

**Estudo de viabilidade de desenvolvimento de
um demonstrador de realidade virtual para
implementação de treino aeronáutico das
inspeções pré-voo da aeronave A-29 Super
Tucano**

Afonso Miguel Marques de Carvalho

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Aeronáutica
(Mestrado Integrado)

Orientador: Prof. Doutor José Manuel Mota Lourenço da Saúde
Co-orientador: Engenheiro Luís Teixeira

maio de 2021

Agradecimentos

Em primeiro lugar, quero agradecer ao Professor Doutor José Lourenço da Saúde pelo seu profissionalismo e disponibilidade. Obrigado por me ter dado a possibilidade de trabalhar numa área tão recente e inovadora como a Realidade Virtual.

Obrigado à ETI por esta oportunidade, em especial ao Engenheiro Luís Teixeira pelo apoio todo que me deu durante o estágio, bem como a todos os que me ajudaram durante os últimos meses.

Quero agradecer sinceramente a todos os meus grandes amigos pelos melhores 5 anos da minha vida e pela vossa constante companhia, dia e noite. Desejo-vos a todos o melhor para o futuro e que nunca se parem de divertir.

Finalmente, dedico este trabalho à minha família. Ao meu irmão Francisco, por todas as brigas, risos, conselhos e conversas desde sempre. Ao André por todas as interações enriquecedoras. Aos meus avós, Francisco e Lucete, pelo amor incondicional e por só me desejarem o melhor. E aos meus pais, Isabel e Carlos, por todos os sacrifícios que fizeram para me poderem dar sempre o que eu precisasse, e por me incentivarem a nunca desistir e a acreditar em mim. Obrigado por tudo.

Resumo

Com a constante evolução da tecnologia, torna-se nossa obrigação renovar os nossos métodos e aproveitar ao máximo todas as possibilidades que temos disponíveis, de modo a melhorarmos a nossa eficiência e capacidade individual e coletiva.

A formação e treino de pilotos é uma área que deve fazer uso de novas tecnologias para diminuir o tempo de formação e o custo de treino, sem a necessidade de sacrificar a sua qualidade.

A Realidade Virtual (RV), sendo uma tecnologia que permite a imersão de um indivíduo num ambiente virtual e a sua interação com este, pode ser utilizada como um novo método de formação e treino de pilotos mais individualizado e adaptável às capacidades de cada aluno.

No âmbito deste trabalho, foi desenvolvido um demonstrador, tanto em 3D como em RV, para o treino de procedimentos de pré-inspeção do Embraer A-29 Super Tucano, com o intuito de determinar se esta solução constitui um método de formação e treino com potencial para substituir ou complementar o método tradicional, que consiste em estudo do manual, aprendizagem em *Computer Based Training* (CBT)'s e treino em ambiente real quando os recursos necessários se apresentam disponíveis.

Conclui-se que tanto o modo 3D como a RV constituem boas ferramentas para a aprendizagem e treino dos procedimentos, embora cada modo tenha os seus pontos fortes e fracos.

O modo 3D destaca-se pela sua facilidade de uso em realizar os procedimentos de forma sequencial como estão no manual de voo, constituindo uma excelente ferramenta de aprendizagem com potencial para substituir o estudo por manual e complementar os CBT's e treino em aeronave real.

A realidade virtual destaca-se pela sua elevada imersão e, embora não seja tão compatível com a realização de tarefas em modo sequencial fixo, demonstra bastante potencial no que toca a exploração livre da aeronave e ambiente virtual, bem para propósitos de simulação de voo. Aliando a imersão visual que a RV oferece com controlos físicos da aeronave, obtém-se uma excelente plataforma de treino que complementa o treino em *Full Flight Simulator* (FFS)'s e em aeronave.

Ambas as ferramentas são de baixo custo relativamente aos métodos que se propõe a complementar, especialmente o simulador em RV, podendo assim serem adquiridas mais unidades, o que permite o treino simultâneo de vários alunos. A disponibilidade destas ferramentas é permanente, o que permite uma frequência de treino muito mais elevada do que seria com os métodos tradicionais, devido à minimização de complicações logísticas comparado com os FFS's e aeronave real. Sendo soluções maioritariamente baseadas em *software*, torna-se possível guardar e analisar o desempenho individual de cada aluno para avaliações

posteriores, bem como adicionar mais funcionalidades e módulos ao programa. Além disso, estas tecnologias são bastante apelativas, o que resulta num maior interesse e esforço por parte do aluno.

