação ainda ser limitado para esse nível [65].

O mecanismo mais inovador de HMD e óculos atual são os Microsoft HoloLens, que contêm uma câmara de deteção de profundidade que analisa o ambiente, o que leva a um rastreio mais eficiente. Este equipamento é um computador holográfico totalmente autónomo, sem fios, sem sistema de telefone e não necessita de uma ligação com outro computador, utilizando o sistema operativo Windows 10 [63].

Os HoloLens permitem colocar imagens virtuais no ambiente real, sendo totalmente realistas e podendo mover-se, ainda podem ser moldados ou modificados de acordo com a interação do utilizador ou do ambiente físico em que são sensíveis [65]. Um exemplo do sistema HoloLens da Microsoft pode ser visualizado na figura 6.



Figura 6 - Microsoft HoloLens, fonte 65

Outro dispositivo igualmente bem qualificado nesta área é o Google Glass, que permite uma visão idêntica a uma visão sem óculos, ou seja, o utilizador mal nota a diferença pelo facto de estar a visualizar através de um dispositivo, bom comando de voz e áudio, mesmo em casos de ambientes com ruídos de fundo. Porém a tecnologia ainda é imatura o que

impede o seu uso num ambiente real de trabalho, mas é um protótipo que já mostra muito potencial [70].

Outros dispositivos HMD igualmente com elevada potência de computação foram inseridos no mercado e tornados adequados para utilização em aplicações de RA, são eles por exemplo o Vuzix Wrap 1200DXAR [65], Vuzix Star 1200XL [71], Oculus Rift [61], entre outros.

A principal diferença entre os dispositivos HMD ou óculos de RA e os ecrãs móveis, é o facto de estes segundos não permitirem ter as mãos livres, porém são os mais utilizados atualmente, pois apresentam uma tecnologia mais madura [66].

A sua forma mais comum de utilização é a partir de *smartphones* ou de *tablets* utilizando sistemas operativos tanto Android ou iOS, onde são instaladas as ferramentas e as tecnologias necessárias para o uso [58]. Estes tipos de dispositivos contém uma câmara responsável por capturar o ambiente real, enquanto um outro dispositivo, como um computador, forma a imagem virtual e insere-a no ecrã do *smartphone* ou *tablet* [61].

Um dos equipamentos auxiliares são os projetores, que são usados em alternativa aos HMD ou aos óculos de RA. Esta aplicação usando projetores, que podem ser de instalação fixa ou instalação móvel, é denominada de *Spatial Augmented Reality* (SAR, Realidade Aumentada Espacial) [61]. Outro equipamento de auxílio são os dispositivos hápticos, como por exemplo o uso de *datagloves*, que melhoram a sensação imersiva e interativa do utilizador [66].

4.2.4.2.2 Softwares para RA

Um bom *software* é extremamente importante para um sistema de RA, estando diretamente relacionado com a capacidade de rastreio do mesmo. O rastreio é muito relevante em aplicações de RA, pois com um bom sistema de rastreio o utilizador pode movimentar-se com mais vontade tendo a certeza de que após os seus movimentos com o aparelho de RA ele consegue recuperar os conteúdos digitais nas localizações ideais [66]. Existem dois tipos de rastreio, com marcadores no ambiente real e sem marcadores.

O método de uso de marcadores no ambiente real passa pela identificação dos marcadores pelas câmaras, onde de seguida são comparados com padrões previamente definidos [61]. Quando a utilização de marcadores não é viável utilizam-se técnicas de rastreio sem

marcadores onde o rastreamento pode ser baseado em características naturais, como por exemplo arestas ou texturas, que são rastreados de forma a posicionar corretamente os objetos virtuais [72].

Segundo Lima, [72] estes dois métodos de rastreamento (o método de uso de marcadores no ambiente real e o método sem marcadores) apresentam desvantagens e vantagens, sendo o método de rastreamento sem marcadores o mais interessante do ponto de vista de utilização e para os investigadores. De acordo com o mesmo autor o método de rastreamento com marcadores apresenta várias desvantagens devido à oclusão dos marcadores por ferramentas ou pelo corpo do utilizador, os marcadores podem ocultar partes importantes do equipamento e a posição e orientação do equipamento tem que ser calibrada para cada marcador presente na cena.

Enquanto isso, o método de rastreamento sem marcadores apresenta algumas vantagens, como a possibilidade de reconhecer objetos específicos e de simular interações entre o mundo real e o mundo virtual, como por exemplo, casos de colisão e de oclusão de elementos, quando sobrepostos [72]. Porém os métodos de rastreamento sem marcadores são mais complexos e necessitam de uma tecnologia mais madura para sua aplicação [61].

Na figura 7 pode-se verificar exemplos destes dois tipos de rastreamento, à esquerda com marcadores e à direita sem marcadores.



Figura 7 – Exemplos de método de rastreamento com marcador (à esquerda) e rastreamento sem marcador (à direita), fonte 72.

As técnicas de rastreamento sem marcadores visto serem mais complexas têm mais para descrever e explicitar, ao contrário das com marcadores. Existem duas classificações para as técnicas de rastreamento sem marcadores: baseadas em modelo, também denominadas de técnicas *Natural Feature Tracking* (NFT), e baseadas em *Simultaneous Localization and Mapping* (SLAM) [61].

A principal diferença entre estas duas técnicas é o fato de nas técnicas baseadas em modelos, ou as NFT, o conhecimento sobre o mundo real é obtido antes do rastreamento e é armazenado num modelo 3D que depois é utilizado para estimar a posição da câmara. Enquanto nas técnicas baseadas em SLAM o movimento da câmara ao longo dos cenários é estimado sem qualquer conhecimento prévio do mesmo, sendo apenas adquirido durante o rastreamento [72].

Os métodos de rastreo baseados no modelo podem ser classificados em: baseados na aresta (em que a posição da câmara é estimada a partir de um modelo 3D de um objeto com base na sua aresta no ambiente real), baseados no fluxo ótico (exploram a informação temporal extraída do movimento relativo da projeção do objeto na imagem, rastreando o mesmo) e baseados na textura (tem em consideração a textura presente nas imagens rastreadas do ambiente real) [72]. Na figura 8 são demonstrados estes três tipos de rastreo baseados no modelo.

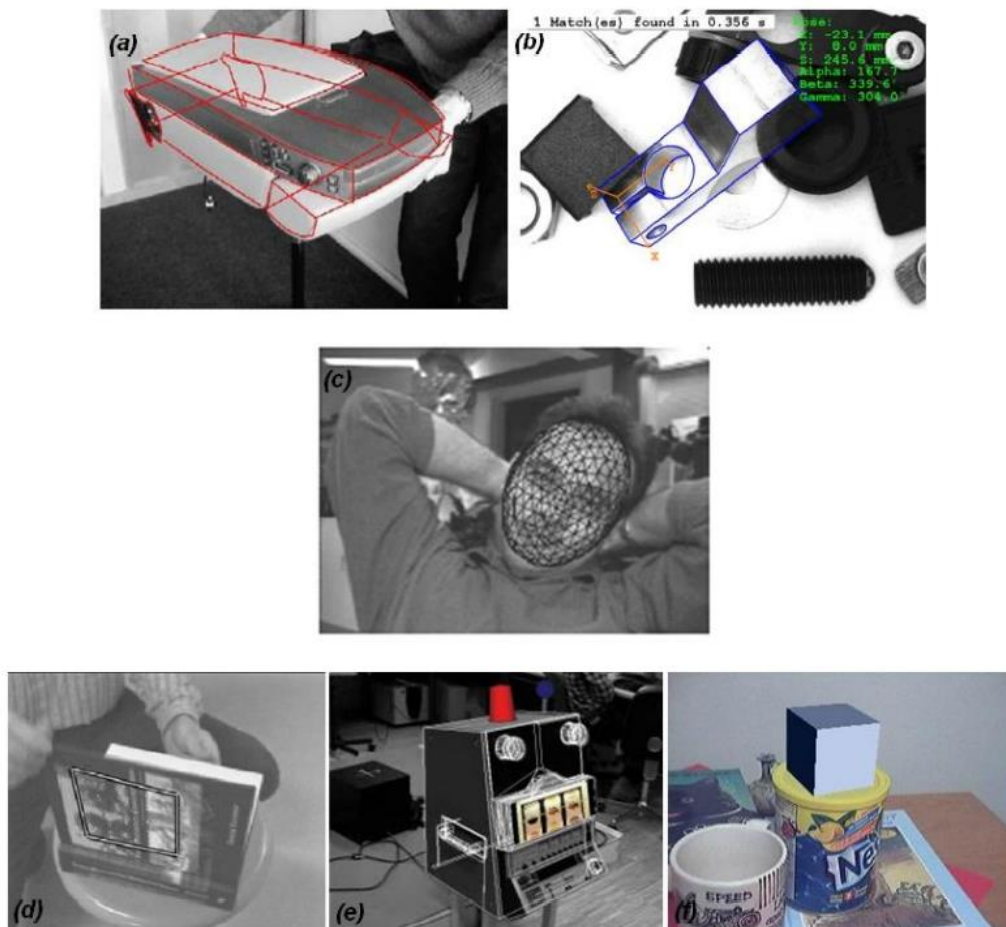


Figura 8 - Exemplos de rastreamento baseado em modelo: (a) e (b) baseado na aresta; (c) baseado no fluxo ótico; (d), (e) e (f) baseado na textura, fonte 72.

O método SLAM consiste na construção de um mapa probabilístico baseado em recursos que estimam a posição do utilizador em tempo real e a posição dos recursos pretendidos, este método é caracterizado pela localização dos pontos de recurso que são utilizados para a criação de nuvens de pontos 3D para o ambiente desconhecido em tempo real e de seguida determinar os caminhos de navegação do sistema como um processo de pré-digitalização. Esta técnica de rastreio desenvolveu-se após os sensores comerciais começarem a ser capazes de detetar informações sobre a estrutura ambiental [61].

Com isto, o *software* de um sistema de RA deve ser de alto desempenho e deve ter a capacidade de rastrear objetos 3D, reconstruir e entender o ambiente de trabalho, que se pode apresentar desordenado e em modificação [73]. Segundo Konstantidinis et al, [63] o Vuforia SDK é o *software* de rastreio (baseado tanto nas técnicas de NFT como também na utilização de marcadores) mais popular em aplicações de RA e que, entre outros *softwares*, o Vuforia apresenta uma boa velocidade de reconhecimento, um bom rastreio de objetos e uma boa eficiência para condições de baixa luminosidade. Também segundo Ababsa, [73] este *software* permite um alinhamento preciso de objetos virtuais para o ambiente real, permite o rastreio em simultâneo de vários alvos e adapta-se bem em dispositivos móveis.

Comprovando estes argumentos, foi realizado um estudo onde os autores enumeraram os prós deste *software* como a sua fácil implementação de cenários, num modo geral, e a fácil implementação com o dispositivo *hardware* HoloLens, falado anteriormente, o único contra era o facto de só ter funções pré-definidas e personalização reduzida [57]. Segundo Bordegoni et al, [74] os autores também referiram a sua facilidade de aplicação e estabilidade para fracas condições de iluminação. Outros *softwares* de rastreio também muito utilizados são ArtToolkit, que usa marcadores para rastreio, ARCore e ARKit, estes dois últimos não usam marcadores para o rastreio [73].

Estes *softwares* de rastreio são utilizados integrados noutros ambientes de execução que sejam compatíveis entre si como Java, Windows, iOS, Android ou Unity 3D, que é o mais desenvolvido no mercado [58].

O Unity 3D é um poderoso motor de jogo 3D de suporte a scripts, gráficos 3D e 2D e animações [63]. Para além disso, segundo Mourtzis et al, [71] o Unity 3D suporta uma grande variedade de formatos de objetos e é suportado também com Windows, Android e iOS, de modo que possa ser implementado em dispositivos fixos como também em

dispositivos móveis. *Softwares* de rastreamento como Vuforia, ARCore, ARKit ou ARToolKit, entre outros, também são totalmente compatíveis com este motor, o que permite a sua aplicação em conjunto [73].

Uma conclusão prévia que se pode retirar tendo em conta a revisão bibliográfica realizada é o facto de existirem muitas tecnologias de *software* a aplicar nos sistemas de RA e que apesar de existirem alguns com maior aplicação e aprovação dos especialistas, como o Vuforia e o Unity 3D (no caso de ambientes de execução), como explicado anteriormente, todos apresentam vantagens e desvantagens entre si, especialmente quando são conjugados com outras tecnologias e ambientes de execução, o que leva a determinadas combinações de tecnologias para determinados propósitos e fins de utilização.

4.2.5 Limitações da aplicabilidade de sistemas de RA

A principal limitação na utilização deste tipo de tecnologia tem a ver com a pesada computação requerida para a atualidade [65]. Isto também está relacionado com a bateria dos dispositivos, como por exemplo dos *smartphones* e *tablets*, que é insuficiente para aguentar a computação requerida [75], traduzindo-se num baixo período de utilização [59] e [76], ou com a falta de robustez destes dispositivos de exibição que não foram concebidos para utilizações prolongadas [72].

Outra limitação tem a ver com a adaptação aos tipos de trabalhos, como por exemplo os trabalhos em que é necessário ter as mãos livres não favorece a utilização de alguns dispositivos portáteis de visualização como *smartphones* ou *tablets* equipados com RA, que irão afetar a mobilidade e respetivo desempenho do utilizador [75], [61] e [74].

Isto leva à utilização de outro tipo de aparelhos portáteis como é o caso dos HMDs. Porém estes também apresentam alguns problemas que limitam a sua utilização. Esses problemas estão relacionados com o seu tamanho e peso [59], criando um grande desconforto ao utilizador [61]. Estes aparelhos, como criam um campo de visão menor do que o campo de visão normal do humano, ou seja, limita o campo de visão do utilizador, também podem criar dores de cabeça, náuseas e tonturas após um longo período de utilização [61].

O mesmo acontece com a utilização de óculos equipados com RA, que apesar de serem mais leves que os HMD também podem apresentar algum desconforto. Outros problemas com a utilização dos óculos de RA são as suas ainda limitações em termos de Memória

RAM que ainda não permitem o carregamento de modelos complexos e de elevada resolução [57]. Por fim, uma limitação que também afeta ambos estes dispositivos é o facto de se o utilizador necessitar de usar óculos com regularidade no seu dia a dia, devido a alguns problemas de visão, não lhe é muito conveniente o uso destes equipamentos [61].

Tanto os HMD, como os óculos de RA e os *tablets* ou *smartphones* são afetados pelo ambiente de trabalho, ou seja, condições meteorológicas rígidas, sujidade, o ruído, luminosidade e a utilização dos Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), como a utilização de capacetes, luvas de trabalho, óculos de segurança, etc. Por exemplo as luvas de trabalho podem dificultar o manuseamento dos dispositivos e os óculos de RA atuais podem não ser apropriados para o uso ao ar livre em condições climatéricas difíceis [75].

Em relação ao rastreo, este pode ser muito afetado com a luminosidade do local [76] e também é sensível a ambientes agressivos [64]. Isto pode afetar a precisão, a qualidade da imagem e piorar a visão do utilizador [61]. Isto na mesma fase em que o rastreo também ainda apresenta algumas limitações quando utilizado em condições ideais, por exemplo por vezes os símbolos ainda não são colocados nos locais certos, principalmente quando o utilizador se move, confundindo-o e afetando a precisão das informações comunicadas [76].

Ainda em relação ao rastreo, e como referido anteriormente no tópico referente à apresentação da informação de um sistema de RA, a escolha do tipo e quantidade de informação a utilizar também ainda é um obstáculo à utilização desta tecnologia [76]. Também como referido em [61] o tamanho e posição dos marcadores pode ser uma barreira durante a execução das atividades, assim como também por vezes o facto do objeto virtual não apresentar formas semelhantes, baixa resolução ou poder-se apresentar fora da posição real [76].

O desenvolvimento de uma aplicação de RA requer elevados conhecimentos [57], um longo período de criação e são desenvolvidos muitas vezes para um produto ou aplicação específica [76], o que por sua vez está associado também a elevados custos de implementação. Em [76] também é referido que a RA ainda não foi introduzida em muitas práticas industriais, como seria esperado, pois ainda existe uma baixa relação do seu desempenho com o seu custo, tanto de *softwares* como de *hardwares* disponíveis no mercado.

4.2.6 Legislação e Regulamentação Aeronáutica

Sendo este trabalho sobre a utilização de novas e avançadas tecnologias na manutenção aeronáutica, sentiu-se a necessidade de verificar e comprovar se em termos regulamentares é possível o uso de novas tecnologias na área da aeronáutica.

Esta necessidade parte pelo facto de a indústria aeronáutica ser extremamente regulamentada e estar carregada de normas que têm que ser cumpridas com muita rigorosidade.

Por isso, verificou-se a *Part-147 Maintenance Training Organisations* da EASA. A EASA é uma organização da União Europeia (UE) e tem como objetivo promover os padrões de segurança e proteção ambiental na aviação civil, desenvolvendo regulamentos para tal [77]. As suas principais tarefas são [77]:

- Elaboração da legislação de segurança da aviação e prestação de aconselhamento técnico à Comissão Europeia e aos Estados-Membros;
- Inspeções, programas de treino e padronização para garantir a implementação uniforme de legislação europeia de segurança da aviação em todos os seus Estados-Membros;
- Certificação do tipo de segurança e certificação ambiental de aeronaves, motores e suas peças;
- Aprovação de organizações para a conceção de aeronaves em todo o mundo e de organizações para a manutenção e produção de aeronaves fora da UE;
- Autorização de operadores de países terceiros, fora da UE;
- Coordenação do programa comunitário europeu *Safety Assessment of Foreign Aircraft* (SAFA);
- Recolha de dados, análise e pesquisa para melhorar a segurança da aviação.

A escolha do regulamento a analisar recaiu na *Part-147 Maintenance Training Organisations* (MTOs), pois é um regulamento que aprova se uma organização pode treinar e certificar técnicos de manutenção aeronáutica, tornando-os credíveis [78]. A escolha também passa por uma regulamentação relativa à formação, pois é na altura de formação de novos técnicos que se deve começar a introduzir e praticar o uso de novas tecnologias para trabalhos de manutenção aeronáutica, de modo que quando forem realizar as tarefas já conheçam os novos instrumentos a utilizar.

Desta forma, houve a necessidade de verificar a existência de algo que impedisse a aplicação destas novas TI numa organização de modo formar e certificar novos e melhores técnicos de manutenção aeronáutica.

Após uma exaustiva análise da Part-147 é possível afirmar que não existe nada por parte das regulamentações da EASA que impeça a utilização deste tipo de tecnologias para a formação e aprendizagem dos novos técnicos, o que é um grande passo para o início da possibilidade de utilização destas tecnologias nos trabalhos de manutenção da indústria aeronáutica e não apenas para a formação dos técnicos.

Apesar de não haver nada em relação à regulamentação da EASA que impeça a sua utilização, há necessidade de fazer algumas alterações ao regulamento Part-147. À medida que se adota novos processos e novas tecnologias é necessário realizar alterações nas suas regulamentações, como tal a EASA, juntamente com membros de outras organizações que possuem a Part-147, como por exemplo a Lufthansa Technik, a Embraer e a Airbus, realizaram uma apresentação com propostas de alterações a serem efetuadas na Part-147 relativamente ao uso de novas tecnologias e métodos de ensino [79].

Esta reunião entre organizações demonstra que as mesmas se preocupam, estão atentas à evolução tecnológica e que querem rapidamente ter a possibilidade da sua utilização não só destas tecnologias como de novos métodos, manifestando o seu interesse em evoluir e inovar. Segundo Hanzevacki, [79] estas alterações da regulamentação relativamente ao uso de novas tecnologias podem levar a vários impactos, quer de segurança, económicos para todas as partes e também sociais.

Em relação à segurança temos:

- A legitimidade e enquadramento de novas tecnologias e métodos evita a sua utilização indevida;
- Riscos reduzidos durante os treinos práticos na visita às aeronaves, pois podem ser realizados em ambientes mais seguros;
- Condições de igualdade e um nível mais elevado de normalização e harmonização;
- Conformidade com o desenvolvimento tecnológico da aeronave, peças, ferramentas e equipamentos.

Em relação aos impactos económicos temos:

- Para as *Approved Maintenance Training Organizations* (AMTOs):
 - Potencial aumento das receitas devido à existência de mais tempo restante para outros cursos adicionais;
 - Redução dos custos relativos às visitas a aeronaves e da sua disponibilidade, assim como responsabilidades e seguros e;
 - Menos ensino em ambiente de sala de aula e utilização de mais ensino à distância.
- Para as *Approved Maintenance Organizations* (AMOs):
 - Redução da duração e respetivos custos da formação;
 - Maior disponibilidade dos colaboradores para as tarefas de trabalho e;
 - Redução das despesas relativas a viagens e alojamento.
- Para os alunos:
 - Redução da duração da formação e das despesas;
 - Aumento do seu potencial e retorno mais rápido do seu investimento em formação;
 - Redução do tempo gasto para a aprendizagem.
- Para os fornecedores de equipamentos:
 - Aumento da procura de produtos, que leva ao aumento das receitas;
 - Aumento do desenvolvimento destas tecnologias de formação;
 - Potencial impacto positivo nos preços de mercado quer dos *hardwares* como também dos *softwares* devido ao crescimento deste tipo de mercado;
 - Custos adicionais de implementação devido a adaptação de procedimentos, formação de pessoal para novas competências e eventual emprego de pessoal adicional.

Por fim, impactos sociais:

- Maior atratividade por parte dos alunos devido à utilização de novos métodos e tecnologias;
- Possibilidade de aprender em qualquer lado e qualquer hora;
- Formação mais acessível;

Com isto, pode-se concluir que estas alterações propostas têm em vista dois grandes objetivos: redução do tempo de treino e tornar o campo da manutenção aeronáutica mais atrativo para a aquisição e formação de novos colaboradores.

4.2.7 Áreas de aplicação

Apesar de a RA ter aparecido inicialmente na aeronáutica e haver já muitos estudos para a sua aplicação em vários tipos de trabalhos nesse setor, existem outras áreas em que as tecnologias de RA também têm começado a ter alguma presença.

A medicina, aplicação de jogos, sistemas de navegação de veículos, psicologia e transmissão de eventos desportivos são alguns exemplos de sectores onde as tecnologias de RA podem e são por vezes utilizadas. Para além destas áreas, um dos campos mais promissores e onde a RA é usada com mais relevo é na indústria [61], onde as tecnologias de RA já têm vindo a ser utilizadas nas suas vastas áreas.

Segundo Cardoso et al, [61] arquitetura, engenharia mecânica, construção, aeronáutica, automóvel, automação e eletrónica, energia, logística e marinha, são algumas das principais aéreas da indústria que implementam a RA nos seus processos produtivos.

Continuando no setor da indústria, também se pode afirmar que as principais aplicações desta tecnologia são em processos de produção, manutenção, inspeção e de formação de trabalhadores e técnicos, tanto em montagem como também em manutenção [61].