Em suma, a realidade virtual é uma tecnologia que pode e deve ser aproveitada para reforçar e complementar a formação e treino de pilotos, tanto para a realização de procedimentos de pré-inspeção como para simulação de voo.

Palavras-chave

Realidade Virtual, simulação, treino.

Abstract

As technology evolves, it is our obligation to renew our methods and take advantage of all the possibilities we have available in order to improve our efficiency and elevate ourselves individually and collectively.

Pilot training is an area that ought to make use of new technologies to reduce total training time and cost, without having to sacrifice its quality.

Virtual Reality (VR), being a technology that has the ability to immerse an individual in a virtual environment and allow this individual to interact with its surroundings, can be used as a new learning and training method that is more tailored and adaptable to each student.

For this dissertation, a simulator was developed, both in 3D and in VR, for the training of pre-inspection procedures of the Embraer A-29 Super Tucano, in order to ascertain if this type of solution and training method has potential to replace or complement the traditional pilot training method, which consists of studying through the manual, learning through Computer Based Training (CBT) software and practicing in real environments when the necessary resources are available.

Both 3D and VR revealed to be good tools for learning and training pre-inspection procedures, albeit each with its strengths and weaknesses.

The simulator in 3D stands out for its ease of use in performing the procedures in a sequential manner as they are in the flight manual, making it an excellent tool for learning, with potential to replace studying through the manual and to complement the CBT's and real aircraft training.

Virtual reality stands out for its high level of immersion, and, although not being as suited to performing the procedures in a sequential way, it has a lot of potential when it comes to free exploration of the virtual environment and the aircraft, as well as flight simulation. By combining VR's visual immersion with physical aircraft controls, we get an excellent training platform which complements training in Full Flight Simulators (FFS)'s and real aircraft.

Both tools are relatively low cost compared to the methods they propose to complement, especially the VR simulator, which can result in the acquisition of more training units, allowing simultaneous training of several students. These tools are permanently available, which allows a higher frequency of training than what is possible with the traditional methods, due to less logistical constraints when compared with training in FFS's and real aircraft. Being mostly software based tools, it becomes possible to save and analyze the individual performance of each student for further evaluations and to add more features and training modules. Besides, these technologies are very appealing, resulting in a larger interest and effort from the

student.

To sum up, virtual reality is a technology that can and should be used to reinforce and complement pilot training, both for pre-inspection procedures and flight simulation.

Keywords

Virtual Reality, simulation, training.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Generalidades	1
1.2	Objetivo do trabalho	2
1.3	Requisitos do trabalho	2
1.4	Limitações do trabalho	3
1.5	Metodologia usada	3
1.5.1	Análise Documental	4
1.5.2	Computação	4
1.5.3	Método de validação	5
1.6	Estrutura do trabalho	5
2	Apresentação da empresa	7
2.1	Perfil da empresa	7
2.2	Estrutura acionista	7
2.3	Competências	7
2.4	Projetos de referência	8
2.5	Mercado	8
3	Estado da arte	11
3.1	Simulação	11
3.1.1	Conceito	11
3.1.2	Tipos	12
3.1.3	Finalidade, vantagens e desvantagens	12
3.2	Formação e treino	13
3.2.1	Conceito e objetivo	13
3.2.2	Transferência	15
3.2.3	Formação em aeronáutica	15
3.3	Realidade Virtual	17
3.3.1	Definição	17
3.3.2	Realidade Virtual vs Aumentada vs Mista	18
3.3.3	Breve história	18
3.3.4	Envolvimento	21
3.3.5	Imersão	22
3.3.6	Presença	22
3.4	Unity	26
3.5	Regulamentação aplicável	27
3.6	Realidade Virtual na ETI	27
3.7	Casos de estudo relevantes	28
3.7.1	<i>Linde Virtual Academy</i>	28

3.7.2	Realidade Virtual em treino aeronáutico	28
3.8	Limitações existentes	34
3.8.1	Custo	34
3.8.2	Sintomas adversos	35
3.8.3	Locomoção	35
3.8.4	Tecnologia háptica	36
3.9	Desafios	36
3.9.1	Infraestruturas	37
3.9.2	Redes 5G	37
3.9.3	Inteligência Artificial	38
3.10	Síntese	39
4	Descrição do trabalho	41
4.1	Requisitos do trabalho	41
4.2	Métodos	42
4.2.1	Modelo em cascata	42
4.2.2	Programação	43
4.3	Síntese	49
4.4	Validação do trabalho	51
4.5	Discussão dos resultados	51
5	Conclusões	55
5.1	Conclusão	55
5.2	Recomendações para trabalhos futuros	56
	Bibliografia	59
	Anexos	65
A	Especificação de Requisitos	65
B	Relatórios dos testes	82

Lista de Figuras

2.1	Mapa de clientes da ETI	9
3.1	Progressão de treino do Airbus A400M	15
3.2	Cone de Experiência de Dale	17
3.3	Pokemon GO (RA)	18
3.4	HoloAnatomy (RM)	18
3.5	<i>Sensorama</i> , 1962	19
3.6	<i>Sword of Damocles</i> , 1968	19
3.7	<i>Super Cockpit display</i> , 1986	20
3.8	<i>SEGA VR-1</i> , 1994	20
3.9	<i>Nintendo Virtual Boy</i> , 1995	20
3.10	<i>Oculus Rift S</i> , 2019	21
3.11	<i>HTC Vive Pro</i> , 2018	21
3.12	<i>Valve Index</i> , 2019	21
3.13	Modelo IPP	25
3.15	Simulador da PTN	30
3.16	CAE Sprint VR Trainer	32
3.17	CHIL	33
3.18	EON Reality Aviation Maintenance Trainer	33
3.19	Dexta Robotics Dexmo Gloves	37
3.20	BHaptics Tactsuit	37
3.21	NVIDIA GauGan	39
4.1	Modelo em Cascata	43
4.2	Algoritmo do <i>PlayerMovement</i>	45
4.4	Escolha dos procedimentos no demonstrador	47
4.7	Diagramas do painel elétrico	49
4.8	Painel de controlo dos interruptores	49

Lista de Abreviações e Acrônimos

ASD	<i>Aeronautical, Space and Defense.</i>
AV	<i>Ambiente Virtual.</i>
CAD	<i>Computer Aided Design.</i>
CBT	<i>Computer Based Training.</i>
CMOS	<i>Cockpit Maintenance Operations System.</i>
CPT	<i>Cockpit Procedures Trainers.</i>
ETI	<i>EMPORDEF Tecnologias de Informação.</i>
FAA	<i>Federal Aviation Administration.</i>
FFS	<i>Full Flight Simulator.</i>
FP-FTD	<i>Flat Panel Flight Training Device.</i>
HDRP	<i>High Definition Render Pipeline.</i>
HMD	<i>Head Mounted Display.</i>
IA	<i>Inteligência Artificial.</i>
IPT	<i>Interactive Procedures Trainers.</i>
M&S	<i>Modelação & Simulação.</i>
MT	<i>Maintenance Trainers.</i>
OFT	<i>Operational Flight Trainers.</i>
RA	<i>Realidade Aumentada.</i>
RM	<i>Realidade Mista.</i>
RV	<i>Realidade Virtual.</i>
SLI	<i>Suporte Logístico Integrado.</i>
USAF	<i>United States Air Force.</i>
ZFTT	<i>Zero Flight Time Training.</i>

Capítulo 1

Introdução

1.1 Generalidades

A Realidade Virtual (RV) é "uma área de estudo que tem como objectivo criar um sistema que fornece uma experiência sintética ao utilizador" [1]. É denominada sintética porque é gerada em computador por algoritmos matemáticos. O utilizador é colocado num Ambiente Virtual (AV) que visa fornecer uma sensação de presença, que depende da imersão e do envolvimento.