4.2.8 Casos de estudo de aplicação de tecnologias de RA na manutenção aeronáutica

Nesta secção serão apresentados e caracterizados 5 casos de estudo de aplicações de tecnologias de RA no sector aeronáutico, mais propriamente na área de manutenção, inspeção e também montagem. De referir que existem tarefas realizadas durante as fases de produção/montagem que podem ter uma forte correlação com as tarefas de manutenção, como algumas que serão apresentadas nestes casos de estudo, daí a sua inclusão nos próximos capítulos. Para além da descrição desses casos também serão apresentados outros resultados obtidos noutros casos de estudo e testemunhos de pessoas que trabalham na área da aeronáutica.

Antes de se passar para a apresentação dos casos de estudo, há a necessidade de explicar os dois tipos de questionários utilizados para a análise qualitativa em alguns destes casos. Esses dois questionários são respectivamente o *NASA Task Load Index* (NASA-TLX) e o *System Usability Scale* (SUS).

O NASA-TLX é um questionário utilizado para avaliar a qualidade da experiência, isto é, a exigência mental necessária para realizar a tarefa, que nestes casos será avaliada e comparada entre o uso de RA e sem o uso de RA para realização das tarefas [80]. Esta avaliação da NASA-TLX utiliza seis fatores de avaliação: a procura mental, a procura física, procura temporal, desempenho do dispositivo, esforço e frustração do utilizador. Nestes fatores os utilizadores dão uma pontuação de 0 a 100 com etapas de 5 pontos. De seguida é criada uma ponderação individual de cada fator deixando os inqueridos compará-los em pares com base na importância que entendem conter. Isto leva a que o sujeito escolha o fator mais importante para a carga de trabalho, sendo o número de vezes que é escolhido a sua pontuação ponderada [81].

O inquérito SUS é utilizado, nestes casos, para avaliar o grau de facilidade do uso do sistema de RA, ou usabilidade, como suporte à tarefa [80]. Esta escala de usabilidade criada pelo inquérito contém dez questões relevantes para a conclusão da sua usabilidade, onde os inqueridos dão valores de 1 a 5, sendo que o valor 1 corresponde a “não concorda completamente” e 5 corresponde a “concorda completamente” [82].

4.2.8.1 Caso da Safran Landing Systems

Loizeau et al, [80] realizaram um projeto em colaboração com a *Safran Landing Systems* (SLS), na França, para estudar a aplicabilidade de RA na manutenção aeronáutica. A SLS é considerada a líder mundial em sistemas de aterragem e travagem de aeronaves [83].

A experiência foi realizada numa tarefa de montagem que está dividida em oito subtarefas ambas com complexidade semelhante, mas com instruções diferentes, como por exemplo a instalação de peças ou eixos em determinada posição, aperto de parafusos e colocação de proteções em áreas lubrificadas [80]. A estação de trabalho e respetivos equipamentos utilizados neste caso de estudo podem ser visualizados na figura 9.



Figura 9 - Estação de trabalho e respectivos equipamentos para aplicação da tecnologia de RA no caso da SLS, fonte 80

Foram selecionados 9 operadores para participarem nesta experiência e foram divididos em três categorias considerando o seu nível de conhecimento relativamente a esta tarefa de montagem: dois principiantes (com conhecimento de trabalho inferior a três anos e nenhum nesta tarefa de montagem), cinco intermédios (com conhecimento de trabalho superior a três anos e nenhum nesta tarefa) e dois peritos (com conhecimento de trabalho superior a três anos e com conhecimento nesta tarefa). Há que referir que nenhum dos participantes tinha conhecimento prévio sobre aplicação de tecnologias de RA [80].

A tarefa desta experiência foi realizada em dois modos de funcionamento e em condições reais de trabalho. O primeiro modo é o método convencional, utilizando apenas os suportes em papel com instruções textuais padrão e imagens detalhadas de cada subtarefa, ou seja, o manual de instruções. Os participantes utilizaram este manual de instruções para procurar as informações relevantes para a tarefa de montagem, como é realizada normalmente. O segundo modo consiste em exatamente as mesmas subtarefas, mas com o apoio da tecnologia de RA instalada numa estação de trabalho móvel, para que possa ser movida conforme as necessidades dos trabalhadores [80].

O *software* utilizado foi o Diota V2.3.0, pois segundo os autores, devido às condições de oficina e ambiente aeronáutico, a escolha recaía num *software* que não utiliza marcadores. Neste caso o Diota utiliza um reconhecimento baseado em modelo 3D (que nesta situação foi executado pelo *software* Catia Componser R2017X que também se encontra ligado ao Diota) que é capaz de rastrear as peças com precisão e sobrepor as informações 2D e/ou 3D em cartões de trabalho [80].

As instruções em RA foram fornecidas a partir de uma aplicação industrial de RA. A parte principal de cada subtarefa é rastreada para 3D e um cartão de trabalho em RA sobrepõe

modelos de outras peças constituintes da peça principal, seus números de referências e instruções textuais padronizadas [80].

A escolha do *hardware* incidiu sobre um computador de ecrã tátil de 27 polegadas com uma câmara HD móvel industrial instalado numa estação de trabalho móvel, como foi referido anteriormente. O sistema operativo deste *hardware* é o Windows 10 pois é compatível com o *software* Diota [80].

De referenciar que os autores optaram pela utilização de um computador em vez de um *tablet*, projetor ou dos HoloLens. Segundo os mesmos a utilização do *tablet* foi rejeitada pois requeria a utilização do dispositivo com ambas as mãos, que iria dificultar a interação com as peças a montar. Também a utilização de um projetor foi rejeitada pois os investigadores consideraram que a sua forma de visualização de informação não era relevante para o caso de utilização e para o seu volume. Por fim a utilização dos HoloLens também foi rejeitada pois estes apresentam um campo de visão pequeno, baixa autonomia e requer mais tempo de prática para as suas interações [80].

Para a comparação dos dois métodos de realização da tarefa retira-se o tempo utilizado em cada tarefa por cada participante que de seguida respondem a dois questionários, um para que se possa avaliar a qualidade da experiência, isto é, a exigência mental necessária para realizar a tarefa com e sem a utilização de RA (NASA-TLX) e outro para avaliar o grau de facilidade do uso de RA, ou usabilidade, como suporte à tarefa (SUS), criando uma análise quantitativa e outra qualitativa [80].

Para que os participantes tivessem uma noção do funcionamento do aparelho de RA foi demonstrada uma outra aplicação da sua utilização que não estava relacionada com a tarefa de montagem a realizar e cada participante passa por uma breve perceção geral dos controlos. Os observadores antes da experiência preparam as peças e ferramentas necessárias para a tarefa e colocam a estação de trabalho equipada com o sistema de RA no local de ação e devidamente calibrada para o reconhecimento das peças [80].

A experiência só começa quando o participante, o observador e o equipamento estiverem prontos. E o tempo começa a ser contabilizado mal o participante começa a procurar informação para a realização das subtarefas. O observador irá anotar o tempo de compreensão de cada subtarefa, que corresponde ao tempo utilizado pelo participante para pesquisar e perceber as instruções indicadas pelo sistema de RA, e o tempo de

realização de cada subtarefa, que corresponde ao tempo utilizado pelo participante para a execução da tarefa no equipamento [80].

Em relação aos resultados obtidos, os observadores dividiram em dois tipos: quantitativos, para a avaliação do impacto da RA no desempenho do utilizador para a realização da tarefa, e qualitativos, para avaliação da carga cognitiva introduzida nos utilizadores pela utilização de cada suporte de instrução.

Na tabela 2, demonstrada em baixo, é possível verificar os resultados quantitativos obtidos para cada perfil e para todos os perfis.

Tabela 2 – Resultados quantitativos de tempo para cada perfil, todos os perfis, cada tarefa e total do caso de estudo de SLS, fonte 80

Perfis	Nº de participantes	Tempo de compreensão	Tempo de execução	Tempo Total
Todos	9	- 30%	16%	- 9%
Principiantes	2	- 25%	11%	- 7%
Intermédios	5	- 39%	27%	- 11%
Peritos	2	- 15%	38%	- 2%

Num modo geral, para todos os perfis os participantes gastaram menos 30% de tempo na fase de compreensão de cada subtarefa, aquando comparado com a realização sem RA, e gastaram mais 16% de tempo na fase de realização de cada subtarefa o que leva a um total de 9% de tempo poupado.

Em termos individuais todos os três perfis reduziram bastante no tempo de compreensão, sendo o perfil dos peritos os que pouparam menos (15%) e os intermédios pouparam mais tempo (39%). No tempo de execução os que aumentaram menos tempo foram os principiantes (11%) enquanto os peritos foram os que aumentaram mais o tempo de execução (38%). No total os que pouparam mais tempo por cada subtarefa foram os intermédios (11%) seguidos dos principiantes (7%) e por fim os peritos (2%).

Em relação à análise aos valores quantitativos obtidos, os autores admitiram que de facto seria esperado que a utilização de RA não beneficiasse tanto os utilizadores com mais conhecimento o que por um lado não se comprovou, pois os utilizadores intermédios

foram os que pouparam mais tempo, apesar de os peritos terem sido os que pouparam menos tempo. Isto pode ser explicado pelo facto de os utilizadores principiantes não estarem familiarizados com o processo e não terem tanta intuição quando procuram a maneira de realizar as subtarefas, o que não acontece com os utilizadores com mais experiência.

Os 30% de tempo ganho na compreensão das subtarefas para todos os perfis mostra que a aplicação de tecnologias de RA é uma mais-valia, isto é, facilita a compreensão de instruções de tarefas, numa área em que as mesmas são consideradas complexas. Porém o valor perdido no tempo de execução de 16% não favoreceu a aplicação destas tecnologias, no entanto este também pode ser justificado pelo facto de os participantes estarem a usar um novo dispositivo e terem que se adaptar a uma ferramenta nova perante o método convencional de realização das tarefas, o que justifica o facto de o valor obtido para a execução por parte dos peritos ser o maior comparativamente aos outros dois perfis.

Quanto à análise qualitativa, os valores obtidos utilizando o inquérito NASA-TLX mostraram que o valor da carga cognitiva baixou para todos os perfis, quando aplicada uma tecnologia de RA para auxílio da tarefa e comparada com o método convencional, que em termos percentuais para os principiantes baixou para cerca de 34.2% enquanto para os intermédios e peritos baixou para 26.8%. Ou seja, ao lidar com as instruções em RA há uma menor carga cognitiva (as instruções são mais fáceis de perceber e interpretar), o que leva a que os utilizadores se concentrem na realização das tarefas, levando a uma maior eficiência das mesmas.

Em relação à usabilidade da tecnologia de RA, avaliado no inquérito SUS, houve um aumento também para ambos os perfis, em que o aumento maior foi de facto para os principiantes, um aumento cerca de 40%, e um aumento não tão significativo para o perfil dos intermédios e dos peritos a rondar os 5%. Isto quer dizer que a usabilidade da tecnologia de RA é melhor que o suporte atual existente. Neste caso para os perfis dos intermédios e dos peritos a subida não foi muito significativa, quase nula, pois eles já têm o conhecimento e a prática regular sobre o suporte atual de instruções, enquanto no caso dos principiantes esse conhecimento é baixou ou nulo.

Com isto é possível dizer que os participantes preferiram trabalhar com o apoio da tecnologia de RA em vez do manual de instruções. Os gráficos com os resultados qualitativos dos inquéritos encontram-se na figura 10.

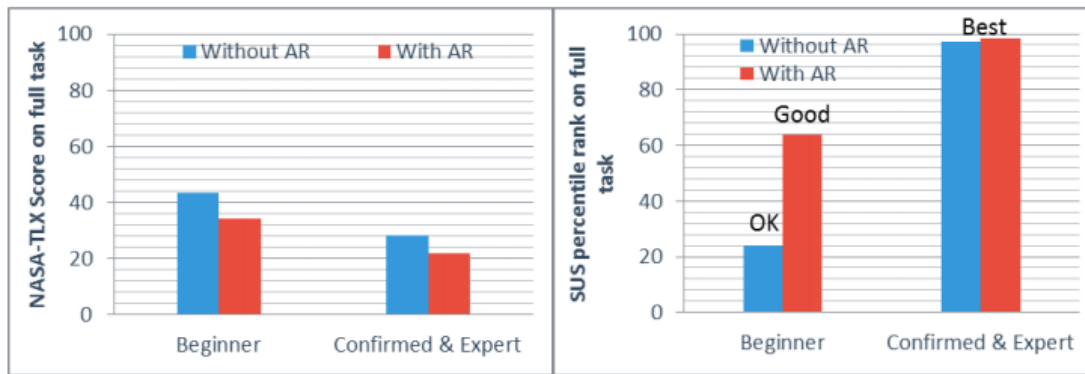


Figura 10 - Gráficos de análise à carga cognitiva (NASA-TLX) e à usabilidade (SUS) para os três perfis, fonte 80

Por fim, graças a esta experiência a *Safran* planeia implementar e alargar a RA para outros departamentos de MRO e aplicá-la em outros serviços, como por exemplo, em controlo de qualidade [77].

4.2.8.2 Caso de estudo de um procedimento de desmontagem num Cessna 337

Ceruti et al, [48] realizaram um caso de estudo, nas instalações da Universidade de Bolonha, para avaliar os efeitos da introdução de RA na manutenção de aeronaves. Este estudo consistiu na procura de um procedimento de desmontagem num avião Cessna 337.

O *hardware* utilizado nesta experiência foi um par de óculos HoloLens em que a tecnologia de RA é utilizada para sobrepor no ambiente real vários tipos de informações como modelos do *Computer Aided Design* (CAD), símbolos, texto e botões que podem ser seleccionados pelo utilizador. Por exemplo, modelos CAD de componentes específicos podem ser sobrepostos no vídeo em tempo real de modo a auxiliar a deteção de peças [48].

Neste sistema de RA, do HoloLens, foram implementados menus interativos que mostram o índice das secções do manual de manutenção e as consequentes fases da tarefa a ser realizada neste caso específico. Para este caso de estudo implementaram um menu interativo que mostra os índices do manual de manutenção de 1 a 18 (de “1 – Geral” a “18 – Diagramas de cabos”), para além disto também criaram e colocaram neste sistema de RA todas as fases da tarefa 5-41, que foi a tarefa em estudo. A tarefa 5-41 corresponde: Remoção das portas das rodas de engrenagem principal e atuadores [48].

A interação entre o utilizador e os menus interativos do HoloLens é realizada a partir de um cursor movível na tela virtual que é acionado quando o utilizador pressiona um

controlador, neste caso um HoloLens Clicker, ou quando a câmara deteta um movimento do tipo “pinça” com os dedos, sendo também necessário que o utilizador aponte os HoloLens para a zona da tarefa [48].

A figura 11 mostra a implementação do manual de manutenção do Cessna 337, à esquerda a secção 1 a 3 e à direita da 4 a 6. Pressionando os triângulos dos cantos inferiores esquerdo e direito do menu é possível ao utilizador retroceder ou avançar no menu, respetivamente. Também ao pressionar em cada uma das secções apresentadas no menu aparece um segundo menu com uma lista das tarefas dessa secção (por exemplo na tarefa avaliada neste caso este menu iria de 5-41-a a 5-41-i), que também por sua vez ao seleccionar os triângulos indicados anteriormente é possível avançar ou retroceder na respetiva lista de tarefas. O botão M de “Menu” (entre os triângulos) abre diretamente a lista de secções 1-3 e também pode ser utilizado para confirmar outras tarefas a serem realizadas pertencentes a secções diferentes [48].



Figura 11 - Implementação do Manual de Manutenção do Cessna 337 da secção 1 a 3 e da 4 a 6, fonte 48

Caso na tarefa seja requerida a operação numa peça específica os HoloLens sobrepõem no vídeo em tempo real modelos CAD, setas ou avisos virtuais para auxiliar o utilizador na deteção dos componentes ou para sugerir formas corretas de execução. Exemplo desse caso pode-se verificar na figura 12 que apresenta uma cena aumentada da tarefa 5-41-h a ser exibida, em que um modelo CAD do suporte da dobradiça da parte traseira do avião foi sobreposto ao vídeo e devidamente enquadrado na aeronave para que o utilizador detete mais rapidamente a parte a ser trabalhada [48].



Figura 12 - Menu e cena aumentada da tarefa 5-41-h, fonte 48

Para este caso de estudo selecionou-se 10 especialistas em manutenção aeronáutica e foi solicitado para que inicialmente encontrassem o procedimento 5-41 no manual de manutenção do Cessna 337 em papel e que de seguida fizessem o mesmo, mas utilizando os óculos HoloLens com os menus virtuais pertencentes ao manual de manutenção e o controlador HoloLens Clicker, após uma breve explicação do seu funcionamento. De referir que o manual de manutenção do Cessna 337 em papel contém tanto folhas A4 como também A3 e mais de 800 páginas [48].

Após a realização pelos dois métodos e anotação dos tempos obteve-se um tempo médio para encontrar a tarefa 5-41 no manual de manutenção em papel de 26.5 segundos e um tempo médio utilizando o equipamento HoloLens de 19.4 segundos. Isto quer dizer que utilizando os óculos HoloLens houve uma redução do tempo de procura cerca de 27% [48].

Para apoiar esta redução do tempo da procura de tarefas, os autores também referiram que a utilização desta tecnologia reduz significativamente a carga de trabalho dos operadores de manutenção quando comparada com o manual em papel e melhora o rigor das operações necessárias para a realização da tarefa [48].

Para finalizar os autores comentaram o facto desta tecnologia ser uma mais-valia e aumentar ainda mais os ganhos quando aplicada em grandes aeronaves, onde existem operações de elevada complexidade e um grande número de componentes que devem ser geridos em determinada ordem tanto em procedimentos de montagem como de desmontagem [48].

4.2.8.3 Caso de estudo de medição do óleo num Cessna C.172P

Crescenzo et al, [84] realizaram um caso de estudo numa das inspeções diárias da aeronave Cessna C.172P, um avião utilizado com frequência pelas escolas de voo, que consistia na subtarefa de verificação do nível do óleo.

Para além do tempo de realização desta subtarefa também foram estudados os erros humanos que podem acontecer durante a mesma, como tal, os peritos em manutenção realizaram uma interessante tabela especificamente para este caso de estudo dos tipos de riscos que poderiam acontecer e consequente informação que a RA pode utilizar em cada passo pela respetiva ordem de ação, de modo a guiar os técnicos na medição do nível do óleo do Cessna C.172P, como se pode verificar na tabela 3 [84].

Tabela 3 – Passos, riscos e informação em RA da inspeção diária de medição do óleo do Cessna C.172P, fonte 84

Passo	Riscos	Informação em RA
Abrir a porta de acesso.		Uma animação de abrir a porta.
Ler as instruções do óleo a utilizar.	Saltar esta etapa e utilizar uma especificação do óleo errada.	Enquadrar o aviso das informações que descreve as especificações do fabricante.
Desparafusar a tampa do óleo, sentido anti-horário.	Forçar a tampa no sentido horário.	Uma seta circular mostrando claramente o sentido correto da rotação.
Extrair a vareta.	Tocar em óleo quente.	Uma animação da vareta 3D girando e movendo-se para cima, inicialmente sobreposto na vareta real. Uma mensagem de aviso.
Verificar o nível do óleo.	Erros na transformação da unidade. Erros na verificação de nível.	Apresentar níveis de óleo corretos e incorretos na vareta 3D para atrair a atenção do utilizador.
Aparafusar a tampa do óleo.		Uma animação da vareta girando e movendo-se para baixo.
Fechar a porta.		Uma animação de fechar a porta.

No que toca ao *hardware* os investigadores utilizaram um computador portátil e um HMD constituído por um fone de ouvido ajustável equipado com um monitor Liteye LE750 e uma webcam Logitech. A escolha destes componentes foi pelo facto de minimizarem o peso do protótipo, serem estáveis e económicos. Os investigadores também tiveram em atenção o facto de este suportar operações em grandes áreas, como o caso de hangares, pelo facto de que não deve prejudicar o operador e deve ser confortável para usar continuamente durante pelo menos meia hora [86]. Pode-se verificar o protótipo construindo na figura 13.



Figura 13 - Protótipo de HMD utilizado com os respetivos componentes, fonte 84

Em relação ao rastreo, os investigadores optaram por um rastreo sem marcadores, pois consideram uma mais-valia para ambientes aeronáuticos que o rastreo com marcadores. Para o desenvolvimento do rastreo sem marcadores do sistema de RA foi criada uma imagem de referência onde se seleccionou um ponto de origem, ou seja, uma zona de referência. Essa zona de referência deve ser num local de fácil medição no ambiente real, estar sobre uma superfície plana e ter uma forma simples (retangular, circular ou triangular). Após a identificação da referência é retirada uma fotografia que de seguida é editada para que o criador de conteúdo virtual consiga criar no local e tamanho certo as informações virtuais necessárias, para de seguida serem replicadas no aparelho de RA [84].

A escolha por um rastreo sem marcadores levou à seleção de uma entre duas opções consideradas. Entre as duas opções avaliadas escolheram o algoritmo *Speeded up robust features* (SURF) em vez do *Scale-invariant feature transform* (SIFT) pois acharam que trazia o melhor *trade-off* entre qualidade e eficiência computacional [84].

Foi utilizado o *software* Rhinoceros 3D, um *software* de modelagem, para modelar uma vareta digital. Também foi reconstruída a porta do avião, assim como a sua fuselagem, usando o scanner a laser Minolta Vivid 9i que de seguida, ambos estes ficheiros, foram exportados e armazenados na base de dados do sistema de RA [84].

A figura 14 mostra um exemplo de aplicação da vista do utilizador em que a parte virtual é sobreposta no fluxo de vídeo. Como a subtarefa de medição do nível do óleo é realizada em vários passos, neste caso em 8, a figura 14 mostra 4 passos, do quarto ao sétimo.

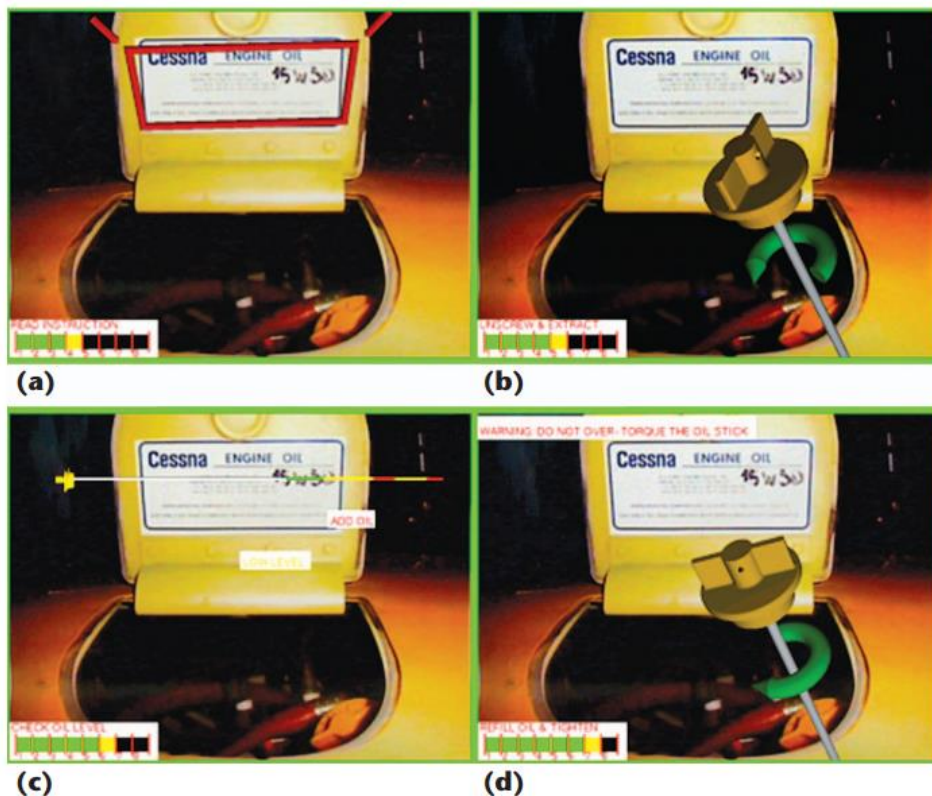


Figura 14 - Exemplo de janelas de exibição dos passos 4 a 7 da medição do óleo. (a) um retângulo vermelho avisa o operador para ler as instruções com atenção; (b) a vareta roda no sentido anti-horário e levantada para cima; (c) a vareta mostra os diferentes níveis de óleo utilizando informação a cores; (d) a vareta roda no sentido horário e para baixo de modo a ser arrumada; fonte 84

Com esta sobreposição do virtual sobre o real os investigadores fizeram com que o utilizador do dispositivo saiba sempre o número total de passos na subtarefa atual, o passo em que o utilizador se encontra, os passos já realizados e os por realizar para finalizar a tarefa. Tal se pode verificar na barra do canto inferior esquerdo do visor da figura 14, onde existe uma linha temporal que mostra o número total dos passos a realizar em que as barras a verde indicam os passos completados, a amarelo indica o passo atual e a preto os passos que faltam realizar. Por cima dessa barra também está indicado o nome do passo a ser realizado pelo utilizador [84].

Por fim os utilizadores podem realizar a transição de um passo para outro de três maneiras, pressionar a tecla “Enter” do computador, utilizando um dispositivo próprio com um botão ou até mesmo com o reconhecimento de voz. Desta forma os investigadores acreditam que haja uma interação mais fácil e intuitiva por parte do utilizador [84].

Após realizado o teste de eficiência do protótipo, isto é, testar a sua capacidade de fornecer rastreio sem marcadores e a capacidade de sobreposição de animação 3D em vários aparelhos semelhantes e também em diferentes condições de iluminação, foram realizadas as medições do óleo em 3 aviões Cessna 172. Para a realização dos três ensaios pediram a 10 indivíduos que participassem nesta experiência e recolheram os seus tempos de realização da tarefa e a carga de trabalho utilizando um formulário NASA-TLX [84].

O tempo para realizar a medição do óleo utilizando o protótipo de RA, assim como o tempo para receberem as instruções e explicitação do uso do equipamento foi sempre inferior a 30 minutos, sendo o tempo médio correspondente unicamente à completção da tarefa sem RA cerca de 20 minutos [84].

Também obtiveram uma taxa de erro relativamente baixa apesar de indicarem que ocorreram alguns problemas. Porém o tempo máximo de resolução desses mesmos problemas foi cerca de 8 minutos, sendo também mencionado que esses problemas poderiam ser evitados no futuro com o aumento da sua utilização e com o aumento de mais treino com o protótipo, visto que nenhum dos participantes tinha experiência anterior [84].

Em relação à carga de trabalho, avaliada pelo formulário NASA-TLX que se pode verificar na figura 15, num máximo de 10 pontos a classificação média da carga de trabalho tanto temporal, como mental e física não ultrapassou os 4 pontos. A performance teve uma média de 6 pontos e o desempenho também teve uma nota alta, cerca de 8 pontos.

Também segundo os próprios participantes estes mostraram satisfação com o uso desta tecnologia dizendo que não tiveram problemas com a sobreposição de imagens e que permitiu-lhes realizar todas as tarefas. Da mesma forma os participantes mostraram-se satisfeitos pelo facto de que apenas tinham que repetir a animação para a realização da tarefa e o facto de existirem lembretes passo a passo, pois diminuiu o seu esforço mental para a realização desta tarefa.

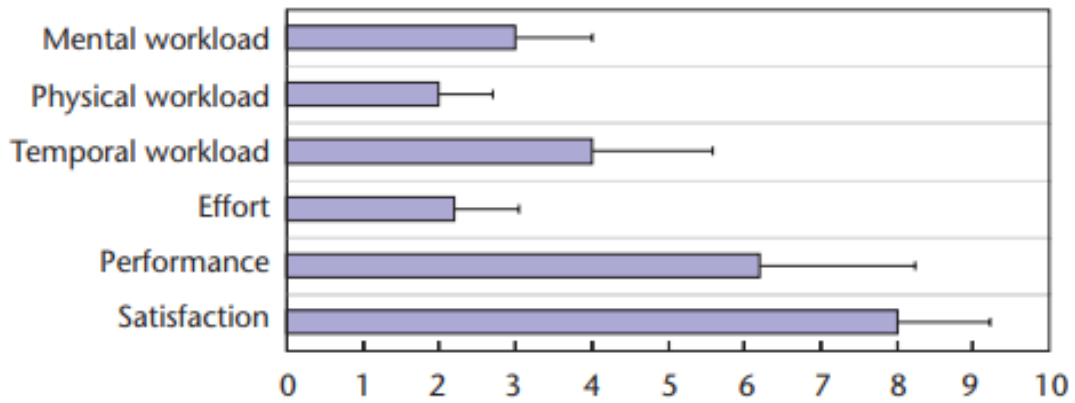


Figura 15 - Média dos resultados do formulário NASA-TLX pelos 10 participantes, fonte 84.

4.2.8.4 Caso de estudo MOON

Este caso estudo foi uma experiência da Airbus Militar para um projeto denominado de *assembly Oriented augmented reality* (MOON). Este caso correspondeu à realização de instruções de trabalho, mais precisamente para a montagem de cabos elétricos no quadro 36 da aeronave militar A400M. A montagem deste quadro é constituída pelas montagens de vários acessórios como parafusos e respetivos suportes por onde, de seguida, é reencaminhado um fio elétrico. Segundo os investigadores a complexidade desta tarefa consistia em saber a localização exata de cada elemento [85].

Este caso de estudo realizado pela Airbus consistiu na combinação de dois tipos de tecnologias, criando um sistema de RA. Essas duas tecnologias foram precisamente a tecnologia de RA, utilizada como forma de consulta de informação para a tarefa, e a utilização de um *industrial Digital Mock-up* (iDMU), onde se encontra a informação para a realização da tarefa.

iDMU contém todos os modelos digitais de um produto ou componente e seus recursos de fabrico, assim como a definição das operações de montagem e as informações pertinentes para a sua realização. Assim é possível criar e manter um projeto virtual industrial e ser utilizado para simular um processo de industrialização, como por exemplo um projeto de montagem ou de manutenção [86]. Basicamente iDMU é uma alternativa virtual ao método convencional de apresentação de tarefas de manutenção em papel. Desta maneira, segundo a Airbus, [87] é mais fácil a criação e atualização de documentação para a realização de tarefas.

O sistema de RA desenvolvido consiste num *tablet* equipado com uma webcam para que se possa capturar as imagens da área de trabalho em tempo real e os marcadores artificiais utilizados para a deteção da posição e orientação da operação a realizar. De seguida os elementos virtuais extraídos diretamente do iDMU, compreendidos em modelos CAD e com as instruções de trabalho, são sobrepostos na imagem em tempo real. Desta maneira o técnico consegue identificar a localização dos elementos a trabalhar e ainda consegue ter acesso à informação para a realização da tarefa [86]. Um exemplo de aplicação pode-se verificar na figura 16.



Figura 16 - Teste do projeto MOON, fonte 85.

Os elementos CAD e respetivas instruções encontram-se integrados no iDMU e são selecionados para o sistema de RA a partir do CATIA V5, um *software* de CAD. Neste programa também se seleciona a configuração da aeronave correspondente para a qual a instrução de trabalho será criada e a operação de montagem realizada. De seguida é criado um filtro espacial da secção de trabalho do avião para utilizar apenas os modelos CAD correspondentes a essa secção. Neste caso específico, a secção corresponde ao quadro elétrico 36 da aeronave A400M e as respetivas instruções para a montagem dos seus cabos [85].

Após a seleção da informação geométrica do iDMU, esta é convertida para o formato 3DXLM, que é um formato de ficheiros 3D relativamente leve e universal baseado no

XML e desenvolvido pela Dassault Systemes, uma empresa especializada na criação de *softwares* de desenho em 3D [85].

Já em termos de *softwares* este sistema de RA é composto por 3 subsistemas: o Subsistema de Processamento 3D, que é responsável pelo processamento, leitura e adaptação da informação 3DXML para alimentar o sistema de RA. O Subsistema de Posicionamento, que é responsável pelo cálculo da posição e orientação da operação de montagem a ser realizada (rastreamento), que neste caso, como já foi referido anteriormente, é com o uso de marcadores artificiais localizados na secção da aeronave onde irá ocorrer a tarefa. E pelo Subsistema de Integração de Informação, que é um código que utiliza bibliotecas de RA para sobrepor informações virtuais na imagem em tempo real [85].

Foram avaliados os tempos de três fases: tempo de criação das instruções da tarefa, tempo de consulta das instruções e o tempo de manutenção. Estes tempos, utilizando o projeto MOON, foram depois comparados com os tempos das tarefas quando realizadas com o método convencional, que consistia num manual de instruções em formato eletrónico. Os tempos dos respetivos modos podem ser consultados na tabela 4.

Tabela 4 - Resultados de tempo gasto para cada tarefa por métodos, fonte 85

Métodos	Tempo de criação (h)	Tempo de consulta (h)	Tempo de manutenção (h)
Método convencional	30	2	10
Método MOON	3	1	1

Analisando os resultados obtidos pode verificar-se que houve uma redução de todos os tempos nas três fases utilizando o projeto MOON em vez do método convencional.

Em relação ao tempo de criação obteve-se uma redução de 27 horas o que em termos percentuais corresponde a uma redução de 90% o que pode ser justificado, segundo os autores, pelo facto de a metodologia MOON utilizar informação diretamente da iDMU. Com isto consideraram um tempo de criação mínimo e também uma intervenção humana relativamente baixa para a geração de informação no sistema MOON, enquanto o modelo convencional é em formato eletrónico de um manual de instruções e deve ser preparado com muita antecedência, pois as informações retiradas têm que ser extraídas de diferentes sistemas e formatos, como por exemplo desenhos e modelos 3D, entre outros [85].

O tempo de consulta também reduziu, passando de 2 horas, utilizando o método convencional, para 1 hora, utilizando o método MOON, o que leva a uma redução de 50% do tempo. Segundo os autores o sistema conseguiu guiar o utilizador e reconhecer os marcadores artificiais apesar da elevada luminosidade existente na oficina. Como tal propuseram uma adaptação para a eventual utilização de rastreio utilizando técnicas NFT em elementos da aeronave, em vez do uso de marcadores. Também foi possível identificar uma redução dos erros de interpretação das informações ao utilizar o sistema MOON em vez do método convencional, devido ao facto da interpretação dos desenhos ser mais simples [85]. Por sua vez, também o tempo de manutenção teve uma redução de 90%, passando de 10 horas para 1 hora.

4.2.8.5 Caso de estudo MiRA

Mixed Reality Application (MiRA) é uma ferramenta criada com a colaboração da Testia [87] que visa aumentar a produtividade das suas linhas de montagem utilizando a tecnologia de RA para digitalizar peças e detetar erros [88]. A Testia é uma subsidiária da Airbus especializada em inspeção e controlo da qualidade [89].

Esta tecnologia passa pela sobreposição de modelos CAD num ambiente real. O uso deste sistema pode tanto ser a partir de um *tablet*, como o caso de estudo que será explicado a seguir, como a partir de Microsoft HoloLens, dependendo do caso de estudo. Os seus principais campos de aplicação passam pela inspeção visual de componentes na fuselagem interior, onde deteta as não conformidades de forma rápida. Para além disso este dispositivo também permite a implementação de instruções de trabalho [87].

No caso de estudo de aplicação da tecnologia MiRA, o sistema de RA é constituído por um *tablet*, um pacote de sensores e um *software* especificamente desenvolvido denominado *Realistic Human Ergonomics Analysis* (RHEA) [88].

Os sensores instalados na fuselagem interior da aeronave rastreiam a posição do utilizador e relacionam com a ferramenta RHEA, que é um modelo digital 3D em grande escala da aeronave. Isto permite aos utilizadores ir buscar uma imagem de uma instalação de um componente na área onde estão a trabalhar de modo a garantir a sua correta colocação, que por sua vez é atualizado após a respetiva confirmação de instalação do componente. Também utilizam dispositivos de geolocalização ligados à aeronave que interagem com

os sensores permitindo que os utilizadores consigam visualizar a sua localização de trabalho a partir de qualquer ângulo [88].

Este sistema foi aplicado num A380 da Airbus e no final da experiência a organização conseguiu reduzir o tempo de verificação de dezenas de milhares de suportes de fuselagem interior de 300 horas para 60 horas, o que dá um valor de 80% de tempo poupado. Segundo os autores e investigadores, para além da surpreendente redução deste tempo de inspeção também foi possível, com este mesmo sistema, reduzir cerca de 40% das descobertas tardias de suportes mal posicionados ou danificados, ao sobrepor as imagens dos componentes nos seus locais adequados [88]. Um exemplo de aplicação pode ser verificado na figura 17.



Figura 17 - Exemplo de aplicação do sistema MiRA na inspeção de um componente da fuselagem interior, com o seus respetivos dados e informação, fonte 88.

Como se pôde verificar neste caso de estudo, o sistema de RA MiRA não só apoia na redução dos tempos de inspeção visual da fuselagem da aeronave, como também melhora a qualidade do trabalho realizado e reduz os erros de inspeções, sendo um perfeito exemplo de melhoria da eficiência e de eficácia, respetivamente, do trabalho realizado pelo técnico.

4.2.8.6 Outros casos de estudo e testemunhos

Para finalizar o contributo atual das tecnologias de RA na manutenção aeronáutica, nesta secção serão apresentadas algumas notícias e experiências de outros casos documentados.

Numa notícia em setembro de 2017 a Airbus fundamentou que com a ajuda de óculos de RA, mais propriamente dos óculos da Microsoft HoloLens, foi possível tornar o trabalho de montagem de cabos elétricos de uma aeronave, em que os cabos eram representados

virtualmente sobrepostos sobre o suporte real da aeronave, mais fácil, rápido e confortável para os operadores, permitindo uma instalação 25% mais rápida [90].

A mesma empresa, Airbus, noutra notícia a 29 de maio de 2019 comunicou que a Força Aérea Espanhola começou a desenvolver inspeções nas suas aeronaves utilizando drones e RA. Esta tecnologia conta com drones equipados com sensores e câmaras de alta-definição utilizadas para digitalizar o exterior da aeronave que está a ser inspecionada. De seguida, os dados criados são exibidos em *tablets* ou mesmo em óculos de RA, de modo a identificar e aplicar os procedimentos de manutenção e ações corretivas [91].

Segundo a Airbus, um avião como o A400M em que uma inspeção visual demoraria vários dias a realizar, essa mesma inspeção passaria a demorar apenas 2 horas. Para além de reduzir o tempo de inspeção, aumenta a disponibilidade das aeronaves e reduz os danos causados na aeronave pelos métodos tradicionais de inspeção visual em aviões, que poderia passar pelo uso de andaimes e implantação de equipamentos móveis em torno da aeronave. Com isto, a Força Aérea Espanhola é a primeira a beneficiar desta tecnologia da Airbus e já pensam em utilizar noutros aviões seus [91].

Já na Boeing, Paul Davies da Boeing Research & Technology Associate Technical Fellow, juntamente com a Boeing IT estão a trabalhar e a desenvolver um sistema de RA num dos seus aviões, que segundo Paul Davies: "Os nossos estudos teóricos mostraram uma melhoria de 90% na qualidade da primeira vez quando comparados com o uso de informação bidimensional no avião, juntamente com uma redução de 30% no tempo gasto a fazer um trabalho." [92].

Carlos Bianchi, chefe de vendas e marketing da Seabury Solutions, empresa focada no desenvolvimento de *softwares* e consultaria para a aviação, quando questionado pela revista Aircraft IT MRO sobre qual a próxima grande coisa de TI na manutenção aeronáutica, este respondeu que acredita fortemente que a RA, e também a RV, irão expandir-se ainda mais no sector da aeronáutica, principalmente nas áreas do treino e educação dos processos de manutenção, permitindo a prática em cenários cada vez mais realistas [93].

4.2.9 Análise dos ganhos dos casos apresentados

Tendo em conta os resultados e comparações obtidas nestes casos de estudo, é possível afirmar que quanto mais complexa e demorada for a tarefa a realizar, maior será a diferença entre resultados quando se utiliza tecnologia de RA para realizar a tarefa em comparação com os métodos convencionais. Com tarefa complexa entende-se as tarefas de manutenção que requerem muitas subtarefas por exemplo de montagem e desmontagem seguidas de verificações, tarefas que requerem a inspeção minuciosa de muitos componentes (como uma fuselagem de uma aeronave por exemplo) e tarefas que requerem uma elevada capacidade de carga cognitiva.

Por exemplo, inspeções visuais de fuselagens interiores de aviões e montagem de cabos em quadros de aviões, que são consideradas tarefas complexas e demoradas, ao utilizar-se as tecnologias de RA criadas especificamente para a realização das tarefas houve ganhos de tempo de 80% e 90%, respetivamente (no caso de estudo da montagem de cabos os 90% de poupança foram na fase de realização da tarefa e criação das tarefas no sistema de RA).

Assim como em tarefas mais simples e rápidas comparativamente às anteriores, como a verificação do óleo de um Cessna (avião mais pequeno), a procura de um procedimento e uma tarefa de montagem de um sistema de travagem dividia em 8 subtarefas, verificou-se ao aplicar tecnologias de RA para a sua realização ganhos de tempo entre os 9% e os 27%.

Outro fator a ter em conta e que também pode afetar a percentagem dos ganhos é o tipo de dispositivos utilizados. Nos casos onde houve as maiores reduções de tempo também se reparou que os dispositivos utilizados foram *tablets* equipados com RA, que comparativamente com os HMD e os óculos de RA estão mais evoluídos em termos computacionais, permitem um melhor conforto para o utilizador e maior duração do equipamento durante o ato da tarefa, o que explica a sua utilização em tarefas mais complexas e conseqüentemente mais duradouras.

Há que reforçar o que foi dito em relação ao facto de que os HMD e os óculos de RA precisam de atingir uma tecnologia mais madura e robusta, assim como promover o bem-estar dos utilizadores, pois ainda apresentam problemas relativamente ao seu peso e campo de visão que podem causar desconforto muscular, náuseas e capacidade de visão reduzida. Os *tablets*, em relação aos computadores, apresentam uma mobilidade do

utilizador muito superior, o que também permite reduzir muito mais o tempo de realização da tarefa, apesar de em termos de evolução tecnológica serem idênticos.

Outro fator que foi bastante melhorado com o uso destas tecnologias foi a qualidade do trabalho, isto é, os erros durante e após a realização das tarefas. Por exemplo no caso de estudo de inspeção visual da fuselagem, que é uma tarefa bastante demorada e complexa, e em que se usou um *tablet* com tecnologia de RA, verificou-se uma redução cerca de 40% dos erros que o técnico pode criar, neste caso específico foi uma redução de 40% das descobertas tardias de suportes mal posicionados ou danificados, quando comparada com o método convencional, ao sobrepor as imagens dos componentes nos seus locais adequados.

Esta redução de erros é muito importante, pois caso não sejam detetados na altura da realização da tarefa e apenas sejam detetados durante uma inspeção final da mesma pode-se perder qualquer tempo ganho na realização da tarefa como ainda fazê-la demorar mais tempo que a normalidade. Ou seja, com a ajuda que as tecnologias de RA podem apresentar na deteção dos erros possíveis durante a realização das tarefas, está-se a realizar não só um aumento da qualidade e da eficiência das tarefas, como também ajuda na descoberta tardia de erros efetuados durante essas tarefas que podem ser detetados numa fase final, o que levará a um gasto de tempo superior para finalização da tarefa. Caso esses erros não sejam detetados durante a realização da tarefa, esta pode apresentar defeitos, ou seja, foi mal executada.

Capítulo 5 – Casos de estudo TAP

Nesta secção serão realizados dois casos de estudo em casos de tarefas de manutenção que foram executadas num ambiente real que depois serão analisados num outro caso de estudo em conjunto de modo a se obter um valor final mais completo. Esses casos de estudo serão realizados a partir de documentação relativa a trabalhos de manutenção e inspeção concedida com a ajuda do colaborador da TAP o Sr. Paulo Guerreiro da área de Manutenção de aviões – Planeamento e Controlo.

O objetivo destas análises será, de uma forma teórica, poder saber um valor de poupança tanto percentual como em horas ou carga de trabalho possível com a utilização de uma tecnologia de RA com determinadas características e funções em trabalhos de manutenção e inspeção de aeronaves, tendo como base documentação técnica e valores próximos da realidade, facultados pelo especialista na área Sr. Paulo Guerreiro.

5.1 Descrição

Numa primeira fase, numa reunião solicitada com o Sr. Paulo Guerreiro, foi realizada uma análise para a verificação de alguma correlação entre os trabalhos realizados pelo colaborador da TAP na área de Manutenção de aviões – Planeamento e Controlo, e os casos de estudo apresentados anteriormente neste trabalho, onde se chegou à conclusão que o mais semelhante e acessível ao que é feito diariamente na sua secção é a tarefa no caso de estudo do sistema MiRA, em que a tecnologia de RA é utilizada para a inspeção visual de interiores de fuselagens, naquele caso num A380, de modo a verificar a correta colocação dos seus suportes e componentes.

Como tal, o Sr. Paulo Guerreiro disponibilizou uma EO de uma inspeção de fuselagem, mais propriamente, da inspeção dos furos dos encaixes de stop da porta posterior de passageiros de um A320 entre o FR66 e FR68. A EO e as respetivas ilustrações tanto das peças de encaixe como da porta posterior de passageiros podem ser visualizadas no anexo 1 a partir da página 101.

Segundo o Sr. Paulo Guerreiro, o caso de estudo MiRA poderia ser equiparado com qualquer caso de inspeção de estrutura da fuselagem de uma aeronave, porém como este é um projeto piloto e um conceito a ser testado, os intervenientes optaram pela análise inicial de uma EO.