Durante décadas, desde a sua invenção nos anos 50, a RV evoluiu muito devagar devido a limitações tecnológicas. Contudo, nos últimos anos, o mercado da RV tem aumentado significativamente [2]. Os largos avanços tecnológicos, a redução de custos de *hardware* e a disponibilidade de ferramentas de *software* têm vindo a tornar a RV uma tecnologia cada vez mais acessível para a população comum. Atualmente, é uma das tecnologias mais emergentes a nível mundial, e juntamente com o desenvolvimento de outras áreas altamente promissoras como a Inteligência Artificial (IA) e as redes 5G, estima-se o mercado da RV cresça com uma TCAC¹ entre 20% e 40% de 2020 a 2027, alcançando um valor entre os 60 e 120 mil milhões de dólares americanos [2] [3]. Relativamente ao mercado da RV na aviação, prevê-se que o seu valor aumente de 78 milhões até 1,372 mil milhões de dólares americanos de 2019 a 2025 [4].

A utilização da RV estende-se a várias áreas de aplicação, tais como simuladores de voo, simuladores de condução de veículos terrestres, análise de movimento em desporto e reabilitação, treino de procedimentos cirúrgicos, visualização de dados para investigação científica (*e. g.* visualização de gráficos 3D em RV), representação de cenários virtuais em arquitetura para estudo de enquadramento paisagístico, experiências de entretenimento (*e. g.* exploração de outros planetas em RV), entre outras. Na área da aeronáutica, a RV já é amplamente usada para treino de pilotos (combate aéreo, instrumentação, tomada de decisões) [5], treino de manutenção de aeronaves, treino de comissários de bordo, para simulações de engenharia e para a melhoria do entretenimento a bordo². Neste trabalho, o conteúdo RV terá como intuito o treino de pilotos para inspeções pré-voo. Devido ao facto da RV permitir que estes processos sejam realizados mais frequentemente, de uma forma mais segura e com custos reduzidos, faz todo o sentido que esta tecnologia seja incorporada cada vez mais na indústria

¹Taxa de Crescimento Anual Composta - mede a taxa de retorno anual de um investimento durante um certo período

²Por exemplo, tanto a Iberia como a Qatar Airways tiveram períodos de teste em que os passageiros podiam alugar capacetes de RV para utilizar durante a viagem.

aeronáutica.

É assim relevante mencionar a ETI, que, sendo uma empresa que desenvolve aplicações informáticas e simuladores físicos para formação e treino no segmento da defesa, está atualmente a desenvolver e testar *software* de simulação que faz uso desta tecnologia, com o intuito de dar o próximo passo na interatividade e posicionar-se na vanguarda do treino militar virtual.

1.2 Objetivo do trabalho

O objetivo deste trabalho é estudar a viabilidade de desenvolver um demonstrador de realidade virtual para a realização de tarefas de inspeção pré-voo à aeronave A-29 Super Tucano, que permita à ETI evoluir adotando ferramentas de formação avançadas.

1.3 Requisitos do trabalho

Os requisitos primários para a realização deste estudo foram definidos pela ETI e são os seguintes:

- Adoção da tecnologia de Realidade Virtual;
- Criação de um ambiente virtual em que um piloto possa fazer uma inspeção a todos os pontos da aeronave e verificar se estes estão de acordo com o espectável. Esta inspeção deve ser efetuada de acordo com o Manual de Voo TO 1-A-29B(LAS)-1 - Secção II - Procedimentos Normais;
- Entrada no *cockpit* da aeronave e interação com os controlos de modo a efetuar os procedimentos normais de preparação do *cockpit*.

O piloto deve:

- Encontrar-se perto da aeronave;
- Poder andar livremente dentro do cenário;
- Olhar para onde desejar (vista 360°);
- As mãos devem ter capacidade de tocar e interagir com o avião;
- Entrar e sair do *cockpit* frontal;
- Interagir com o painel de instrumentos e os controlos da aeronave.

1.4 Limitações do trabalho

Um ambiente virtual ideal seria um em que todos os sentidos fossem estimulados, de modo a simular o ambiente em que se está inserido o melhor possível. Apesar de os humanos possuírem cinco sentidos, atualmente os sistemas de RV são desenvolvidos com a visão, a audição e o tato em mente.

A tecnologia háptica, referente ao tato, é qualquer tecnologia que consiga criar uma experiência de toque por meio de aplicação de forças, vibrações ou movimentos do utilizador com o intuito de aumentar a percepção de presença em aplicações de RV [6].