Assim, e segundo o colaborador da TAP, um bom caso de estudo a trabalhar e a correlacionar com o caso MiRA seria o da estrutura e moldura de uma porta de passageiros, neste caso da porta posterior de passageiros, pelo fato destas molduras das portas de passageiros serem zonas das fuselagens de um avião muito solicitadas, devido ao simples facto de abrir e fechar a porta, o que a torna também numa inspeção realizada com alguma frequência para uma EO. Segundo o mesmo, outro fator de interesse nesta EO é o facto de haver a necessidade de retirar outros componentes, painéis e mantas de isolamentos da aeronave para se poder ter acesso às molduras, como por exemplo filas de bancos ou um lavatório, dependendo da versão da cabine de passageiro.

Os motivos que levaram à escolha do caso MiRA como o mais semelhante por parte do Sr. Paulo Guerreiro, para além de ser o mais próximo ao que realiza no seu trabalho, foi o facto de ser um caso de rápida deteção de não conformidades durante a inspeção visual da estrutura da aeronave e conseqüente correta montagem dos componentes, é um caso de inspeção visual detalhada. A inspeção visual detalhada é um tipo de inspeção realizada com bastante frequência, quer na fuselagem interior como igualmente nas exteriores, e que a maior parte das vezes envolve processos de desmontagem e conseqüente montagem, o que também requer que o técnico desmonte e monte componentes de forma apropriada e no local correto.

Com isto, o Sr. Paulo Guerreiro entendeu que a EO da inspeção dos furos dos encaixes de stop da porta posterior de passageiros entre o FR66 e FR68, que também corresponde a uma inspeção visual detalhada à estrutura da aeronave, para além de igualmente corresponder à correta desmontagem e montagem de componentes e a uma sequência de tarefas com o objetivo de ganhar acessos, seria um caso com bastante correlação ao caso de estudo MiRA, explicado na secção 4.2.8.5.

Uma nota a retirar desta inspeção visual é o facto desta EO, assim como muitas outras, ser uma inspeção antecipada de um limite recomendado, isto para evitar que haja reparações mais pesadas que possam levar a um maior tempo de inatividade da aeronave, maiores custos de manutenção e conseqüentemente a um valor de receitas menor que a aeronave poderia gerar.

Outra nota sobre esta e outras EO indicada pelo colaborador da TAP é o facto dos valores das tarefas, em *Manhours* (Horas-homem), ou seja, os valores dos tempos das tarefas por técnico inseridas nas EO, corresponderem a um valor médio planeado, que é atualizado

anualmente, pois estes tempos variam de técnico para técnico, da sequência de tarefas que cada um realiza, das técnicas utilizadas, entre outros fatores.

Para o segundo caso de estudo foi criado um referencial para o cálculo de poupanças de tempo nas tarefas de manutenção, inseridas nas Inspeções Tipo, entre uma primeira inspeção visual desta EO fornecida até uma segunda inspeção da mesma EO. Como verificado no anexo 1 na página 104, e igualmente mencionado pelo Sr. Paulo Guerreiro, a realização desta EO é efetuada numa Inspeção do Tipo C (C-Check) pelo que a criação do respetivo referencial será entre as duas C-Checks que contenham esta EO.

Isto leva a uma segunda análise, pois, como explicado anteriormente na secção 3.2.2.2.1, entre a realização de C-Checks são realizadas A-Checks, ou seja, para além de ter que se analisar as tarefas de manutenção existentes durante as C-Checks, também terá que se realizar a mesma análise, mas para as tarefas de manutenção das A-Checks. Em ambas as Inspeções Tipo serão realizados cálculos nas suas tarefas de manutenção para otimização do seu tempo de trabalho de modo a obter-se um referencial entre as C-Checks (em que foi realizada a EO do primeiro caso de estudo analisado) e o seu respetivo valor temporal otimizado para a sua realização.

Igualmente esta segunda análise terá como correlação a tecnologia do caso de estudo MiRA, sendo a sua tecnologia a base destes estudos a realizar.

Por fim o terceiro caso de estudo será basicamente uma conciliação entre o primeiro caso e o segundo caso, de modo a se conseguir obter um valor de poupança mais completo. A descrição deste terceiro caso será aprofundada e justificada mais à frente neste trabalho, após a realização dos dois primeiros casos de estudo.

5.2 Trabalho a realizar

Numa primeira fase tem que se definir um nível de correlação entre as tarefas realizadas na EO, para o primeiro caso, com o caso de estudo MiRA, e com as categorias de tarefas de manutenção das Inspeções Tipo, para o segundo caso, também com o caso de estudo MiRA. Essa correlação será efetuada com base numa lista de vantagens, realizada pelo autor, que a tecnologia de RA do caso MiRA pode fornecer ao técnico e ao processo de manutenção a realizar.

De modo a auxiliar, fundamentar e criar níveis de correlação apropriados entre os casos foi utilizada uma ferramenta denominado de Método da Ponderação na forma de inquéritos para determinada amostra, como será explicada a seguir.

5.2.1 Vantagens da tecnologia de RA do caso MiRA

Para a realização da lista de vantagens que a tecnologia do caso MiRA pode trazer, começou-se por fazer uma análise profunda das suas vantagens e funções, tendo também em conta outros fatores e benefícios da tecnologia de RA abordados ao longo deste trabalho.

Após essa análise foram selecionadas cinco vantagens. Algumas podem ser indicadas diretamente na consulta do respetivo caso de estudo, enquanto outras são obtidas com pequenas adaptações à tecnologia do sistema de RA MiRA. Essas adaptações na tecnologia MiRA permitem depois outras funcionalidades e opções de interatividade com o utilizador. Essas mesmas adaptações permitem que a utilização do dispositivo não só detete erros de montagem de suportes e componentes, como também pode ajudar os técnicos na montagem e/ou desmontagem de componentes, quer em instruções de trabalho quer na localização dos respetivos locais.

Por exemplo, ao consultar-se o caso de estudo MiRA na secção 4.2.8.5 é indicado que uma das funções da sua tecnologia de RA é a identificação de suportes e componentes mal posicionados ou montados, ou seja, a confirmação da correta colocação de suportes/componentes, assumindo-se logo como uma vantagem.

A partir de adaptações no sistema MiRA e tendo como base formas e tipos de aplicação das tecnologias de RA estudadas ao longo deste trabalho, é possível ajustar o sistema MiRA para que além da função indicada anteriormente possa também apresentar instruções de trabalho, neste caso de montagem e desmontagem de componentes, que podem ser em texto e com o auxílio de imagens. Para a identificação das peças e componentes a serem trabalhados, apresentando uma imagem CAD dos componentes e/ou uma lista. E por fim para a localização da montagem de componentes, com sinalização, e por fim a deteção de suportes ou componentes danificados.

Estas adaptações e aumento de funcionalidades podem ser realizadas no momento de desenvolvimento do sistema de RA, criando um sistema de RA mais completo e versátil,

podendo ser usado para os vários tipos de funções na realização das tarefas de manutenção, aumentando igualmente a interatividade entre o sistema e o utilizador.

Com isto, a respetiva lista de vantagens é a seguinte:

- Inspeção visual da colocação de suportes e componentes na fuselagem (confirmação da correta colocação e deteção de erros de montagem);
- Deteção de peças/componentes danificados;
- Apoio aos técnicos na desmontagem de elementos (localizando as peças e componentes pretendidos);
- Apoio aos técnicos na montagem de elementos e/ou componentes (localizando os locais pretendidos) e;
- Instruções de montagem e desmontagem.

5.2.2 Método da Ponderação

De modo a fazer uma análise ao nível de correlação entre as tarefas dos casos de estudo da TAP e a aplicação das vantagens da tecnologia de RA para a realização das tarefas no caso de estudo MiRA, sentiu-se a necessidade da aplicação de uma ferramenta chamada Método da Ponderação, de modo a legitimar e corroborar os valores de correlação a serem obtidos.

O Método da Ponderação será utilizado para que se possa criar um valor de correlação. Desta maneira pode-se saber em que fração de valores pode haver uma correlação entre tarefas, isto entre o existe correlação, ou seja 1, e não existe correlação, ou seja 0.

Nesta análise a questão a avaliar é “Há correlação?” em que “completamente” e “nenhuma” corresponde aos valores de 1 e 0 respetivamente e depois as variáveis linguísticas “muita”, “alguma”, “moderada”, “pouca” e “muito pouca” correspondem respetivamente aos valores intermédios de 0.9, 0.75, 0.5, 0.25 e 0.1.

Na figura 18 é possível verificar o Método de Ponderação realizado para este caso de estudo.

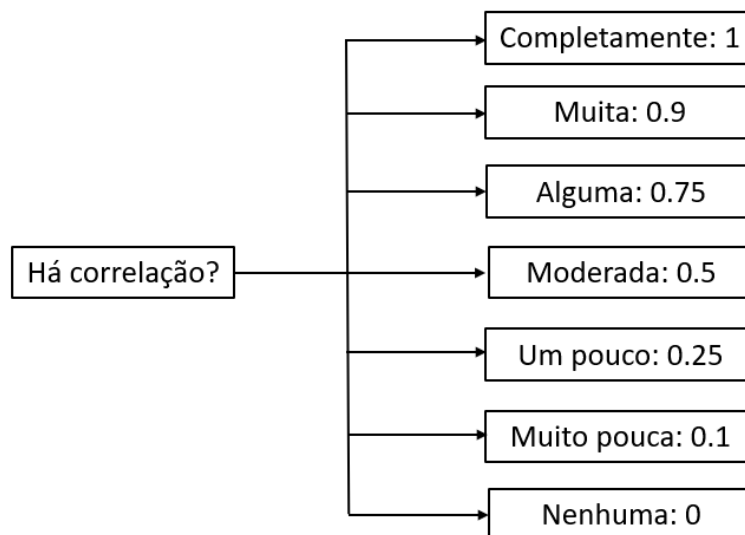


Figura 18 – Método de Ponderação aplicado aos casos de estudo da TAP, realizada pelo autor

De maneira a validar a correlação entre as tarefas dos casos a avaliar, uma vez mais foi pedida a ajuda do Sr. Paulo Guerreiro da área de Manutenção de aviões – Planeamento e Controlo da TAP para que pudesse responder ao inquérito do Método da Ponderação, assim como outros seus quatro colegas que também trabalham na mesma aérea.

Assim sendo, procedeu-se à realização de dois inquéritos, um para o primeiro caso de estudo e outro idêntico para o segundo caso de estudo. Ambos os inquéritos foram colocados a cinco sujeitos colaboradores da TAP, três técnicos e 2 engenheiros, com o objetivo de não só aumentar uma vez mais a credibilidade como também de apresentar resultados vindos de diferentes experiências de quem trabalha na área e visões distintas.

A aplicação deste Método de Ponderação com a questão “Há correlação” foi efetuada entre as tarefas a realizar nos casos de estudo a analisar adiante e as vantagens que a adaptação da tecnologia de RA do sistema MiRA pode trazer tendo como base o tipo de tarefa realizado quando fora explicado.

Por exemplo, numa tarefa de substituição dos vedantes de uma porta de passageiros os inqueridos ao responderem o nível de correlação desta tarefa com o caso de estudo MiRA terão que pensar, tendo em conta os valores do Método da Ponderação, o quanto são semelhantes as vantagens que o uso da tecnologia de RA traz na realização das tarefas durante a sua aplicação no caso de estudo MiRA com a sua aplicação na tarefa de substituição dos vedantes da porta de passageiros. A partir desse raciocínio dão valores para a correlação (apresentados na figura 18), em que por exemplo, se esta for muita dão o valor 0.9, se for pouca dão o valor 0.25.

5.2.3 Caso 1: EO da inspeção dos furos dos encaixes de stop da porta posterior de passageiros entre o FR66 e FR68 de um A320

Para o primeiro caso, correspondente à EO da inspeção dos furos dos encaixes de stop da porta posterior de passageiros entre o FR66 e FR68 de um A320, o inquérito relativamente à aplicação do Método da Ponderação foi entre a lista de vantagens com origem da adaptação da tecnologia de RA do sistema MiRA para a realização das tarefas e a sua aplicação nas nove tarefas, individualmente, da EO mencionada que estão demonstradas na página 103 do anexo 1.

Na tabela 5 representada a seguir é possível visualizar-se essas nove tarefas realizadas durante esta EO, assim como às horas planeadas que cada tarefa necessita, em Horas-homem, e a consequente ordem de execução.

Tabela 5 - Tarefas para a realização da EO da inspeção dos furos dos encaixes de stop de porta posterior de um A320 entre o FR66 e FR68, realizado pelo autor

Tarefas	Horas-homem Planeado
<i>Get Access</i>	3.5
<i>Remove Lavatory D</i>	7.5
<i>Remove the Fasteners of the Stop Fittings Aft Passenger/Crew Door LH Side</i>	5
<i>Do a Special Detailed Rototest Inspection of the Door Stop Fitting Holes at Aft Passenger/Crew Door LH Side</i>	1
<i>Install the Fasteners in the Stop Fittings Holes at Aft Passenger/Crew Door LH Side</i>	1
<i>Install the Surface Protection on the Stop Fitting Fasteners at Aft Passenger/Crew Door LH Side</i>	1
<i>Install Lavatory D</i>	7.5
<i>Tests</i>	1
<i>Close-up</i>	3.5
<i>Total Manhours</i>	31
<i>Elapsed Time (hours)</i>	21

Nas EO o valor de tempo da cada tarefa é definido em Horas-homem que corresponde ao tempo tabelado, em horas por técnico, que demora cada tarefa a realizar, havendo neste caso um total de 31 horas e valores compreendidos entre 1 e 7.5 Horas-homem para a realização das tarefas. Como estas tarefas podem ser realizadas ao mesmo tempo e por mais que um técnico, o tempo total de imobilização da aeronave para a realização desta EO é de 21 horas.

De seguida apresenta-se a tabela 6 correspondente ao resultado dos inquéritos realizados aos cinco sujeitos, colaboradores na TAP, onde na coluna à esquerda estão as 9 tarefas para a realização desta EO, na coluna do meio a média dos valores de correlação respondidos e na coluna à direita estão os valores do Método da Ponderação correspondentes.

O valor da correlação foi selecionado tendo em conta o valor tabelado mais próximo, no Método da Ponderação realizado, ao valor médio das respostas. Por exemplo para o primeiro caso na tarefa de “*Get Access*” a média das respostas foi de 0.13, pelo que o valor mais próximo tabelado no Método da Ponderação para correlação será de 0.1.

Após a obtenção dos valores de correlação correspondentes obtidos a partir da amostra constituída pelos 5 sujeitos, calculou-se a poupança de tempo tendo como base a multiplicação entre os valores do Método da Ponderação e o valor de 80% correspondente à poupança obtida no caso de estudo MiRA, como demonstrado na secção 4.2.8.5., visto ter sido o valor calculado pelos investigadores para a poupança conseguida utilizando a tecnologia MiRA na realização das tarefas, comparado com o método convencional.

Por exemplo, para um valor do Método da Ponderação de 0.1, obtém-se uma relação com a poupança do caso de estudo MiRA de 8%, para 0.5 de 40%, para 0.9 de 72%, assim como igualmente para os outros valores do Método da Ponderação. Essas novas percentagens vão corresponder ao novo valor de poupança de tempo para este caso de estudo, tarefa a tarefa.

Tabela 6 - Resultados dos valores médios das respostas dos cinco inquéritos do Método de Ponderação e valor correspondente, para as tarefas da EO, realizado pelo autor

Tarefas	Valor médio das respostas	Valor Método Ponderação correspondente
<i>Get Access</i>	0.13	0.1
<i>Remove Lavatory D</i>	0.63	0.75
<i>Remove the Fasteners of the Stop Fittings Aft Passenger/Crew Door LH Side</i>	0.87	0.9
<i>Do a Special Detailed Rototest Inspection of the Door Stop Fitting Holes at Aft Passenger/Crew Door LH Side</i>	0.45	0.5
<i>Install the Fasteners in the Stop Fittings Holes at Aft Passenger/Crew Door LH Side</i>	0.88	0.9
<i>Install the Surface Protection on the Stop Fitting Fasteners at Aft Passenger/Crew Door LH Side</i>	0.37	0.25
<i>Install Lavatory D</i>	0.63	0.75
<i>Tests</i>	0.15	0.1
<i>Close-up</i>	0.16	0.1

Após a obtenção das novas percentagens de poupanças calcula-se um novo Horas-homem otimizado, igualmente para cada tarefa, de modo a obter-se um novo Horas-homem tabelado em cada tarefa e um novo Horas-homem total tabelado para a realização da EO. Na tabela 7 pode-se verificar os novos valores de percentagem de tempo poupado utilizando a tecnologia de RA do caso MiRA e o consequente Horas-homem otimizado.

Tabela 7 – Valores das percentagens da nova poupança de tempo de Horas-homem otimizado, por tarefa e total, realizado pelo autor

Tarefas	Poupança a partir da correlação	Horas-homem otimizado
<i>Get Access</i>	8%	3.22
<i>Remove Lavatory D</i>	60%	3
<i>Remove the Fasteners of the Stop Fittings Aft Passenger/Crew Door LH Side</i>	72%	1.4
<i>Do a Special Detailed Rototest Inspection of the Door Stop Fitting Holes at Aft Passenger/Crew Door LH Side</i>	40%	0.6
<i>Install the Fasteners in the Stop Fittings Holes at Aft Passenger/Crew Door LH Side</i>	72%	0.28
<i>Install the Surface Protection on the Stop Fitting Fasteners at Aft Passenger/Crew Door LH Side</i>	20%	0.8
<i>Install Lavatory D</i>	60%	3
<i>Tests</i>	8%	0.92
<i>Close-up</i>	8%	3.22
<i>Total Manhours</i>	-	16.44

Para este método de cálculo pode-se pegar no exemplo da primeira tarefa, “*Get Access*”, em que para um valor correspondente ao Método da Ponderação de 0.1 obteve-se uma poupança de 8% (pois é o correspondente a 0.1 parte de 80%), como tal multiplicou-se o valor de Horas-homem tabelado correspondente de 3.5 por 0.92 (corresponde ao valor da diferença entre os 100% de tempo total e os 8% de tempo poupado, ou seja, 92%) em que se obteve o novo valor de Horas-homem otimizado de 3.22.

Como se pode verificar pela tabela 8 o valor total de Horas-homem otimizado é de 16.44, que corresponde a 16 horas e 26 minutos, após a conversão para horas. Este valor corresponde a uma percentagem de aproximadamente 53.03%, ou seja, uma redução de 46.97% do Horas-homem total tabelado necessário para a realização desta EO, uma redução quase para metade do tempo.

Isto é, utilizando as vantagens da adaptação da tecnologia de RA do sistema MiRA e uma análise do Método da Ponderação com inquérito a 5 especialistas na área chegou-se a uma possível poupança teórica de tempo otimizado a rondar os 47%, especificamente para esta EO. Esta poupança de 47%, quase para metade do valor tabelado, é considerada bastante significativa, o que significa que os resultados obtidos neste primeiro caso de estudo demonstram ser bastante promissores e algo a ter em conta por parte dos especialistas na área da manutenção aeronáutica relativamente à utilização das tecnologias de RA em tarefas de manutenção.

5.2.4 Caso 2: Criação de referencial entre C-Checks

Após a verificação da correlação e consequente cálculo de tempo otimizado para o primeiro caso de estudo passou-se para realização do segundo caso de estudo.

Este caso consistiu na criação de um referencial entre a realização de uma primeira inspeção da EO fornecida no caso anterior, até à realização de uma segunda inspeção da mesma EO de modo a criar esse mesmo referencial, onde de seguida se irá calcular a otimização do tempo das tarefas realizadas nesse referencial temporal, tendo como base as mesmas vantagens da adaptação da tecnologia de RA do sistema MiRA, como foi mencionado anteriormente.

Como explicitado pelo Sr. Paulo Guerreiro, a EO de inspeção dos furos dos encaixes de stop da porta posterior de passageiros entre o FR66 e FR68 do A320, foi realizada durante uma C-Check, isto quer dizer que o referencial criado será entre duas C-Checks. Entre essas duas C-Checks são realizadas várias A-Checks, como explicado na secção 3.2.2.2.1. e como exemplificado na figura 3. Nessas A-Checks e C-Checks também se irá aplicar o mesmo método de estudo apresentado anteriormente na EO, de modo a também se obter uma otimização do tempo de trabalho das suas tarefas.

Desse modo, foi realizado outro estudo de correlação utilizando a mesma metodologia do Método da Ponderação aplicada no primeiro caso, mas desta vez entre as vantagens indicadas anteriormente da adaptação da tecnologia de RA do sistema MiRA com as diferentes categorias de tarefas de manutenção existentes numa A-Check e C-Check. Essas categorias podem ser verificadas na tabela 8, indicada em baixo.

Tabela 8 – Categorias de tarefas de manutenção em A-Check e C-Check, realizado pelo autor

Categorias	
<i>GVI (General Visual Inspection)</i>	<i>V/CK (Visual Check)</i>
<i>DISC (Discard)</i>	<i>CHECK</i>
<i>F/C (Funcional Check)</i>	<i>DRAIN</i>
<i>OP/C (Operational Check)</i>	<i>SVC (Servicing)</i>
<i>C/K (Operational Check)</i>	<i>CLN (Clean)</i>
<i>FNC (Funcional Check)</i>	<i>ACC (Access)</i>
<i>REPLACE</i>	<i>RTR (Work Order)</i>
<i>LUB (Lubrification)</i>	<i>NR (Non-Routine)</i>

Para além destas categorias de tarefas de manutenção existentes nas A-Checks e C-Checks existem ainda outros tipos de tarefas de manutenção e inspeção como a categoria das EO. A realização desta metodologia de estudo passa pela avaliação dos conjuntos de tarefas consideradas repetitivas realizadas durante a execução das Inspeções Tipo que é o caso das tarefas incluídas na tabela 8.

As EO, em situações normais, não são tarefas repetitivas pois, como indicado anteriormente, resultam de SB que como já referido é uma modificação de um item destinado a melhorar a segurança, conforto do passageiro, fiabilidade e a operação da aeronave, pelo que também são diferentes de avião para avião, são trabalhos mais específicos. O facto de não serem tarefas repetitivas na realização das Inspeções Tipo faz com que seja mais difícil calcular uma otimização dos seus ganhos.

Igualmente as tarefas NR não são repetitivas, apesar de estarem inseridas na tabela 8 e terem sido utilizadas nos inquéritos de correlação. O motivo para estarem inseridas é o facto de estas tarefas acontecerem durante a realização de uma tarefa repetitiva e o técnico encontra algo não conforme, ou seja, ocorre durante o encontro de uma anomalia de uma ação planeada, pelo que de seguida é emitido um documento designado NR que irá suportar a resolução da anomalia detetada. A sua inserção no inquérito também serviu para verificar o que a amostra responderia quando inqueridos sobre o uso da tecnologia de RA neste tipo de tarefas, sendo que não sabem no que pode consistir concretamente. Uma NR pode ser uma tarefa de manutenção de qualquer tipo das outras 15 categorias da tabela 8 ou mesmo outro tipo de tarefa de manutenção.

O mesmo não acontece com as outras 15 categorias de tarefas de manutenção indicadas na tabela 8, que são tarefas repetitivas durante a realização das Inspeções Tipo, daí a aplicação da otimização do tempo de trabalho ser sobre este tipo de tarefas de manutenção.

Tendo isto em conta, uma vez mais o inquérito foi respondido por 5 sujeitos, todos trabalhadores na TAP (2 engenheiros e 3 técnicos). Na tabela 9 pode-se verificar os resultados obtidos dos 5 inquéritos, em que na coluna à esquerda estão as 16 categorias de tarefas de manutenção das Inspeções Tipo abordadas (tarefas repetitivas e NR), na coluna do meio a média dos valores de correlação respondidos e na coluna à direita estão os valores tabelados da correlação correspondentes, à semelhança do que foi feito para o primeiro caso de estudo.

De reparar que a tarefa não repetitiva NR inserida neste questionário obteve um nível de correlação nulo comprovando que só sabendo especificamente do que trata a tarefa é que a amostra poderia dar um valor de correlação, demonstrando igualmente que a sua correlação com o caso de estudo abordado demonstra ser difícil pois não se sabe exatamente do que se pode tratar.

Tabela 9 - Resultados dos valores médios das respostas aos inquéritos e valores do Método da Ponderação correspondente para as tarefas de manutenção repetitivas numa A-Check e C-Check, realizado pelo autor

Categorias	Valor médio das respostas	Valor Método Ponderação correspondente
<i>GVI (General Visual Inspection)</i>	0.89	0.9
<i>DISC (Discard)</i>	0.78	0.75
<i>F/C (Functional Check)</i>	0.75	0.75
<i>OP/C (Operational Check)</i>	0.76	0.75
<i>C/K (Operational Check)</i>	0.86	0.9
<i>FNC (Funcional Check)</i>	0.74	0.75
<i>REPLACE</i>	0.83	0.9
<i>LUB (Lubrication)</i>	0.66	0.75
<i>V/CK (Visual Check)</i>	0.93	0.9
<i>CHECK</i>	0.88	0.9
<i>DRAIN</i>	0.56	0.5
<i>SVC (Servicing)</i>	0.78	0.75
<i>CLN (Clean)</i>	0.5	0.5
<i>ACC (Access)</i>	0.73	0.75
<i>RTR (Work Order)</i>	0.71	0.75
<i>NR (Non-Routine)</i>	0	0

De seguida, na tabela 10 representada em baixo, pode-se verificar os valores obtidos para as novas percentagens de poupanças tendo como base os valores do Método da Ponderação obtidos na tabela 9. Aqui a transformação das percentagens das novas poupanças e consequentes tempos otimizados foram obtidos utilizando o mesmo método aplicado no primeiro caso, à semelhança do que foi aplicado na tabela 6.

Tabela 10 - Nova poupança obtida a partir dos valores do Método da Ponderação para cada categoria de tarefa de manutenção, realizado pelo autor

Categorias	Nova poupança
<i>GVI (General Visual Inspection)</i>	72%
<i>DISC (Discard)</i>	60%
<i>F/C (Functional Check)</i>	60%
<i>OP/C (Operational Check)</i>	60%
<i>C/K (Operational Check)</i>	72%
<i>FNC (Funcional Check)</i>	60%
<i>REPLACE</i>	72%
<i>LUB (Lubrification)</i>	60%
<i>V/CK (Visual Check)</i>	72%
<i>CHECK</i>	72%
<i>DRAIN</i>	40%
<i>SVC (Servicing)</i>	60%
<i>CLN (Clean)</i>	40%
<i>ACC (Access)</i>	60%
<i>RTR (Work Order)</i>	60%
<i>NR (Non-Routine)</i>	0%

Durante a análise das Inspeções Tipo, fornecidas pelo colaborador da TAP, para além das 15 categorias de tarefas de manutenção repetitivas, das NR e das EO, evidenciou-se a existência de outros tipos de tarefas de manutenção. Essas tarefas de manutenção não foram abordadas nesta metodologia de estudo pois tratava-se de tarefas específicas, ou seja, tal como as EO, não eram tarefas de manutenção repetitivas durante a realização das Inspeções Tipo e apareciam com muito pouca regularidade. O valor de Horas-homem utilizado para a realização destas tarefas correspondia a cerca de 2.67% do tempo total do referencial a ser trabalhado, o que demonstra ser também uma percentagem muito mínima.

Outra nota importante a retirar sobre os tipos de tarefas que não foram abordadas nesta metodologia, neste caso sobre as EO que a sua razão já fora explicada anteriormente, é o facto do valor temporal gasto para a sua realização, Horas-homem, corresponder a cerca

de 53.63% do tempo total do referencial a ser trabalhado, ou seja, um pouco mais de metade.

Estes dois últimos parágrafos para dizer que cerca de 56.3% do tempo total do referencial, isto é, de tarefas não repetitivas realizadas durante estas Inspeções Tipo, não foram abordadas, pelo que a otimização do tempo a ser trabalhado será em 43.7% do tempo total do referencial.

Para além destas tarefas onde não foi possível aplicar um nível de correlação utilizando o Método da Ponderação e seus inquéritos, também se deparou durante a análise das Inspeções Tipo com a existência de imensas tarefas em que o tempo gasto para a sua realização não fora registado, sendo considerado nulo. Isto pode ser devido a questões operacionais ou do sistema, por exemplo, pelo facto de o indivíduo que realizou as tarefas ao receber várias *Task Card* para a realização das tarefas de manutenção não registar algumas delas, ou então, por se ter esquecido de abrir a *Task Card* no sistema utilizado. O número de tarefas não contabilizadas foi de 2 268, que num total de 10 769 tarefas de manutenção do referencial a analisar, correspondeu a cerca de 21.06% das tarefas.

Após a análise das Inspeções Tipo chegou-se à conclusão de que a EO de inspeção trabalhada no primeiro caso fora realizada entre 3 C-Checks, ou seja, entre as duas inspeções dos furos dos encaixes de stop da porta posterior de passageiros entre o FR66 e FR68 realizada no mesmo A320, foi realizada outra C-Check e só na terceira é que esta EO foi realizada novamente.

Tendo esta análise em vista chegou-se à conclusão de que o referencial a criar seria entre 3 C-Checks. Após a análise das Inspeções Tipo existentes nesse referencial verificou-se que entre as 3 C-Checks, foram realizadas 19 A-Checks (10 entre a primeira e a segunda C-Check e depois mais 9 entre a segunda e terceira C-Check). De modo a finalizar esta primeira análise, retirou-se um tempo correspondente para o referencial de aproximadamente 3 anos, 5 meses e 26 dias, praticamente 3 anos e meio.

De seguida na tabela 11 encontram-se as 22 Inspeções Tipo analisadas para a criação do referencial assim como o respetivo valor Horas-homem total original, tabelado em cada tarefa de manutenção realizada durante a inspeção, e o valor de Horas-homem otimizado, que fora calculado da mesma maneira que no caso anterior, à semelhança do que foi realizado na tabela 7 (com o valor do Método da Ponderação obtêm-se uma percentagem

de poupança em que a sua diferença com o valor de 100% é multiplicada pelo Horas-homem original, obtendo-se um valor otimizado).

Tabela 11 - Horas-homem original e otimizado para as A-Checks e C-Checks, realizado pelo autor

Inspeções Tipo	Horas-homem original	Horas-homem otimizado
Inspeção Tipo C4.1	4 365.96	3 701.87
Inspeção Tipo A1.10	282.62	184.39
Inspeção Tipo A1.11	319.95	239.91
Inspeção Tipo A2.11	416.13	327.41
Inspeção Tipo A3.11	331.87	272.78
Inspeção Tipo A4.11	395.63	301.32
Inspeção Tipo A1.12	2 251.84	2 064.37
Inspeção Tipo A2.12	321.43	220.06
Inspeção Tipo A3.12	435.08	324.75
Inspeção Tipo A4.12	376.49	253.80
Inspeção Tipo A1.13	414.33	325.48
Inspeção Tipo C5.1	1 4113.87	1 3371.46
Inspeção Tipo A3.13	370.80	285.04
Inspeção Tipo A4.13	433.36	335.71
Inspeção Tipo A1.14	314.56	256.64
Inspeção Tipo A2.14	373.38	253.33
Inspeção Tipo A3.14	291.57	205.66
Inspeção Tipo A4.14	378.18	273.73
Inspeção Tipo A1.15	409.01	284.85
Inspeção Tipo A2.15	607.07	436.37
Inspeção Tipo A3.15	370.65	285.88
Inspeção Tipo C6.1	6 681.77	6 101.68

Após a obtenção e consequente análise dos valores de Horas-homem originais e otimizados gastos durante a realização das Inspeções Tipo, realizou-se a tabela 12 referente aos tempos totais e de poupança do referencial obtido.

Tabela 12 - Tabela de diferença de tempos e poupança entre o original e otimizado, realizado pelo autor

Horas-homem total original	Horas-homem total otimizado	Diferença Horas-homem	Porcentagem de poupança (%)
34 255.55	30 305.49	3 950.06	11.53

Analisando esta tabela 12 pode-se reparar numa diferença de 3 950.06 Horas-homem entre um cenário original para um cenário otimizado utilizando a tecnologia de RA para a realização de tarefas de manutenção nas Inspeções Tipo, o que correspondeu a cerca de 11.53% de diferença. Ou seja, utilizando a adaptação da tecnologia de RA do sistema MiRA e com o apoio de uma análise do Método da Ponderação com conseqüente inquérito a 5 especialistas na área, conseguiu-se realizar um estudo ao cálculo do tempo otimizado de uma poupança cerca de 11.53% no referencial criado.

Algo a referir tendo em conta o valor obtido e a quantidade de tarefas de manutenção analisadas neste referencial é o facto de que este valor ainda poderia ser superior tendo em conta que só foi possível trabalhar na otimização de 43.7% do tempo do referencial (correspondente ao tempo das tarefas de manutenção repetitivas e às NR), sendo que uma grande fatia, a rondar os 53.3% corresponde às EO, Ordens de Engenharia, não foram analisadas devido aos fatores explicados anteriormente.

Tendo em conta que foram analisados 43.7% do tempo total correspondente, o valor obtido de redução do tempo de trabalho de 11.53% é, uma vez mais à semelhança do que foi analisado no caso anterior, um valor bastante significativo. Ou seja, unicamente das tarefas trabalhadas e analisadas, conseguiu-se calcular uma poupança a rondar os 26%, o que pode ainda mais ajudar a demonstrar o impacto deste valor obtido. Uma vez mais este resultado pode levar a especialistas na área de manutenção aeronáutica pensarem seriamente no investimento de tecnologias de RA para as tarefas de manutenção num futuro relativamente próximo.

5.2.5 Análise em conjunto

Para finalizar estas análises aos casos de estudo, realizou-se um outro caso em que se tentou aplicar um cenário para a otimização não só das tarefas repetitivas, analisadas no segundo caso, mas também trabalhar na otimização das suas EO, pois como demonstrado

anteriormente o tempo gasto para a sua realização correspondia a 53.63% do tempo total do referencial trabalhado.

No primeiro caso de estudo, em que se otimizou uma EO, obteve-se uma redução a rondar os 47% do tempo total. Neste capítulo será colocado um cenário hipotético em que num modo geral em todas as EO existentes nas A-Checks e C-Checks do referencial construído no segundo caso de estudo se consegue uma poupança média de 30% ao utilizar-se a tecnologia da RA para a sua realização.

O valor de poupança em EO de 30% vem após a colocação desta questão ao Sr. Paulo Guerreiro, que uma vez mais proporcionou uma grande ajuda na realização destes casos de estudo. A questão colocada era referente a que percentagem de carga de trabalho (Horas-homem) achava o Sr. Paulo possível de poupar na realização de EO durante as A-Checks e C-Checks utilizando a mesma tecnologia que fora abordada no primeiro e segundo caso de estudo, sendo que o especialista na área de Inspeções da TAP respondeu cerca de 30%, mesmo havendo EO com maiores e menores poupanças.

A sua justificação passou pelo facto de que na execução das EO há a realização de muitas tarefas ACC (abertura e fecho de acessos) e que, para além de serem bastantes, estas também ocupam muito tempo aos técnicos na sua realização. Como se pode verificar na tabela 9 estas tarefas de manutenção (ACC) tiveram um valor de correlação no Método da Ponderação de 0.75 que é relativamente elevado, o que quer dizer, igualmente justificado durante a conversa com o colaborador da TAP, que também existe uma elevada aplicabilidade da tecnologia para a realização dessas tarefas. A junção destes três fundamentos possibilitou que o Sr. Paulo respondesse seguramente e com confiança no valor 30% de poupança na realização das EO, reforçando que na EO estudada no primeiro caso de estudo obteve-se, inclusive, uma poupança de 46.97%.

Podendo haver a possibilidade de existir EO com elevada ou diminutiva aplicabilidade da tecnologia de RA estudada nestes casos, a realização da metodologia aplicada tanto no primeiro como no segundo caso de estudo será uma sugestão de trabalho futuro para aplicação noutras EO, de modo que no futuro para complementação deste capítulo se possa ter resultados mais exatos e concretos.

Na tabela 13 demonstrada a seguir pode-se verificar os valores calculados para esta hipotética otimização de um cenário de poupança média em que utilizando a adaptação da tecnologia de RA do sistema MiRA em todas as EO obteve-se um valor de 30%.

Tabela 13 - Valores de hipotética poupança para um cenário de poupança média em todas as EO de 30%, realizado pelo autor

Otimização Horas-homem total das EO	Diferença entre Horas-homem das EO	Horas-homem total otimizado do referencial	Poupança	Poupança %
12 860.20	5 511.51	24 793.98	9 461.57	27.62

Analisando esta tabela 13 pode-se verificar, para um cenário hipotético a 30%, uma poupança (correspondente aos 30% da poupança em EO e ao valor de tempo otimizado para o referencial obtido no segundo caso de estudo) de 9 461.57 Horas-homem o que corresponde a uma percentagem de poupança total neste cenário de 27.62%.

Sendo o somatório das Horas-homem gastas para a realização das EO no referencial criado no segundo caso de estudo de 18 371.71, para uma poupança de 30% do tempo obteve-se um valor de EO total otimizado para o mesmo referencial de 12 860.20 que corresponde a uma poupança de 5 511.51 Horas-homem para a realização de todas a EO.

Tendo em conta que a análise deste cenário hipotético foi realizada para o mesmo referencial e Inspeções Tipo no caso anterior, este valor de otimização calculado de 27.62% de poupança de tempo total na realização das tarefas de manutenção utilizando a mesma tecnologia reforça uma vez mais o eventual investimento desta tecnologia.

De modo a complementar os cálculos e aplicar uma análise mais profunda do valor poupado calculou-se, tendo em conta que a vida útil de uma aeronave é de 20 anos, qual seria o Horas-homem poupado durante essa vida útil.

Como demonstrado no segundo caso, este referencial correspondeu a cerca 3 anos e meio e como demonstrado neste caso de estudo hipotético a uma poupança de 9 461.57 Horas-homem. Interpolando estes valores para a vida útil de uma aeronave pode-se saber que para uma vida útil de 20 anos tendo em conta este cenário poder-se-ia corresponder, em termos teóricos, a uma poupança de 54 066 Horas-homem.

Analisando este valor de poupança para a vida útil de uma aeronave, verifica-se que ultrapassa claramente o valor calculado no mesmo capítulo para a otimização do referencial correspondente para 3 anos e meio (24 793.98 Horas-homem).

Ou seja, tendo em conta este cenário hipotético, obteve-se uma carga de trabalho entre as 3 C-Checks de 24 793.98 Horas-homem e uma poupança de 9 461.57 Horas-homem que ao ser interpolado para um valor de vida útil de uma aeronave (20 anos) obtém-se uma poupança de carga de trabalho de 54 066 Horas-homem. Como se pode verificar, este valor de poupança ao longo dos 20 anos corresponde a mais do dobro da carga de trabalho otimizada necessária para a realização das Inspeções Tipo que constituem o referencial entre as EO de inspeção dos furos dos encaixes de stop da porta posterior de passageiros entre o FR66 e FR68 de um A320. Ou seja, significa que em termos teóricos seria possível poupar a carga de trabalho necessária para a realização de Inspeções Tipo compreendidas entre 3 destas EO, que corresponderia à carga de trabalho das tarefas de manutenção existentes entre 5 C-Checks.

Capítulo 6 – Conclusão e Trabalho Futuro

Com o desenvolvimento da Indústria 4.0 a evolução de certas TI tem vindo a ter cada vez mais importância. Com os avanços nas TI, assim como igualmente na informática, as abordagens à tecnologia de RA têm sim cada vez maiores e mais simples, o que levou a elevados desenvolvimentos desde a sua primeira apresentação ao mundo industrial.

Como o setor da aeronáutica requer um nível elevado de segurança e precisão em que os trabalhos de manutenção numa MRO são caracterizados por serem extremamente exigentes e complexos, a aplicação de RA para os mesmos tem ganho cada vez mais importância pois facilita o trabalho dos técnicos de manutenção.

Da mesma forma que o setor aeronáutico é caracterizado pela sua exigência e complexidade, também é caracterizado pela elevada quantidade de regulamentação o que levou a uma primeira análise neste trabalho. Nesta primeira análise houve a necessidade de verificar se era possível, por parte das Autoridades Aeronáuticas e suas regulamentações, a utilização de novas tecnologias. Visto que a prática para os trabalhos de manutenção começa na formação dos técnicos analisou-se a Part-147 da EASA, como explicado na secção 4.2.6 e após essa análise foi possível comprovar-se que não há nada que impeça a utilização das novas tecnologias por parte de uma MRO para formação de novos técnicos, aliás até foi possível verificar-se a preocupação de várias organizações de MRO em adaptar tal regulamento para a introdução de novas tecnologias.

Os principais objetivos da aplicação de RA em manutenção aeronáutica passam pela otimização dos tempos de trabalho e contribuir para a mitigação do erro da tarefa de manutenção, ou seja, os objetivos são a redução do tempo de trabalho e o aumento da eficiência.

A redução dos tempos de trabalho pode ser alcançada reduzindo os tempos de ação, isto é, de montagem e de realização das tarefas de manutenção, pela redução do tempo de procura, principalmente de informação relevante para a realização das tarefas, redução do tempo de consulta da documentação relativa aos trabalhos e da fácil interatividade e atuação entre o utilizador e um sistema de RA.

Por sua vez o aumento da qualidade dos trabalhos de manutenção pode ser obtido utilizando RA para treinar os novos técnicos de forma mais eficaz, interativa e mais próxima de realidade, podendo realizar simulações de trabalhos de manutenção numa

aeronave ou nos seus componentes. Outra forma de reduzir os erros de trabalho, levando ao aumento da eficácia, é o facto de a RA ajudar na deteção de falhas (má colocação de peças/componentes ou ajudar a detetar peças defeituosas) e ao introduzir de forma interativa e prática instruções de trabalho e também avisos durante certas tarefas, melhorando a atenção e perceção do trabalho por parte dos utilizadores.

Em relação aos dispositivos de RA, nos casos de estudo apresentados na secção 4.2.7 pode-se verificar que a utilização de *tablets* equipados com RA, apesar de não terem a possibilidade de se ter ambas as mãos livres, apresentaram as maiores reduções de tempo e mais qualidade na realização das tarefas. Também se verificou que atualmente para a realização de tarefas mais complexas usam dispositivos *tablets* ou computadores equipados com RA. Como já foi referido anteriormente neste trabalho, estes motivos são devidos ao facto de estes dois dispositivos conseguirem ter uma tecnologia mais madura e robusta.

Outro fator relacionado com as maiores poupanças de tempo, tendo em conta os casos apresentados, foi o facto de a tarefa ser simples ou complexa. Ou seja, quanto mais complexa e demorada é a tarefa, maiores são os ganhos. Por exemplo, no caso de estudo MiRA uma inspeção visual de fuselagem interior que demoraria 300 horas, pode demorar 60 horas, uma redução de 80%.

Os HMD e óculos de RA apesar de ainda não apresentarem reduções de tempo tão elevadas como os *tablets* e computadores são apresentados na área da RA como tendo um elevado potencial, tanto para os investigadores da área da tecnologia de RA como para os colaboradores de várias áreas de aplicação, como da manutenção aeronáutica. A sua tecnologia ainda não é muito madura o que faz com que ainda tenham que ser submetidos a muitos desenvolvimentos. Porém, tendo em conta os casos de estudo apresentados na mesma secção 4.2.8., estes dispositivos já apresentam uma elevada aplicabilidade e acredita-se que nos próximos tempos serão bastante aprimorados.

Para além da redução do tempo de trabalho e dos erros criados durante a realização das tarefas também se pode afirmar que em termos de resultados qualitativos a aplicação da tecnologia de RA durante as tarefas de manutenção aeronáutica apresenta-se bem considerada. Como se pode confirmar no caso de estudo na secção 4.2.8.1. (e igualmente durante a análise bibliográfica realizada pelo autor) pode-se afirmar que em termos de carga cognitiva a tecnologia de RA baixou a carga necessária para os técnicos durante a

realização das tarefas de manutenção o que demonstra ser uma ferramenta que pode facilitar a realização do trabalho dos técnicos de manutenção. Igualmente a usabilidade, apresentada também na secção 4.2.8.1., foi um dado qualitativo que apresentou muitos bons valores. Tal como demonstrado no respetivo capítulo os participantes inqueridos demonstram estar bastante satisfeitos com a aplicação da tecnologia de RA utilizada nos casos de estudo, para a realização da tarefa proposta.

Estes dados demonstram que a tecnologia de RA na realização de tarefas de manutenção aeronáutica não só obteve bons resultados quantitativos, em relação ao tempo poupado e à redução dos erros, como também apresentou resultados qualitativos bastante consideráveis.

Apesar dos estudos e conceitos apresentados neste trabalho, as tecnologias de RA ainda requerem alguns melhoramentos para que seja aplicada com mais distinção e exatidão, de forma que se torne permanente nos trabalhos de manutenção aeronáutica.

Como referido ao longo do trabalho, a principal limitação parte da pesada computação requerida, o que leva por vezes à impossibilidade de utilização das tecnologias em certos dispositivos com capacidade computacional mais ligeira, como *smartphones*, também está relacionado com a baixa autonomia das baterias dos sistemas de RA e à fraca capacidade de por vezes colocar imagens, sinais ou informação nos locais ideais, de detetar o ambiente real com o dispositivo ou então ao facto da colocação de informação virtual ser mais demorada, que pode ser devido por exemplo aos movimentos momentâneos do utilizador com o dispositivo ou às condições do ambiente de trabalho como a luminosidade.