Os exemplos mais comuns da tecnologia háptica são as vibrações de um telemóvel ou de um comando de consola, mas existem várias aplicações, tais como experiências de realidade aumentada/virtual, equipamento de simulação militar/industrial, *wearables*³, etc. [7].

No campo da RV já existem várias empresas que desenvolvem equipamento de estimulação háptica, tais como luvas, fatos completos e até controladores de sensação de peso. No entanto, é uma tecnologia recente e bastante dispendiosa.

Em termos de limitações do conteúdo do simulador, a simulação dos sistemas funcionais da aeronave é um fator que torna a programação mais complexa, pelo que incompatível com os recursos disponibilizados pela ETI.

Deste modo, este estudo tem as seguintes limitações:

- Estimulação apenas da visão e a audição;
- Sem procedimentos de movimentação no solo (táxi).
- Motor da aeronave não é ligado;

1.5 Metodologia usada

A metodologia utilizada neste trabalho assenta nos seguintes passos:

- Análise documental;
- Conhecimento sobre sistemas de Realidade Virtual;
- Conhecimento sobre ferramentas tecnológicas de computação para criação de ambientes simulados;

³*wearables* - dispositivos eletrónicos que podem ser incorporados em vestuário usados como implantes ou acessórios [6].

- Desenvolvimento e validação da solução preconizada.

Abaixo apresenta-se resumidamente os aspetos relacionados com cada um dos elementos da metodologia referida.

1.5.1 Análise Documental

De seguida é mencionada a documentação essencial para o desenvolvimento deste trabalho e o estudo do assunto.

1.5.1.1 Manual de voo

Uma vez que este trabalho é no contexto da utilização simulada de uma aeronave, tomou-se como referência o respetivo manual de voo, a saber, o TO 1-A-29B(LAS)-1 do A-29 Super Tucano, sendo este documento a base de trabalho essencial para concretização deste estudo.

1.5.1.2 História da Realidade Virtual

Dado que este trabalho tem como tema a Realidade Virtual, o estudo da história desta tecnologia é pertinente para ter uma visão mais ampla das áreas em que a RV é utilizada e desta forma termos o estado da arte das várias opções que se colocam neste momento em termos de simulação.

1.5.1.3 Projeto de ambientes virtuais

O desenvolvimento do simulador tem de ser precedido de um estudo sobre Realidade Virtual e do processo de desenho de ambientes virtuais. Gerard Kim abrange na sua obra de 2005 *Designing Virtual Reality Systems - The Structured Approach* [1] todas as áreas relevantes ao desenho de ambientes virtuais, tais como modelação de objetos e cenários, desenho de interações, movimentos e colisões e processamento de *inputs*. Esta obra foi utilizada como base para o desenvolvimento da parte prática deste trabalho.

1.5.2 Computação

Para o desenvolvimento do demonstrador, foi utilizado o *software* Unity e modelos 3D fornecidos pela ETI. Com recurso a estes dois elementos é possível criar uma realidade simulada interativa.

1.5.2.1 Unity

O programa escolhido para o desenvolvimento do demonstrador é o Unity. O Unity é um *game engine*⁴ lançado em 2005 pela Unity Technologies. Permite a criação de jogos 2D e 3D, jogos/aplicações em realidade virtual e aumentada e também filmes de animação [8].

⁴*Game engine* (motor de jogo) - um motor de jogo é um *software* que fornece aos criadores de jogos o conjunto necessário de recursos para criar jogos de maneira rápida e eficiente.

No capítulo 3 são apresentadas em maior detalhe várias maneiras que o Unity pode ser utilizado para criar experiências virtuais em diferentes áreas.

1.5.2.2 Modelos 3D

O modelos 3D usados no desenvolvimento deste demonstrador foram desenhados em Autodesk 3ds Max pelos *designers* da ETI. Alguns destes modelos são a aeronave, os edifícios do hangar, o gerador externo, *etc.*. Estes modelos, depois de desenhados em 3ds Max, são importados diretamente para o Unity, prontos a ser utilizados.

1.5.3 Método de validação

A validação foi feita pela ETI com base nos requisitos estipulados no Anexo A.