Outras limitações estão relacionadas com o ambiente de trabalho e com o tipo de tarefas a realizar. Em relação ao ambiente de trabalho, a luminosidade do local pode afetar a precisão e qualidade da imagem e rastreio, assim como a sujidade ou condições meteorológicas também podem afetar os sistemas de RA. Já ao tipo de tarefa a realizar, caso haja a necessidade de o técnico ter as mãos livres há logo um limite nos dispositivos a utilizar, podendo apenas trabalhar com óculos de RA ou com o HMD, que leva a outro problema que é o facto de serem pesados e terem um campo de visão reduzido, criando desconforto e tonturas.

Por fim outra grande limitação é o investimento requerido, que afeta não só as tecnologias de RA como também outras tecnologias recentes, pois requerem elevados conhecimentos

e períodos de criação e desenvolvimento longos e maioritariamente para aplicações específicas.

Em relação aos casos de estudo e respetivas análises realizadas neste trabalho, estes serviram para demonstrar, teoricamente e com a ajuda do Sr. Paulo Guerreiro, colaborador na área de Manutenção de aviões – Planeamento e Controlo da TAP, as vantagens possíveis com a aplicabilidade da tecnologia de RA em trabalhos de manutenção aeronáutica.

Com a realização do primeiro caso, correspondente à análise da EO da inspeção dos furos dos encaixes de stop da porta posterior entre o FR66 e FR68 de um A320, conseguiu-se demonstrar a poupança de tempo numa EO específica, obtendo um valor de poupança de 14.44 Horas-homem, ou seja, 46.97% do tempo despendido tabelado para aquela EO.

Na realização do segundo caso de estudo correspondente à criação de um referencial entre duas EO demonstradas no caso anterior conseguiu-se calcular, apesar das limitações encontradas, principalmente devido à elevada quantidade de tarefas de manutenção diferentes entre si, tal como explicado na secção 5.2.4 correspondente a este caso de estudo, uma poupança de 11.53% do tempo total. Obteve-se uma poupança de 3 950.06 Horas-homem num total de 34 255.55. Mesmo trabalhando apenas na otimização de 43.7% do tempo total do referencial, tal como também explicado no capítulo deste caso de estudo.

Assim sendo, tanto para o primeiro caso de estudo como para o segundo, pode-se verificar um valor de tempo poupado bastante significativo, o que levou a um terceiro caso de estudo como tentativa de abordar praticamente todo o tempo do referencial do segundo caso.

Neste terceiro caso considerou-se um cenário hipotético de um valor médio conservador de 30% de poupança de tempo para todas as EO existentes no referencial realizado no caso anterior com a ajuda do Sr. Paulo. Aplicando esse valor juntamente com o valor obtido no segundo caso conseguiu-se calcular uma poupança de 27.62%, o correspondente a 9 461.57 Horas-homem no respetivo referencial. De seguida, ao interpolar este valor de um referencial de aproximadamente 3 anos e meio para um correspondente à vida útil de um A320, 20 anos, obteve-se um valor de Horas-homem poupado de 54 066, o que analisando os valores obtidos anteriormente é bem superior ao

valor otimizado obtido para o tempo de realização de todas as tarefas de manutenção no referencial de 3 anos e meio do mesmo caso de estudo (24 793.98 Horas-homem).

Isto demonstrou que após a vida útil de um A320, 20 anos, pode haver uma poupança em termos teóricos de carga de trabalho compreendida entre 3 EO analisadas no primeiro caso de estudo, por outras palavras, esta poupança poderia corresponder à carga de trabalho utilizada para as tarefas de manutenção entre 5 C-Checks.

Tendo em conta este resultado obtido de 27.62% de poupança pode-se considerar ser um valor com bastante impacto não só para o tempo poupado, como também em termos de mão de obra e monetário que é possível poupar. Por sua vez esta possível poupança monetária pode levar a que uma organização de MRO invista em equipamentos de RA para trabalhos de manutenção e, numa primeira fase, para a formação dos seus técnicos.

Como trabalho futuro, de modo a complementar o estudo da aplicabilidade da tecnologia MiRA na manutenção aeronáutica pode-se referir o estudo aplicado no primeiro caso referente à EO da inspeção dos furos dos encaixes de stop da porta posterior de passageiros entre o FR66 e FR68, mas aplicado noutras EO e noutros trabalhos de manutenção ou inspeção com algum grau de diferença à estudada neste trabalho.

O objetivo do mesmo estudo a outras EO é de validar os resultados obtidos no primeiro caso de estudo e consequentemente trabalhados no último caso. Desta maneira é possível saber um valor percentual mais próximo da realidade do tempo de poupança para todas as EO aplicadas durante o referencial constituído por A-Checks e C-Checks aplicado no segundo caso.

Ainda para outros trabalhos futuros, aconselha-se o estudo de outro tipo de TI igualmente para trabalhos de manutenção aeronáutica, reforçando o impacto que as novas tecnologias podem apresentar. Como tecnologias para estudo pode-se referir RFID e IoT, pois são dois tipos de TI que durante a revisão bibliográfica apareceram em muitos casos de estudos científicos igualmente na área da manutenção aeronáutica e mostraram ter um grande potencial na mesma área, algo que se pode aprofundar mais como foi feito com a tecnologia de RA nesta dissertação.

Bibliografia

- [1] Almeida, B., Fabro, E., 2019, Indústria 4.0 como ferramenta na engenharia de manutenção com base na metodologia TPM. *Scientia Cum Industria*. 7: 23 – 39.
- [2] Cozmiuc, D., Petrisor, I., 2018, Industrie 4.0 by Siemens Steps Made Today. *Journal of Cases on Information Technology*. 20: 30 – 48.
- [3] PwC “Global Industry 4.0”. (2016). Indústria 4.0 Construir a empresa digital. PwC. Portugal
- [4] Kamblea, S., Gunasekaranb, A., Gawankar, S., 2018, Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives, *Process Safet and Environmental Protection*. 117: 408 – 425.
- [5] Esposito, M., Lazoi, M., Margarito, A., Quarta, L., 2019, Innovating the Maintenance Repair and Overhaul Phase through Digitalization. *MPDI – Journal Aerospace*. 6: 53.
- [6] Alcácer, V., Cruz-Machado, V., 2019, Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems. *Engineering Science and Technology, an International Journal*. 22: 899 – 919.
- [7] Qiu, C., Zhou, S., Liu, Z., Gao, Q., Tan, J., 2019, Digital assembly technology based on augmented reality and digital twins: a review, *Virtual Reality & Intelligent Hardware*. 1: 597 – 610
- [8] Errandona, I., Beltrán, S., Arrizabalaga, S., 2020, Digital Twin for maintenance: A literature review, *Computers in Industry*. 123: 103316
- [9] Lee, I., Lee, K., 2015, The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*. 58: 431 – 440.
- [10] Salkin, C., Oner, M., Ustundang, A., Cevikan, E., 2018, A Conceptual Framework for Industry 4.0, em obra coletiva por Salkin, C., Oner, M., Ustundang, A., Cevikan, E., *In Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*, Edição nº1, Editora Springer Series in Advanced Manufacturing, Suíça. 3 – 23.
- [11] Tupa, J., Simota, J., Steiner, F., 2017, Aspects of risk management implementation for Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*. 11: 1223 – 1230.

- [12] Kardong-Edgren, S., Farra, S., Alinier, G., 2019 A Call to Unify Definitions of Virtual Reality. *Clinical Simulation in Nursing*. 31: 28 – 34.
- [13] Nouri, Z., Rafieian, M., Ghasemi, K., 2019, Using information and communication technologies to create learning urban public space. (Case study: Central part of Tehran, Iran). *Habitat International*. 87: 91 -98.
- [14] Pintelon, L., Du Preez, N., Van Puyvelde, F., 1999, Information technology: opportunities for maintenance management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. 5: 9-24.
- [15] Titu, A., Stanciu, A., 2020, Merging Operations Technology with Information Technology, 12th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), Bucureste, Romania, June 25 – 27, 2020.
- [16] Chen, Y., Wang, Y., Nevo, S., Benitez Amado, J., Kou, Gang., 2015, IT capabilities and product innovation performance: The roles of corporate entrepreneurship and competitive intensity. *Information & Management*.
- [17] Mohamed, A., Idris, B., Saridakis, G., Benson, V., 2020, Information and communication technologies: a curse or blessing for SMEs?, em obra coletiva com Mcalaney, J., *Emerging Cyber Threats and Cognitive Vulnerabilities*, Edição nº 1, Elsevier, Londres, pp: 163 – 174.
- [18] Lai, V., Mahapatra, R., 1997, Exploring the research in information technology implementation. *Information & Management* 32: 187 – 201.
- [19] Zheng, P., Wang, H., Sang, Z., Zhong, R., Liu, Y., Liu, C., Mubarak, K., Yu, S., Xu, X., 2018, Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives. *Front. Mech. Eng.* 13: 137 – 150.
- [20] Posada, J., Toro, C., Barandiaran, I., Oyarzun, D., Stricker, D., Amicis, R., Pinto, E., Eisert, P., Döllner, J., Vallarino Jr., I., 2015, Visual Computing as a Key Enabling Technology for Industrie 4.0 and Industrial Internet. *IEEE Computer Graphics and Applications*. 35: 26 – 40.
- [21] Riezebos, J., Klingenberg, W., Hicks, C., 2009, Lean Production and information technology: Connection or contradiction? *Computers in Industry*. 60: 237 – 247.

- [22] Ghobakhloo, M., Hong, T., 2014, IT investments and business performance improvement: the mediating role of lean manufacturing implementation. *International Journal of Production Research*. 52: 5367–5384.
- [23] Soluções Inovadoras em Gestão de Cadeias de Logística e Abastecimento – Witkowski, K., 2017, Internet of Things, Big Data, Industry 4.0 – Innovative Solutions in Logistics and Supply Chains Management. *Procedia Engineering*. 182:763 – 769.
- [24] Kolberg, D., Zuhlke, D., 2015, Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies. *IFAC – PaperOnLine*. 48: 1870 – 1875.
- [25] Aslan, D., Çetin, B., Ozbilgin, I., 2019, An Innovative Technology: Augmented Reality Based Information Systems. *Procedia Computer Science* 158: 407 – 414.
- [26] Amin, D., Govilkar, S., 2015, Comparative Study of Augmented Reality SDK's. *International Journal on Computational Sciences & Applications (IJCSA)*. 5: 11 – 26.
- [27] Lee, K., 2012, Augmented Reality in Education and Training. *TechTrends*. 56: 13 – 21.
- [28] Fonseca, H., 2016, Dos desafios da manutenção de aeronaves, dissertação submetida à Universidade da Beira Interior para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Aeronáutica.
- [29] Kinnison, H., 2012, Aviation Maintenance Management. McGraw-Hill Education, Edição nº 2.
- [30] Santos, E., 2019, Manutenção Aeronáutica Preditiva – Procedimentos, Técnicos e Business Models, dissertação submetida ao ISCTE Business School para a obtenção do grau de Mestre em Serviços e Tecnologia do departamento de Marketing, Operações e Gestão Geral do ISCTE Business School.
- [31] Marques, J., 2015, Implementação de um Programa de Fiabilidade de Aeronaves, dissertação submetida ao Instituto Superior de Engenharia de Lisboa para a obtenção do grau de Mestres em Engenharia Mecânica na área Departamental de Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- [32] Fernandes, S., 2019, Procedimentos de Manutenção na Indústria Aeronáutica, dissertação submetida ao Instituto Superior de Engenharia de Lisboa para a obtenção do

grau de Mestre em Engenharia Mecânica na área Departamental de Engenharia de Manutenção do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

[33] Barreira, C., 2018, Component's MRO Technical Data Management Solution through the Development of a Database with a Tree Structure Model, dissertação submetida ao Instituto Superior Técnico Lisboa para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Aeroespacial.

[34] Vieira, D., Loures, P., 2016, Maintenance, Repair and Overhaul (MRO) Fundamentals and Strategies: An Aeronautical Industry Overview, International Journal of Computer Applications. 135: 21 -29.

[35] Sanches, A., 2018, Metodologia Lean Aplicada à Manutenção Aeronáutica, dissertação submetida ao Instituto Superior de Engenharia de Lisboa para a obtenção do grau de Mestres em Engenharia Mecânica na área Departamental de Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

[36] Santos, C., 2012, Gestão da Continuidade de Aeronavegabilidade e a Prevenção de Acidentes/Incidentes, dissertação submetida à Universidade de Beira Interior, Faculdade de Engenharia para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Aeronáutica.

[37] Ucler, C., Gok, O., 2015, Innovating General Aviation MRO's through IT: The Sky Aircraft Management System – SAMS, Procedia - Social and Behavioral Sciences 195: 1503 – 1513.

[38] Sahay, A., 2012, The business of maintaining aircraft, editado por Sahay, A., Maintenance, Repair and Overhaul (MRO) Fundamentals and Strategies: An Aeronautical Industry Overview, Edição nº1, Editora Woodhead Publishing, pp. 15 – 31.

[39] Sahay, A., 2012, Aircraft maintenance paradigm, editado por Sahay, A., Maintenance, Repair and Overhaul (MRO) Fundamentals and Strategies: An Aeronautical Industry Overview, Edição nº1, Editora Woodhead Publishing, pp. 33 – 114.

[40] Skybrary, 2013, Aircraft Design - Original Equipment Manufacturer/Design Approval Holder Continuous Monitoring of Service History Best Practices Task Force.

[41] Configuring task cards and master task cards, IBM, <https://www.ibm.com/docs/en/maximo-for-aviation/7.6.3?topic=management-configuring-task-cards-master-task-cards>

Acedido a 02/08/2021

[42] Civil Aviation Administration of China, 2003, Technical Documents for Aircraft and Aircraft Components Maintenance, Number : AC-145-08.

[43] Correia, V., 2012, O Programa de Manutenção de Aeronave e a sua importância na Gestão da Continuidade da Aeronavegabilidade, dissertação submetida ao Instituto Superior Técnico de Lisboa para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Aeroespacial.

[44] What Are The Differences between Service Bulletins and Airworthiness Directives?, Convigton Aircraft, <http://blog.covingtonaircraft.com/2015/06/09/service-bulletins-and-airworthiness-directives/>

Acedido a 02/08/2021

[45] Specifying engineering order requirements, IBM, <https://www.ibm.com/docs/en/maximo-for-aviation/7.6.5?topic=publications-specifying-engineering-order-requirements>

Acedido a 02/08/2021

[46] Uhlmann, E., Bilz, M., Baumgarten, J., 2013, MRO – Challenge and Chance for Sustainable Enterprises, Procedia CIRP. 11:239 – 244.

[47] Piche, A., Perraud, R., Peres, G., 2015, Prediction by simulation of performances of RFID systems in aeronautic environments, 9th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Lisboa, abril 13 – 17, 2015.

[48] Ceruti, A., Marzocca, P., Liverani, A., Bil, C., 2019, Maintenance in aeronautics in an Industry 4.0 context: The role of Augmented Reality and Additive Manufacturing, Journal of Computational Design and Engineering. 6: 516 – 526.

[49] easyJet signs Skywise Predictive Maintenance agreement with Airbus for its entire fleet, Airbus - <https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2018/03/easyjet-signs-skywise-predictive-maintenance-agreement-with-airb.html>

Acedido a 04/04/2021.

[50] Chen, H.-M.; Kazman, R., Schütz, R., Matthes, F., 2017, How Lufthansa Capitalized on Big Data for Business Model Renovation, MIS Quarterly Executive. 16: 19-34.

[51] Ondemir, O., Gupta, S., 2014, Quality management in product recovery using the Internet of Things: An optimization approach, Computers in Industry. 65: 491 – 504.

[52] Deal, K., 2017, Airlines and MRO to benefit from IoT, prescriptive maintenance, augmented reality in 2017, Intelligent Aerospace – Global Aerospace Technology Network, <https://www.intelligent-aerospace.com/commercial/article/16544560/airlines-and-mro-to-benefit-from-iot-prescriptive-maintenance-augmented-reality-in-2017>

Acedido a 07/04/2021.

[53] Novák, A., Sedláčková, A., Bugaj, M., Kandra, B., Lusiak, T., 2020, Use of Unmanned Aerial Vehicles in Aircraft Maintenance. Transportation Research Procedia. 51: 160–170

[54] Airbus launches advanced indoor inspection drone to reduce aircraft inspection times and enhance report quality, Airbus, <https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2018/04/airbus-launches-advanced-indoor-inspection-drone-to-reduce-aircr.html>

Acedido a 07/04/2021.

[55] Airbus innovation for military aircraft inspection and maintenance, Airbus. - <https://www.airbus.com/newsroom/news/en/2019/05/airbus-innovation-for-military-aircraft-inspection-and-maintenance.html>

Acedido a 07/04/2021.

[56] Rabah, S., Assila, A., Khouri, E., Maier, F., Ababsa, F., Bourny, V., Maier, P., Mérienne, F., 2018, Towards improving the future of manufacturing through digital twin and augmented reality technologies, Procedia Manufacturing. 17:469 – 467.

[57] D'Anniballe, A., Silva, J., Marzocca, P., Ceruti, A., 2020, The role of augmented reality in air accident investigation and practitioner training, Reliability Engineering and System Safety. 204: 107149.

- [58] Cardoso, L., Mariano, F., Zorzal, E., 2020, Mobile augmented reality to support fuselage assembly, *Computers & Industrial Engineering*. 148: 106712
- [59] Porcelli, I., Rapaccini, M., Espíndola, D., Pereira, C., 2013, Technical and Organizational Issues about the Introduction of Augmented Reality in Maintenance and Technical Assistance Services, 11th International Federation of Automatic Control (IFAC) Workshop on Intelligent Manufacturing Systems, São Paulo, Brasil, maio 22-24, 2013.
- [60] Rios, H., González, E., Rodríguez, C., Siller, H., Contero, M., 2013, A Mobile Solution to Enhance Training and Execution of Troubleshooting Techniques of the Engine Air Bleed System on Boeing 737, *Procedia Computer Science* 25: 161 – 170.
- [61] Cardoso, F., Mariano, C., Zorzal, R., 2019, A Survey of Industrial Augmented Reality, *Computers & Industrial Engineering*.
- [62] Eschen, H., Kotter, T., Rodeck, R., Harnisch, M., Schuppstuhl, T., 2017, Augmented and Virtual Reality for Inspection and Maintenance Processes in the Aviation Industry, *Procedia Manufacturing* 19: 156 – 16.
- [63] Konstantidinis, F., Kansizoglou, I., Santavas, N., Mouroutsos, S., Gasteratos, A., 2020, MARMA: A Mobile Augmented Reality Maintenance Assistant for Fast-Track Repair Procedures in the Context of Industry 4.0, *MPDI – Machines*. 8: 88.
- [64] Regenbrecht, H., Baratoff, G., Wilke, W., 2005, Augmented Reality Projects in the Automotive and Aerospace Industries, *IEEE Computer Graphics and Applications*. 25: 48 – 56.
- [65] Piedimonte, P., Ulbo, S., 2018, Applicability of the Mixed Reality to Maintenance and Training Processes of C4I Systems in Italian Air Force, 5th IEEE International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace), Roma, Itália, junho 20 – 22, 2018.
- [66] Nee, A., Ong, S., Chryssolouris, G., Mourtzis, D., 2012, Augmented reality applications in design and manufacturing, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. 61: 657 – 679.

- [67] Marinetti, A., Rajabalinejad, M., Dongen, L., 2017, Shaping the future maintenance operations: reflections on the adoptions of Augmented Reality through problems and opportunities, *Procedia CIRP*. 59: 14 – 17.
- [68] Henderson, S., Feiner, S., 2009, Evaluating the Benefits of Augmented Reality for Task Localization in Maintenance of an Armored Personnel Carrier Turret, 8th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, Orlando, Florida, USA, outubro 19 – 22, 2009.
- [69] Geng, J., Song, X., Pan, Y., Tang, J., Liu, Y., Zhao, D., Ma, Y., 2020, A systematic design method of adaptive augmented reality work instruction for complex industrial operations, *Computers in Industry*. 119: 103229.
- [70] Sanguini, R., Sesana, M., 2015, AR in support to helicopter maintenance activities, experimentation results, EuroVR 2015 Conference, Campus Politecnico Milano, Lecco, Itália, 2015.
- [71] Mourtzis, D., Zogopoulos, V., Vlachou, E., 2017, Augmented reality application to support remote maintenance as a service in the Robotics industry, *Procedia CIRP*. 63: 46 – 51.
- [72] Lima, J., 2010, Realidade Aumentada Sem Marcadores Multiplataforma Utilizando Rastreamento Baseado em Modelo, dissertação submetida à Universidade Federal de Pernambuco para a obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação no Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco.
- [73] Ababsa, F., 2020, Augmented Reality Application in Manufacturing Industry: Maintenance and Non-destructive Testing (NDT) Use Cases, 7th International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics, Lecce, Itália, setembro, 2020.
- [74] Bordegoni, M., Ferrise, F., Carrabba, E., Donato, M., Fiorentino, M., Uva, A., 2014, An application based on Augmented Reality and mobile technology to support remote maintenance, Conference and Exhibition of the European Association of Virtual and Augmented Reality, Universidade de Bremen, Alemanha, dezembro, 2014.
- [75] Wolfartsberger, J., Zenisek, J., Wild, N., 2020, Data-Driven Maintenance: Combining Predictive Maintenance and Mixed Reality-supported Remote Assistance, *Procedia Manufacturing*. 45: 307 – 312.

[76] Masoni, R., Ferrise, F., Bordegoni, M., Gattulo, M., Uva, A., Fiorentino, M., Carraba, E., Donato, M., 2017, Supporting remote maintenance in industry 4.0 through augmented reality, *Procedia Manufacturing*. 11: 1296 – 1302.

[77] About EASA, EASA - <https://www.easa.europa.eu/the-agency/faqs/about-easa>

Acedido a 11/07/2021.

[78] EASA Regulations – Part 147/66, Baines Simmons-

<https://www.bainessimmons.com/regulatory-compliance/easa-regulations/part-147/>

Acedido a 11/07/2021.

[79] Hanzevacki, M., 2014. New training methods and new teaching technologies. NPA

2014 – 22. Acedido em junho 2021, no Web site da: Agência Europeia para a Segurança da Aviação (EASA): [https://www.easa.europa.eu/document-library/notices-of-](https://www.easa.europa.eu/document-library/notices-of-proposed-amendment/npa-2014-22)

[proposed-amendment/npa-2014-22](https://www.easa.europa.eu/document-library/notices-of-proposed-amendment/npa-2014-22)

[80] Loizeau, Q., Danglade, F., Ababsa, F., Merienne, F., 2019, Evaluating Added Value of Augmented Reality to Assist Aeronautical Maintenance Workers - Experimentation on On-Field Use Case, 16th EuroVR International Conference - EuroVR 2019, Tallinn, Estónia, outubro 23, 2019, pp: 1-19.

[81] Rubio, S., Diaz, E., Martin, J., Puente, J., 2004, Evaluation of Subjective Mental Workload: A Comparison of SWAT, NASA-TLX, and Workload Profile Methods, *Applied Psychology*. 53: 61 – 86.

[82] Brooke, J., 1995, SUS - A quick and dirty usability scale, Redhatch Consulting Ltd., Reino Unido.

[83] Sanfran Landing Systems, Sanfran Group, <https://www.safran-group.com/companies/safran-landing-systems>

Acedido a 28/05/2021

[84] Crescenzo, F., Fantini, M., Persiani, F., Stefano, L., Azzari, P., Salti, S., 2011, Augmented Reality for Aircraft Maintenance Training and Operations Support, *IEEE Computer Graphics and Applications*. 31: 96 – 101.

[85] Serván, J., Mas, F., Menéndez, J., Rios, J., 2011, Using Augmented Reality in AIRBUS A400M Shop Floor Assembly Work Instructions, *The 4th Manufacturing*

Engineering Society International Conference (MESIC 2011), Cádiz, Espanha, setembro, 2011.

[86] Mas, F., Menéndez, L., Serván, J., Gómez, J., Ríos, J., 2012, Aerospace Industrial Digital Mock-up Exploitation To Generate Assembly Shopfloor Documentation, 29th International Manufacturing Conference (IMC29), Belfast, United Kingdom, August, 2012.

[87] Did you Know: MiRA, Airbus' augmented reality application, is made available by Testia, Testia An Airbus Company, <https://www.testia.com/news/mira-airbus-available-through-testia-smartmixedreality/>

Acedido a 21/07/2021

[88] Frigo, M., Silva, E., Barbosa, G., 2016, Augmented Reality in Aerospace Manufacturing: A Review, Journal of Industrial and Intelligent Information. 4.

[89] Airbus Group Unit Testia to Supply Augmented Reality System to Spirit AeroSystems, Airbus, <https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2016/04/Airbus-Group-Unit-Testia-to-Supply-To-Spirit-AeroSystems.html>

Acedido a 21/07/2021

[90] Virtual reality with real benefits, Airbus, <https://www.airbus.com/newsroom/news/en/2017/09/virtual-reality-with-benefits.html>

Acedido a 21/07/2021

[91] Airbus and Spanish Air Force to develop drone and augmented reality inspections for military aircraft, Airbus, <https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2019/05/airbus-and-spanish-air-force-to-develop-drone-and-augmented-reality-inspections-for-military-aircraft.html>

Acedido a 21/07/2021.

[92] Boeing Tests Augmented Reality in the Factory, Boeing, <https://www.boeing.com/features/2018/01/augmented-reality-01-18.page>

Acedido a 21/07/2021.

[93] September – October 2020 Aircraft IT MRO V9.3, 2020, 85.

Anexos

Anexo 1: EO da inspeção dos furos dos encaixes de stop da porta posterior de passageiros entre o FR66 e FR68

AD	Nr. 2016-0238 LIMIT
-----------	-------------------------------

Subject FUSELAGE - REAR FUSELAGE - INSPECTION OF THE DOOR STOP FITTING HOLES AT FR66 AND FR68 LHS

Orig. Docs A320-53-1288-R01
AD 2016-0238

E.O. Type Repetitive Inspection

Produced By:	A. Mota (MA/EQ/EC)
Contact:	Ricardo Maximino tel. [+351] 21841 (3) 6164 fax [+351] 218416164 E-mail: rmaximino@tap.pt

COMPLIANCE STATEMENT				
This E.O. has been complied with.				
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="border: none; width: 70%; text-align: center;">_____</td> <td style="border: none; width: 30%; text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td style="border: none; text-align: center;"><small>B1,B2 Support Category C or Category C (BM) B1 or B2 Category (LM)</small></td> <td style="border: none; text-align: center;"><small>Date</small></td> </tr> </table>	_____	_____	<small>B1,B2 Support Category C or Category C (BM) B1 or B2 Category (LM)</small>	<small>Date</small>
_____	_____			
<small>B1,B2 Support Category C or Category C (BM) B1 or B2 Category (LM)</small>	<small>Date</small>			

Date	Reason
2016/Mar/02	<p>During accomplishment of Airworthiness Limited Item (ALI) tasks 534129 and 534130 cracks at the holes for the door stop fitting fasteners in FR66 and FR68 LH side have been reported from inservice.</p> <p>To prevent this area of major repairs a new recommended threshold with reduced Flight Cycles (FC) is defined through this Inspection Engineering Order.</p> <p>This Engineering Order details the rototest inspection of the fastener holes in the airframe structure for the door stop fittings installation in Frame (FR) FR66 and FR68 LH side.</p> <p>This Engineering Order provides for an early inspection a recommended threshold, to prevent from heavy repairs.</p>

Rev	Date	Reason for Revision
07	04/Dec/2019	Revision issued to add necessary access opening and closing steps. Manpower updated.
06	16/Apr/2018	Revision issued to include written Engineering Instructions (if applicable).
05	23/Aug/2017	Revision issued to include CS-TNY in the effectivity.
04	17/Apr/2017	Revision issued to include CS-TJH in the effectivity.
03	2017/Feb/08	Revision issued in order to include a "NOTE TO MA/EQ/EC" in step 2.1, when an existing previous repair is found.
02	2016/Dec/12	Revision issued due to the fact that AD 2016-0238 superseded AD 2016-0015. EO updated IAW A320-53-1288-R01.
01	2016/Oct/21	Revision issued to update Step 3.6

1. INFORMATION

Effectivity	REGISTRY	MSN	REGISTRY	MSN	REGISTRY	MSN
		CS-TTA	0750	CS-TTS	1765	CS-TNU	4106
	CS-TTB	0755	CS-TTU	1668	CS-TNV	4145
	CS-TTC	0763	CS-TTV	1718	CS-TNW	2792
	CS-TTD	0790			CS-TNX	2822
	CS-TTE	0821	CS-TMW	1667	CS-TNY	4742
	CS-TTF	0837	CS-TNG	0945	CS-TQD	0870
	CS-TTG	0906	CS-TNH	0960		
	CS-TTH	0917	CS-TNI	0982	CS-TJE	1307
	CS-TTI	0933	CS-TNJ	1181	CS-TJF	1399
	CS-TTJ	0979	CS-TNK	1206	CS-TJG	1713
	CS-TTK	1034	CS-TNL	1231	CS-TJH	2270
	CS-TTL	1100	CS-TNM	1799		
	CS-TTM	1106	CS-TNN	1816	CS-TKP	2011
	CS-TTN	1120	CS-TNP	2178	CS-TKK	2390
	CS-TTO	1127	CS-TNQ	3769	CS-TKQ	2325
	CS-TTP	1165	CS-TNR	3883		
	CS-TTQ	0629	CS-TNS	4021		
	CS-TTR	1756	CS-TNT	4095		

Description	
- Remove the Fasteners of the Stop Fittings at Aft Passenger/Crew Door LH Side	
- Do a Special Detailed Rototest Inspection of the Door Stop Fitting Holes at Aft Passenger/Crew Door LH Side	
- Install the Fasteners in the Stop Fittings Holes at Aft Passenger/Crew Door LH Side	
- Install the Surface Protection on the Stop Fitting Fasteners at Aft Passenger/Crew Door LH Side	

Affected Items	NIL
----------------	-----

R Manpower		
Get Access		3.50
Remove Lavatory D		7.50
Remove the Fasteners of the Stop Fittings at Aft Passenger/Crew Door LH Side		5.00
Do a Special Detailed Rototest Inspection of the Door Stop Fitting Holes at Aft Passenger/Crew Door LH Side		1.00
Install the Fasteners in the Stop Fittings Holes at Aft Passenger/Crew Door LH Side		1.00
Install the Surface Protection on the Stop Fitting Fasteners at Aft Passenger/Crew Door LH Side		1.00
Install Lavatory D		7.50
Tests		1.00
Close-up		3.50
Total Manhours		31.00
Elapsed Time (hours)		21.00

Planning Information

A/C	First Opportunity: Threshold	Interval
A319	34400 FC / NEXT C CHECK*	7500 FC
CS-TTR; CS-TTS; CS-TTU; CS-TTV	33500 FC / NEXT C CHECK*	7200 FC
A320	40900 FC / NEXT C CHECK*	7800 FC
A321 (except CS-TJH)	Before 30/Nov/2017/ NEXT C CHECK*	13600 FC
CS-TJH	24400 FC / NEXT C CHECK*	13600 FC

***NOTE:** Whichever occurs first

NOTE: For aircrafts that are already accomplishing this EO Keep on launching it taking into account its last accomplishment and periodicity mentioned above.

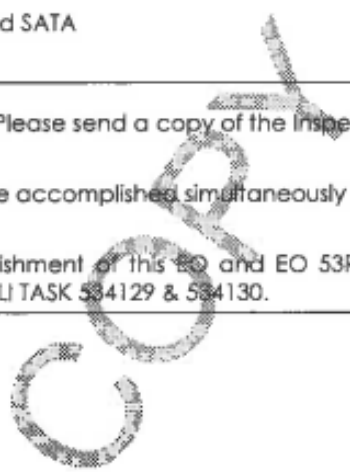
Referred Tasks NIL

Accountability Information Technical: TAP and SATA

Remarks **NOTE TO MA/PC:** Please send a copy of the Inspection Report to MA/EQ/EC.

1 – This EO must be accomplished simultaneously with EO 53R1771/A320FAM.

2 – The accomplishment of this EO and EO 53R1771/A320FAM cancels the inspection requirements of ALI TASK 534129 & 534130.



2. MATERIAL INFORMATION

Components – Manufacturer Supplied

NIL

Consumable Materials – Operator Supplied

Consumable CMLC01

Description	Refer (CML) Mat. No.	Qty per A/C
Varnish-Electrical Bonding Structure	04TMB2	As Required
Polysulfide Sealant-General Purpose Interfay	06AAC1	As Required
Non Aqueous Cleaner-General	08BAA9	As Required
Corrosion Preventive Compound-Water Displacing	12ADB1	As Required
Textile-Lint Free Cotton	14SBA1	As Required

Components – Operator Supplied

Component COMPC01

Item	New Part No.	Qty	Keyword
2	NAS1304-6	56	BOLT
4	NAS1726-4E	56	NUT

Parts to be Re-Identified

NIL

Parts Removed From The Aircraft

NIL

Tooling

NIL

COPY

3. ACCOMPLISHMENT INSTRUCTIONS

A. STANDARD PRACTICES

WARNING: MAKE SURE THAT YOU OBEY ALL THE WARNINGS AND ALL THE CAUTIONS INCLUDED IN THE REFERENCED PROCEDURES.

CAUTION: ALWAYS OBEY THE PRECAUTIONS THAT FOLLOW TO KEEP ELECTRICAL WIRING IN A SATISFACTORY CONDITION (ELECTRICALLY AND MECHANICALLY SERVICEABLE). WHEN YOU DO MAINTENANCE WORK, REPAIRS OR MODIFICATIONS, ALWAYS KEEP ELECTRICAL WIRING, COMPONENTS AND THE WORK AREA AS CLEAN AS POSSIBLE, TO DO THIS:

- **PUT PROTECTION, SUCH AS PLASTIC SHEETING, CLOTHS, ETC; AS NECESSARY ON WIRING AND COMPONENTS.**
 - **REGULARLY REMOVE ALL SHAVINGS, UNWANTED MATERIAL AND OTHER CONTAMINATION.**
- THESE PRECAUTIONS WILL DECREASE THE RISK OF CONTAMINATION AND DAMAGE TO THE ELECTRICAL WIRING INSTALLATION.**

IF THERE IS CONTAMINATION REFER TO ESPM 20-55-00.

1. For material specifications (Mat. No.) given in this EO, refer to the Consumable Material List (CML).
2. For the Frame (FR) identification, refer to AMM 06-31-53, Page Block 001.
3. For the identification of zones, refer to AMM 06-20-00, Page Block 001.
4. Do the crack repair in accordance with SRM 53-41-12.
5. For the rototest inspection, refer to NTM 53-41-29 and NTM 53-41-30.
6. Remove and install fasteners in accordance with SRM 51-42-00.
7. Apply sealant in accordance with SRM 51-24-00.
8. Obtain alternative and substitute fasteners in accordance with SRM 51-43-00.
9. Apply special protection in accordance with SRM 51-23-12.
10. Apply protective finish in accordance with SRM 51-75-12.
11. If alternative and substitute fasteners have to be used, you must make sure that the associated nut/collar are compatible in accordance with SRM 51-40-00 "Mating Part" column.
12. If the length of any fastener specified in this Engineering Order does not meet installation standards given in SRM Chapter 51, then a fastener of the same specification, or an approved substitute, with a length which meets the installation standards given in SRM Chapter 51 may be used. In addition, washers may be installed for fastener grip length in accordance with SRM Chapter 51.

B. PREPARATION

General (the actions referred below are covered by the "Access Opening" Job Card):

NOTE: The items given in this note shall be considered as the basic Aircraft configuration before you start a maintenance task:

1. Aircraft on the ground resting on landing gear (the ground safety locks and the wheel chocks are in position on the landing gear)
2. Engine shut down, thrust reversers closed and locked - Aircraft in clean configuration
3. Parking brake applied
4. Aircraft electrical network de-energized
5. Hydraulic systems depressurized
6. Access to the cockpit and cabin is available
7. All circuit breakers are in closed position
8. All controls in NORM, AUTO or OFF position.
9. Make sure that the aircraft is electrically grounded, refer to AMM Task 12-34-24-869-002.
10. Put access platforms in the position at the doors 832 and 842.
11. Open the Aft passenger/crew doors 832 and 842, refer to AMM Task 52-10-00-010-001 and AMM 06-41-52, Page Block 001.
12. For access do the Job Set-up procedure as specified in the Special Detailed Inspection of the Door Stop Fittings Holes at FR66 and FR68, refer to AMM Task 53-41-00-220-812 and AMM Task 53-41-00-220-813.

C. INSPECTION

- R 1. Check if the Door Stop Fitting holes have already been repaired/modified – Check if fasteners are NAS6604-9Y or any alternative in accordance with SRM.
Fill the inspection report, Fig. A-SACAA Sheet 02, with the results.

IMPORTANT: (1) A NON-REPAIRED and/or a NON-MODIFIED area of a door stop fitting attachment is an area where ALL holes possess a 1/4" STD diameter.
(2) A repaired and/or a modified area is an area excluded from definition (1).

EXEC **XXX**

- R 1.1. For repaired/modified areas, in case of any doubt please contact Structures Engineering Department.

NOTE TO MA/EQ/EC: Please check the threshold of the existing previous repairs in associated SDR's and/or DDF's in order to decide if the Rototest inspection must be done at this opportunity.

EXEC **DII**

- R 1.1.1. In case of repaired/modified areas, contact with Structures Engineering Department, perform the following instructions:

(Signature) _____
MA/EQ/EC

NOTE TO MA/EQ/EC:

Please check the threshold of the existing previous repairs in associated SDR's and/or DDF's to decide if the Rototest inspection must be done at this opportunity. In case of NO actual action needed, re-install the fasteners and restore surface protection as per SRM applicable TASK or RDAS instructions.

EXEC **DII**

Access Removal

- R 2. Remove Lavatory D.
Refer to AMM 25-43-41.

EXEC **XXX**

2. Remove the Fasteners of the Stop Fittings at Aft Passenger/Crew Door LH Side

2.1. Clean the surface of the fasteners with:

Textile-Lint Free Cotton	(14SBA1)	as required
made moist with		
Non Aqueous Cleaner-General	(08BAA9)	as required

Refer to Fig. A-SBAAA Sheet 01

XXX
EXEC

2.2. Remove the fasteners:

Refer to Fig. A-SBAAA Sheet 01

In accordance with SRM 51-42-00

56	Bolt-Hexagon Head	NAS1304-6	Item (1)	Discard
56	Nut	NAS1726-4E	Item (3)	Discard

NOTE: In case of any repaired/modified areas, the fasteners may differ to the indicated above.

XXX
EXEC

3. Do a Special Detailed Rototest Inspection of the Door Stop Fitting Holes at Aft Passenger/Crew Door LH Side

3.1. Do a Special Detailed Rototest Inspection of the Door Stop Fitting Holes at FR66:

Refer to NTM 53-41-29

Refer to AMM Task 53-41-00-220-812 and AMM Task 53-41-00-220-813

Refer to Fig. A-SBAAA Sheet 01

XXX
NDT

3.2. Do a Special Detailed Rototest Inspection of the Door Stop Fitting Holes at FR68:

Refer to NTM 53-41-30

Refer to AMM Task 53-41-00-220-812 and AMM Task 53-41-00-220-813

Refer to Fig. A-SBAAA Sheet 01

XXX
NDT

3.3. Fill the inspection report, Fig. A-SACAA Sheet 01 with the results.

XXX
NDT

3.4. If crack is found:

Contact Structure Eng. Department.

NOTE: A repair I.A.W. SRM 53-41-12 can be performed.

XXX
EXEC

3.5. For NOT repaired/modified areas and if no crack is found, modify the door stop fitting holes as per EO 53M1774/A320 FAM.

IMPORTANT: A repaired/modified area of a door stop fitting attachment is an area with any hole previously repaired/modified or cracked.

NOTE: For stop fitting holes where EO 53M1774 is applied, proceed to **Chapter D. Tests**, otherwise, continue to next step.

XXX

EXEC

4. Install the Fasteners in the Stop Fittings Holes at Aft Passenger/Crew Door LH Side

NOTE: In case of any modified areas as per EO 53M1774/A320 FAM, this step is not applicable.

4.1. Install the fasteners:

Refer to Fig. A-SBAAA Sheet 01

In accordance with SRM 51-42-00

56	Bolt-Hexagon Head	NAS1304-6	Item 2
56	Nut	NAS1726-4E	Item 4

XXX

EXEC

5. Install the Surface Protection on the Stop Fitting Fasteners at Aft Passenger/Crew Door LH Side

5.1. Apply sealant to the fasteners:

Refer to Fig. A-SBAAA Sheet 02

In accordance with SRM 51-24-00

Polysulfide Sealant-General Purpose Interfay 06AAC1 As required

XXX

EXEC

5.2. Apply protective finish to the fasteners:

Refer to Fig. A-SBAAA Sheet 02

In accordance with SRM 51-75-12

Varnish-Electrical Bonding Structure 04TMB2 As required

XXX

EXEC

5.3. Apply special protection to the fasteners:

Refer to Fig. A-SBAAA Sheet 02

In accordance with SRM 51-23-12

Corrosion Preventive Compound-Water Displacing & 12ADB1 As required

XXX

EXEC

R **6. Install Lavatory D.**
Refer to AMM 25-43-41.

XXX

EXEC

D. TESTS

1. After closing the AFT passenger/crew door check the clearance of the door stops and if necessary readjust them, refer to AMM Task 52-13-00-820-001.

EXEC

DII

E. CLOSE-UP

Specific

1. Make sure that the work areas are clean and clear of tools and other items of equipment.

EXEC

DII

2. Do the Close-up procedure as specified in the Special Detailed Inspection of the Door Stop Fittings Holes at FR66 and FR68, refer to AMM Task 53-41-00-220-812 and AMM Task 53-41-00-220-813.

EXEC

DII

General (the actions referred below are covered by the "Access Closing" Job Card):

3. Disconnect the aircraft of electrical ground connection, (Ref. AMM 12-34-24, P. Block 201)
4. Close the Aft passenger/crew doors 832 and 842, refer to AMM Task 52-10-00-410-001.
5. Remove the access platform (s).
6. Put the aircraft back to its initial configuration.

4. APPENDICES

****CONF ALL**

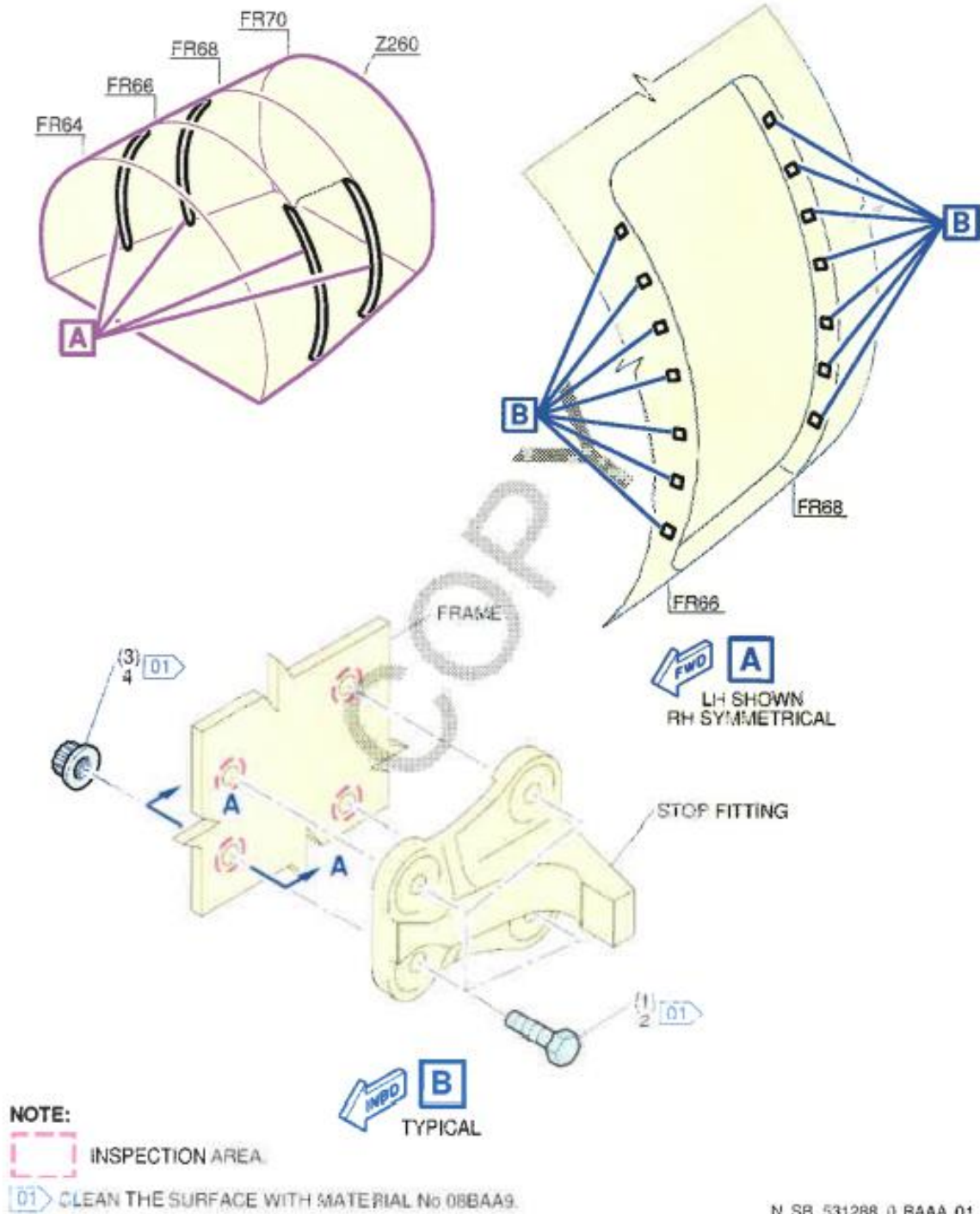
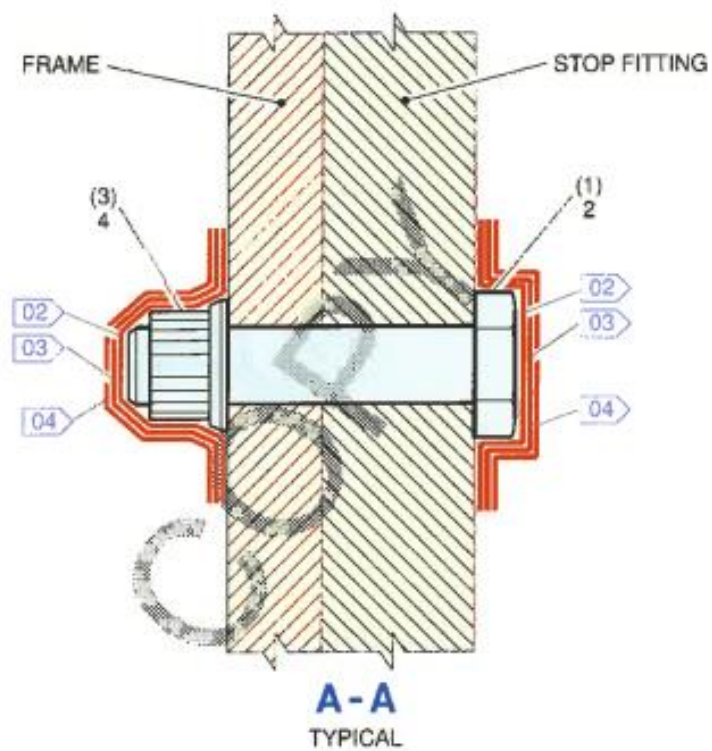