1.6 Estrutura do trabalho

Esta dissertação está estruturada da seguinte forma:

O capítulo 2 contém uma apresentação da ETI (Empordef Tecnologias de Informação), bem como uma descrição geral do seu trabalho e das suas competências como empresa.

O capítulo 3 refere-se ao estudo do estado da arte do assunto desta dissertação. Contém a explicação de vários conceitos de relevo relativos à simulação e realidade virtual, a descrição do assunto tal qual existe atualmente, uma apresentação de vários sistemas que fazem uso desta tecnologia na área da aeronáutica, terminando com a discussão de limites e desafios existentes.

O capítulo 4 inicia-se com os requisitos do problema, seguido de uma secção sobre o desenvolvimento e as funcionalidades do demonstrador, terminando com a validação da solução e discussão dos resultados obtidos.

Finalmente, o capítulo 5 encerra a dissertação com uma conclusão final e recomendações para futuros trabalhos.

Capítulo 2

Apresentação da empresa

2.1 Perfil da empresa

A EMPORDEF Tecnologias de Informação (ETI) é uma empresa portuguesa que trabalha em Suporte Logístico Integrado (SLI)¹ e que oferece soluções de simulação e treino avançado bem como serviços de engenharia para suporte de plataformas complexas de *Aeronautical, Space and Defense* (ASD). A ETI é especializada em fornecer soluções e serviços nas áreas de Aprendizagem Interativa, Simulação Avançada, e tem um extenso histórico em sistemas de *Operational Flight Trainers* (OFT), *Cockpit Procedures Trainers* (CPT), *Interactive Procedures Trainers* (IPT), *Maintenance Trainers* (MT) e *Computer Based Training* (CBT) nas indústrias de aeronáutica e de defesa, para os segmentos de aviação, veículos e sistemas de armas.

2.2 Estrutura acionista

A ETI é inteiramente propriedade da idD - Portugal Defense S. A., a sociedade do Estado para a Indústria de Defesa Portuguesa.

2.3 Competências

A ETI tem as seguintes competências-chave:

- Conhecimento do domínio - *know-how* e experiência relevante nas áreas de aviação, defesa e treino;
- *Soft skills* - agilidade, flexibilidade e confiabilidade;
- Tecnologias e *know-how* relevante para as atividades da empresa:
 - Sistemas, plataformas e modelação de sensores;
 - Sistemas e *displays* visuais;
 - Conceção de interfaces homem-máquina;

¹Suporte Logístico Integrado é uma abordagem que visa planear e desenvolver suporte para sistemas de modo a assegurar a sua disponibilidade durante o ciclo de vida [9].

- Desenvolvimento de publicações técnicas e desenho de ilustrações;
- Desenvolvimento de aplicações de teste.

2.4 Projetos de referência

A seguinte lista ilustra o tipo de serviços que a ETI fornece ao mercado ASD:

- Simuladores de voo;
- Simuladores de condução, tática e procedimentos para veículos terrestres militares;
- Simuladores para procedimentos de navegação em helicópteros;
- Simuladores de procedimentos de manutenção e *cockpit*;
- Simuladores de comunicação;
- Sistemas de teste para motores de aeronaves;
- Programas de teste de aviónica.

2.5 Mercado

A nível nacional, a ETI tem como cliente mais importante e duradouro a Força Aérea Portuguesa. A nível global, tem como clientes a Airbus, Embraer, Leonardo, General Dynamics e as Forças Armadas Austríacas. A figura 2.1 mostra um mapa global dos clientes da ETI.



Figura 2.1: Mapa de clientes da ETI

Capítulo 3

Estado da arte

Sendo este trabalho relacionado com o uso da realidade virtual para a formação em aeronáutica, convém dissecar este assunto em várias partes e estudar cada uma separadamente para uma melhor compreensão do todo.

Em primeiro lugar, abordam-se alguns conceitos de relevo, tal com a simulação em geral, o treino e formação, bem como a realidade virtual e os seus sub-conceitos.

De seguida é apresentado o *software* Unity e algumas das suas aplicações principais.

Posteriormente são apresentados alguns casos de estudo da realidade virtual aplicada para o treino e formação de tarefas, tanto dentro como fora do campo da aeronáutica.

Finalmente são discutidas algumas limitações atuais da RV e como podem e estão a ser ultrapassadas, bem como alguns desafios associados à globalização e adoção desta tecnologia por parte da população geral.

3.1 Simulação

3.1.1 Conceito

Segundo Ribeiro (2018) ([10], p.9), a Modelação & Simulação (M&S) “é uma disciplina que compreende o desenvolvimento e/ou uso de modelos e simulações” “estáticas ou ao longo do tempo, para produzir dados, como base, para a tomada de decisões de gestão ou técnicas” (como citado em [11], p.124) com o intuito de apoiar a formação e treino e facilitar a experimentação.

“Enquanto a modelação cria e valida o modelo que representa um evento, sistema real ou planeado, utilizando uma metodologia padrão, rigorosa e estruturada, a simulação permite o processo de extracção de informação de um equipamento, por manipulação dos seus *inputs*, conduzindo sobre um, ou mais modelos, para compreender o comportamento de um sistema real” ([10], p.10). Isto é, a simulação um “método para implementar um modelo ao longo do tempo” ([11], p.144).

A M&S permite e/ou facilita o teste de novos procedimentos e situações em ambientes virtuais realistas¹ e imersivos ou em ambientes reais. Elimina ou reduz restrições temporais e de

¹Utilizar-se-à esta expressão - realista - ao longo do texto para significar que certa resposta do sistema de

espaço, custos associados a recursos humanos e materiais e constrangimentos administrativos ou ambientais, simultaneamente limitando os riscos associados à actividade que visa simular, especialmente em situações perigosas ([10], p.18).

3.1.2 Tipos

Existem três tipos de simulação que diferem em função da natureza dos equipamentos de representação utilizados, dos meios técnicos para executar as interacções e na forma de introduzir e recolher dados ([10], p.11):

- **Real** - sistemas de simulação com utilização de pessoal e de material real², num ambiente real com efeitos simulados (exemplo: simuladores de duelo militar). São simulações dado que não são conduzidas contra um inimigo real ([11], p.119);
- **Virtual** - sistemas de simulação com utilização de pessoal real e equipamentos simulados derivados dos reais, num ambiente virtual com efeitos simulados (exemplo: simuladores de aeronaves e de condução de veículos terrestres);
- **Construtiva** - sistemas de simulação com utilização de pessoal real ou entidades de IA que operam sistemas simulados. Os indivíduos que interagem com o simulador não influenciam diretamente todos os resultados em consequência das decisões tomadas, sendo que este tipo de simuladores está mais associado à toma de decisões, gestão de recursos e interações com a IA (exemplo: o sistema imersivo MRE³) ([13], p.8).

3.1.3 Finalidade, vantagens e desvantagens

Ribeiro (2018) ([10], p.18) enumera as seguintes finalidades da M&S (Chevillon, *et al.*, 2009, [14]):

- Responder às necessidades de formação e treino, face à dificuldade de realizar exercícios reais no vasto espectro de operações;
- Garantir o treino e preparação de indivíduos/organizações, em complemento do treino real, dado que a sua utilização não tem restrições externas (*e. g.*, disponibilidade de equipamentos operacionais, clima ou ambiente), elimina operações preparatórias (*e. g.*, deslocamento para as áreas de treino, trânsito e tempo de espera), e concentra-se nas fases essenciais, economizando tempo nos ciclos de treino;
- Adaptar à nova conflitualidade, ampliando o âmbito de treino a toda a tipologia de operações.

As principais vantagens da utilização da M&S ([10], Apêndice C) são:

simulação representa com elevado grau de precisão a realidade que pretende descrever digitalmente.

²Exemplo: aeronaves, viaturas e armamento.

³Leitura complementar: [12].

- Economiza recursos financeiros, humanos e materiais;
- Rentabiliza a formação, reduzindo o tempo das formações, otimizando a utilização das áreas de treino e preservando o meio ambiente;
- Otimiza o treino real pelo conhecimento e capacidades adquiridas previamente na simulação;
- Permite o treino de alta fidelidade e com elevado realismo em diversas situações e condições, com utilização de uma infinidade de meios que, numa situação real, seriam difíceis de reunir a implicavam um custo elevado;
- Permite testar/ analisar a viabilidade de sistemas e de missões e operações de alto risco;
- A rápida evolução da tecnologia neste campo permite cada vez mais um maior realismo nas simulações;
- Permite *feedback* instantâneo e *debriefing*/avaliação do treino com recurso a gravações da simulação.