Figure A-SBAAA - Sheet 01
Inspection of the Stop Fitting Holes at FR66 and FR68 (LH and RH Sides)

****CONF ALL**



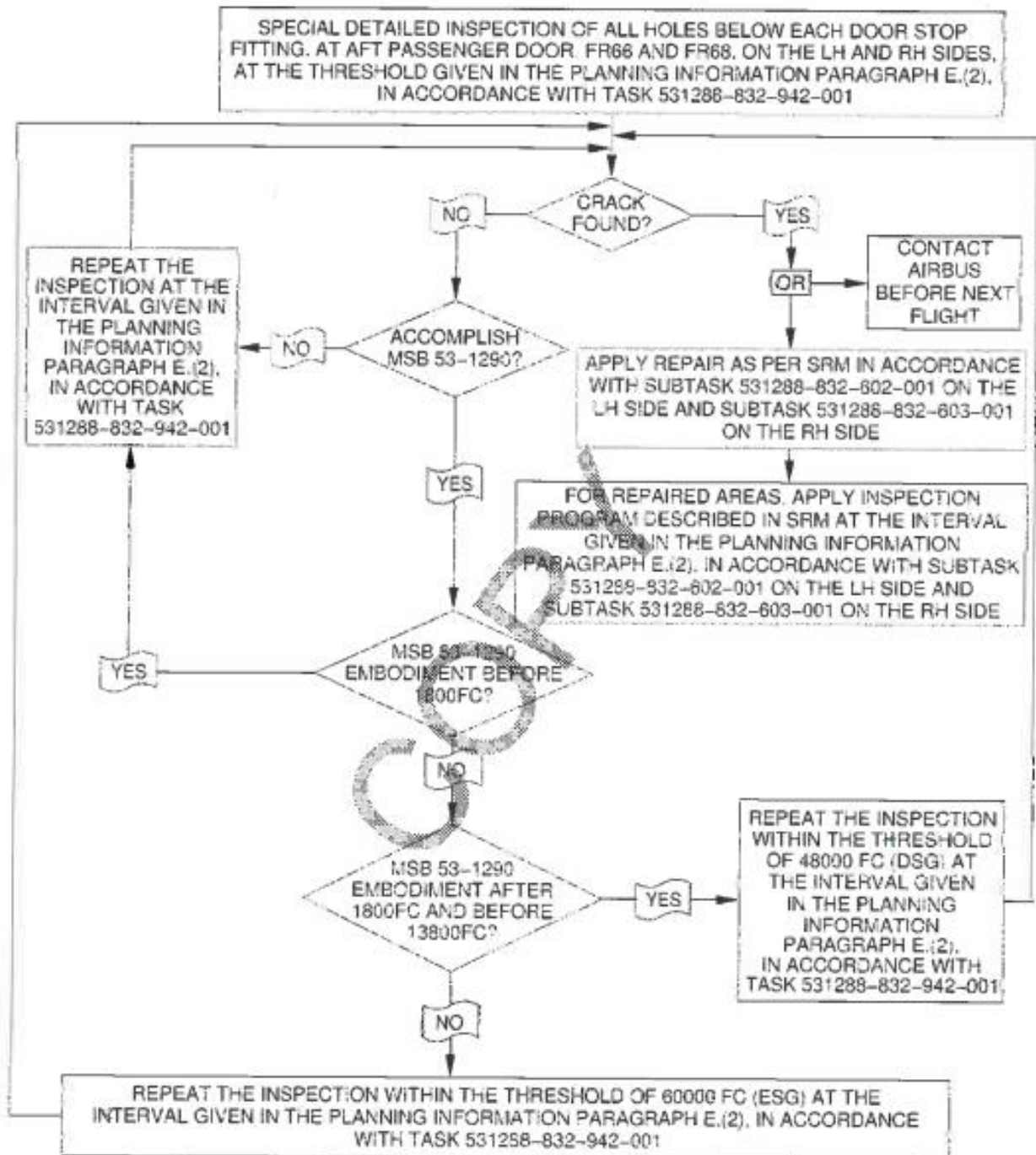
NOTE:

- (02) APPLY SEALANT MATERIAL No 06AAC1.
- (03) APPLY MATERIAL No 04TMB2.
- (04) PROTECT WITH MATERIAL No 12ADB1.

N SB 531288 0 BAAA 02 02

Figure A-SBAAA - Sheet 02
Inspection of the Stop Fitting Holes at FR66 and FR68 (LH and RH Sides)

****CONF ALL**



NOTE:
 THE PURPOSE OF FLOWCHARTS IS TO SUPPLEMENT THE INFORMATION GIVEN IN THE PROCEDURE AND COMPLIANCE PARAGRAPHS AND NOT TO SERVE AS THE PRIMARY SOURCE FOR TASKS OR COMPLIANCE TIMES GIVEN IN THIS SERVICE BULLETIN.

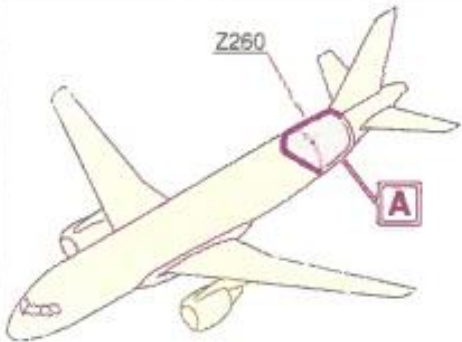
N SB 531288 0 FAAM 01 03

Figure A-SFAAA - Sheet 01

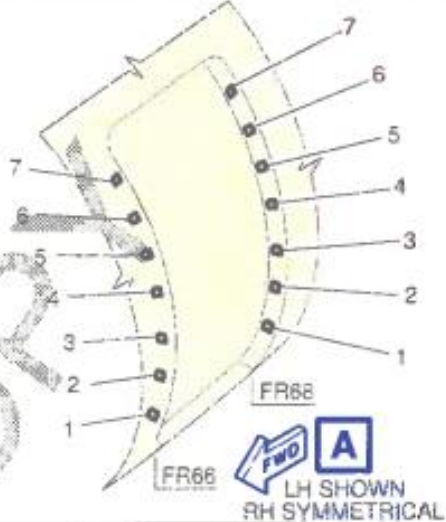
Flowchart

****CONF ALL**

INSPECTION REPORT	
SERVICE BULLETIN No. : A320-53-1288	UPLOAD THIS INSPECTION REPORT IN ACCORDANCE WITH ISI 00.00.00179 USING THE ONLINE REPORTING APPLICATION IN AIRBUSWORLD
A/C MSN :	
FLIGHT CYCLES :	
FLIGHT HOURS :	
DATE OF INSPECTION :	
INSPECTION METHOD : <input type="checkbox"/> SPECIAL DETAILED INSPECTION	



Z260
A



FR68
FR66
FWD
LH SHOWN
RH SYMMETRICAL

FRAMES	STOP FITTING No	AFT PAX DCOR LH CRACK FOUND?	
		YES	NO
FR66	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FR68	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

N SB 531288 0 ACAA 01 00

Figure A-SACAA - Sheet 01
Inspection Report

****CONF ALL**

INSPECTION REPORT																																																									
SERVICE BULLETIN No. : A320-53-1288	UPLOAD THIS INSPECTION REPORT IN ACCORDANCE WITH ISI 00.00.00179 USING THE ONLINE REPORTING APPLICATION IN AIRBUSWORLD																																																								
A/C MSN :																																																									
FLIGHT CYCLES :																																																									
FLIGHT HOURS :																																																									
DATE OF INSPECTION :																																																									
INSPECTION METHOD : <input type="checkbox"/> SPECIAL DETAILED INSPECTION																																																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">FRAME</th> <th rowspan="2">FITTING No</th> <th colspan="2">AFT PAX DOOR</th> </tr> <tr> <th>LH</th> <th>REPAIR FOUND</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>YES</th> <th>NO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="7">FR66</td> <td>1</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td rowspan="7">FR68</td> <td>1</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table>				FRAME	FITTING No	AFT PAX DOOR		LH	REPAIR FOUND			YES	NO	FR66	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	FR68	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FRAME	FITTING No	AFT PAX DOOR																																																							
		LH	REPAIR FOUND																																																						
		YES	NO																																																						
FR66	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																						
	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																						
	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																						
	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																						
	5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																						
	6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																						
	7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																						
FR68	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																						
	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																						
	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																						
	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																						
	5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																						
	6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																						
	7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																						

N 53 531288 0 ACAA 01 00

Figure A-SACAA - Sheet 02
Inspection Report

5. SIGNIFICANT ITEMS REPORTING

Technical Remarks:

COPY

Please return a copy of this section to the **Contact** indicated on the first page of this EO.

Anexo 2: Respostas inquérito Caso 1

Sujeito 1

Tarefas	Valor Método Ponderação
<i>Get Access</i>	0,1
<i>Remove Lavatory D</i>	0,25
<i>Remove the Fasteners of the Stop Fittings Aft Passenger/Crew Door LH Side</i>	0,9
<i>Do a Special Detailed Rototest Inspection of the Door Stop Fitting Holes at Aft Passenger/Crew Door LH Side</i>	0,75
<i>Install the Fasteners in the Stop Fittings Holes at Aft Passenger/Crew Door LH Side</i>	0,75
<i>Install the Surface Protection on the Stop Fitting Fasteners at Aft Passenger/Crew Door LH Side</i>	0,75
<i>Install Lavatory D</i>	0,25
<i>Tests</i>	0,25
<i>Close-up</i>	0,1

Sujeito 2

Tarefas	Valor Método Ponderação
<i>Get Access</i>	0,25
<i>Remove Lavatory D</i>	0,75
<i>Remove the Fasteners of the Stop Fittings Aft Passenger/Crew Door LH Side</i>	0,9
<i>Do a Special Detailed Rototest Inspection of the Door Stop Fitting Holes at Aft Passenger/Crew Door LH Side</i>	0,75
<i>Install the Fasteners in the Stop Fittings Holes at Aft Passenger/Crew Door LH Side</i>	0,9
<i>Install the Surface Protection on the Stop Fitting Fasteners at Aft Passenger/Crew Door LH Side</i>	0,1
<i>Install Lavatory D</i>	0,75
<i>Tests</i>	0,5
<i>Close-up</i>	0,5

Sujeito 3

Tarefas	Valor Método Ponderação
<i>Get Access</i>	0,1
<i>Remove Lavatory D</i>	0,5
<i>Remove the Fasteners of the Stop Fittings Aft Passenger/Crew Door LH Side</i>	0,75
<i>Do a Special Detailed Rototest Inspection of the Door Stop Fitting Holes at Aft Passenger/Crew Door LH Side</i>	0,5
<i>Install the Fasteners in the Stop Fittings Holes at Aft Passenger/Crew Door LH Side</i>	1
<i>Install the Surface Protection on the Stop Fitting Fasteners at Aft Passenger/Crew Door LH Side</i>	0,9
<i>Install Lavatory D</i>	0,5
<i>Tests</i>	0
<i>Close-up</i>	0,1

Sujeito 4

Tarefas	Valor Método Ponderação
<i>Get Access</i>	0,1
<i>Remove Lavatory D</i>	0,9
<i>Remove the Fasteners of the Stop Fittings Aft Passenger/Crew Door LH Side</i>	0,9
<i>Do a Special Detailed Rototest Inspection of the Door Stop Fitting Holes at Aft Passenger/Crew Door LH Side</i>	0
<i>Install the Fasteners in the Stop Fittings Holes at Aft Passenger/Crew Door LH Side</i>	0,75
<i>Install the Surface Protection on the Stop Fitting Fasteners at Aft Passenger/Crew Door LH Side</i>	0
<i>Install Lavatory D</i>	0,9
<i>Tests</i>	0
<i>Close-up</i>	0

Sujeito 5

Tarefas	Valor Método Ponderação
<i>Get Access</i>	0,1
<i>Remove Lavatory D</i>	0,75
<i>Remove the Fasteners of the Stop Fittings Aft Passenger/Crew Door LH Side</i>	0,9
<i>Do a Special Detailed Rototest Inspection of the Door Stop Fitting Holes at Aft Passenger/Crew Door LH Side</i>	0,25
<i>Install the Fasteners in the Stop Fittings Holes at Aft Passenger/Crew Door LH Side</i>	1
<i>Install the Surface Protection on the Stop Fitting Fasteners at Aft Passenger/Crew Door LH Side</i>	0,1
<i>Install Lavatory D</i>	0,75
<i>Tests</i>	0
<i>Close-up</i>	0,1

Anexo 3: Respostas inquérito Caso 2

Sujeito 1

Categorias	Método da Ponderação
GVI (Inspeção Visual Genérica)	0.9
DISC (Descarte)	1
F/C (Verificação Funcional)	0.75
OP/C (Verificação Operacional)	0.75
C/K (Operational Check)	1
FNC (Funcional Check)	0.75
REPLACE (Substituição)	1
LUB (Lubrificação)	0.75
V/CK (Verificação Visual)	1
CHECK (Verificação)	1
DRAIN (Drenagem)	0.5
SVC (Servicing)	1
CLN (Clean)	0.5
ACC (Acessos)	1
RTR (Work Order)	1
NR (Não Rotina)	.....

Sujeito 2

categorias	Método da Ponderação
GVI (Inspeção Visual Genérica)	0.9
DISC (Descarte)	0.9
F/C (Verificação Funcional)	1
OP/C (Verificação Operacional)	0.9
C/K (Operational Check)	1
FNC (Funcional Check)	0.9
REPLACE (Substituição)	0.75
LUB (Lubrificação)	0.9
V/CK (Verificação Visual)	1
CHECK (Verificação)	1
DRAIN (Drenagem)	0.9
SVC (Servicing)	0.9
CLN (Clean)	0.75
ACC (Acessos)	0.75
RTR (Work Order)	0.9
NR (Não Rotina)	.....

categorias	Método da Ponderação
GVI (Inspeção Visual Genérica)	0.9
DISC (Descarte)	1
F/C (Verificação Funcional)	0.75
OP/C (Verificação Operacional)	0.9
C/K (Operational Check)	0.9
FNC (Funcional Check)	0.9
REPLACE (Substituição)	0.75
LUB (Lubrificação)	0.9
V/CK (Verificação Visual)	1
CHECK (Verificação)	1
DRAIN (Drenagem)	0.5
SVC (Servicing)	1
CLN (Clean)	0.75
ACC (Acessos)	0.9
RTR (Work Order)	0.9
NR (Não Rotina)	.....

Sujeito 4

Categorias	Método da Ponderação
GVI (Inspeção Visual Genérica)	1
DISC (Descarte)	0.5
F/C (Verificação Funcional)	1
OP/C (Verificação Operacional)	1
C/K (Operational Check)	0.9
FNC (Funcional Check)	0.9
REPLACE (Substituição)	0.75
LUB (Lubrificação)	0.75
V/CK (Verificação Visual)	0.9
CHECK (Verificação)	0.9
DRAIN (Drenagem)	0.9
SVC (Servicing)	1
CLN (Clean)	0.5
ACC (Acessos)	0.75
RTR (Work Order)	0.75
NR (Não Rotina)	.....

Sujeito 5

Categorias	Método da Ponderação
GVI (Inspeção Visual Genérica)	0.75
DISC (Descarte)	0.5
F/C (Verificação Funcional)	0.25
OP/C (Verificação Operacional)	0.25
C/K (Operational Check)	0.5
FNC (Funcional Check)	0.25
REPLACE (Substituição)	0.9
LUB (Lubrificação)	0
V/CK (Verificação Visual)	0.75
CHECK (Verificação)	0.5
DRAIN (Drenagem)	0
SVC (Servicing)	0
CLN (Clean)	0
ACC (Acessos)	0.25
RTR (Work Order)	0
NR (Não Rotina)	.....

Anexo 4: Cálculos efetuados

Anexo 5.1 Cálculos Caso 1

Tarefas	Manhours	Lógica Fuzzy para tarefas					Média	Valor tabelado
		Sujeito 1	Sujeito 2	Sujeito 3	Sujeito 4	Sujeito 5		
Get Access	3,5	0,1	0,25	0,1	0,1	0,1	0,13	0,1
Remove Lavatory D	7,5	0,25	0,75	0,5	0,9	0,75	0,63	0,75
Remove the Fasteners of the Stop Fittings Aft Passenger/Crew Door LH Side	5	0,9	0,9	0,75	0,9	0,9	0,87	0,9
Do a Special Detailed Rototest Inspection of the Door Stop Fitting Holes at Aft Passenger/Crew Door LH Side	1	0,75	0,75	0,5	0	0,25	0,45	0,5
Install the Fasteners in the Stop Fittings Holes at Aft Passenger/Crew Door LH Side	1	0,75	0,9	1	0,75	1	0,88	0,9
Install the Surface Protection on the Stop Fitting Fasteners at Aft Passenger/Crew Door LH Side	1	0,75	0,1	0,9	0	0,1	0,37	0,25
Install Lavatory D	7,5	0,25	0,75	0,5	0,9	0,75	0,63	0,75
Tests	1	0,25	0,5	0	0	0	0,15	0,1
Close-up	3,5	0,1	0,5	0,1	0	0,1	0,16	0,1
Total Manhours	31							

Tarefas	Manhours	L. Fuzzy	Relação Poupança/L.Fuzzy	Manhours otimizado
Get Access	3,5	0,1	0,08	3,22
Remove Lavatory D	7,5	0,75	0,6	3
Remove the Fasteners of the Stop Fittings Aft Passenger/Crew Door LH Side	5	0,9	0,72	1,4
Do a Special Detailed Rototest Inspection of the Door Stop Fitting Holes at Aft Passenger/Crew Door LH Side	1	0,5	0,4	0,6
Install the Fasteners in the Stop Fittings Holes at Aft Passenger/Crew Door LH Side	1	0,9	0,72	0,28
Install the Surface Protection on the Stop Fitting Fasteners at Aft Passenger/Crew Door LH Side	1	0,25	0,2	0,8
Install Lavatory D	7,5	0,75	0,6	3
Tests	1	0,1	0,08	0,92
Close-up	3,5	0,1	0,08	3,22
Total Manhours	31			16,44

Poupança do caso de estudo	0,8	80%
	0,2	20%

Tempo	16h e 26 min
Diferença	14h e 34 min
Percentagem	53,0322581

Anexo 5.2 Cálculos Caso 2

Valores Lógica de Fuzzy para categorias							
Categorias	Sujeito 1	Sujeito 2	Sujeito 3	Sujeito 4	Sujeito 5	Média	Valor médio da tabela
GVI	0,9	0,9	0,9	1	0,75	0,89	0,9
DISC	1	0,9	1	0,5	0,5	0,78	0,75
F/C	0,75	1	0,75	1	0,25	0,75	0,75
OP/C	0,75	0,9	0,9	1	0,25	0,76	0,75
C/K	1	1	0,9	0,9	0,5	0,86	0,9
FNC	0,75	0,9	0,9	0,9	0,25	0,74	0,75
REPLACE	1	0,75	0,75	0,75	0,9	0,83	0,9
LUB	0,75	0,9	0,9	0,75	0	0,66	0,75
V/CK	1	1	1	0,9	0,75	0,93	0,9
CHECK	1	1	1	0,9	0,5	0,88	0,9
DRAIN	0,5	0,9	0,5	0,9	0	0,56	0,5
SVC	1	0,9	1	1	0	0,78	0,75
CLN	0,5	0,75	0,75	0,5	0	0,5	0,5
ACC	1	0,75	0,9	0,75	0,25	0,73	0,75
RTR	1	0,9	0,9	0,75	0	0,71	0,75
NR	...	...	...	...	...		0

Categorias	L. Fuzzy	R. Poupança/L.Fuzzy
GVI	0,9	0,72
DISC	0,75	0,6
F/C	0,75	0,6
OP/C	0,75	0,6
C/K	0,9	0,72
FNC	0,75	0,6
REPLACE	0,9	0,72
LUB	0,75	0,6
V/CK	0,9	0,72
CHECK	0,9	0,72
DRAIN	0,5	0,4
SVC	0,75	0,6
CLN	0,5	0,4
ACC	0,75	0,6
RTR	0,75	0,6
NR	0	0

Referencial	02/06/2016	3 anos 5 meses 26 dias
	28/11/2019	

Poupança do caso de estudo	0,8	80%
	0,2	20%

Manhours Total	34255,55
Manhours Otim.	30305,49
Poupança	3950,059
% Poupança	11,53115

Tarefas não contabilizadas	2268
Total tarefas	10769
% não contabilizadas	21,0604513
E.O.'s Manhours	18371,71
% E.O.'s Manhours	53,6313386
% E.O.'s Manhours T. otim.	60,6217207
Tarefas não contabilizadas Manhours	913,91
% Tarefas não contabilizadas Manhours	2,66791805
% Tarefas não contabilizadas Manhours T. otim.	3,01565814

Anexo 5.3 Cálculos análise em conjunto

	T. otim. E.O.'s	T. Total otim.
Cenário hipotético	12860,197	24793,9778
0,3		
Diferença E.O.'s	5511,513	
Poupança	9461,5722	
% Poupança	27,62055258	