A M&S revela-se desvantajosa ([10], Apêndice C) devido às seguintes razões:

- O investimento inicial é avultado em termos de simuladores e de qualquer material necessário para correr as simulações;
- Exige formação e/ou emprego de pessoal especializado na sua operação e manutenção;
- Torna-se rapidamente obsoleto devido à contínua e rápida evolução da tecnologia associada;
- Não reproduz na íntegra os fatores de incerteza e a aleatoriedade de eventos reais (devido às atuais insuficiências na modelação (*i. e.* programação de IA));
- Pode levar a que os utilizadores se acomodem a estas ferramentas, podendo causar neles perdas na preparação psicológica para enfrentar situações reais de elevada exigência.

3.2 Formação e treino

3.2.1 Conceito e objetivo

Em aeronáutica, o papel da instrução e do treino é qualificar as pessoas para as tarefas, resultando em alguns casos certificações que as habilita a realizar certos trabalhos (mecânicos, pilotos, *etc.*).

O facto do treino ser efetuado num simulador de alta fidelidade do ponto de vista tecnológico (*i. e.* com alta resolução dos ecrãs, reprodução de áudio realista, sensação háptica, *etc.*) não é condição suficiente para que o treino seja eficaz, ou seja, para que o utilizador saia da simulação bem preparado para a situação real.

De modo a adquirir o conhecimento pretendido, os utilizadores deste simulador terão de ter a oportunidade de aprender e praticar num contexto apropriado que forneça *feedback* sobre o seu desempenho e que lhes permita realizar o treino em segurança independentemente do risco da missão a treinar. A simulação é bastante útil neste contexto, mas também é apenas uma ferramenta para o treino [5].

É imprescindível aplicar os princípios derivados da investigação do treino aos ambientes de simulação para o desenvolvimento de um simulador eficaz, sendo que Salas *et al.* [5] sugerem até que a vertente instrucional (*i. e.* o método de treino) da simulação determina em maior peso o sucesso do treino do que a simulação por si só. Gagne [15] apresenta na sua teoria de aprendizagem nove elementos instrucionais essenciais:

- Ganhar atenção;
- Delinear objectivos;
- Estimular a memória de aprendizagens anteriores;
- Apresentar estímulos;
- Fornecer orientação na aprendizagem;
- Extrair desempenho do utilizador;
- Fornecer *feedback*;
- Avaliar desempenho;
- Aumentar a retenção e transferência.

Podemos ver o demonstrador a desenvolver no âmbito deste trabalho como uma ferramenta de aquisição de informação e de solidificação de conhecimento [16], complementando o processo formativo comum, ou seja, assente em aulas e no recurso a aeronave real ou *mock up*.

Logo, este deve ser desenvolvido com os objetivos de treino em mente, permitindo a apresentação de estímulos, fornecimento de orientação e de *feedback* (tanto durante a simulação como o *debriefing*) e avaliação do desempenho de modo a aumentar a retenção de informação e transferência de capacidades para o mundo real [17].

3.2.2 Transferência

A transferência de treino é definida como sendo o nível com que um indivíduo consegue aplicar as capacidades e o conhecimento adquirido no treino numa situação real ([18], p. 63).

É sugerido que o nível de transferência positiva aumenta com o nível de aprendizagem no treino desde que exista uma semelhança entre os estímulos e ações presentes no treino e na situação real.

Desta teoria resulta a conclusão de que, se um ambiente virtual coloca o utilizador num ambiente semelhante ao real, quanto mais realista for o treino (*i. e.* quanto maior a semelhança entre os estímulos e ações entre os dois ambientes), maior será a transferência positiva ([19], p. 332) ([20], p. 3).

3.2.3 Formação em aeronáutica

Na vertente aeronáutica, antes de poder operar uma aeronave, um piloto tem que seguir um percurso de treino que englobe todo o leque de capacidades e conhecimento requerido, desde a aprendizagem de conceitos fundamentais e estudo de sistemas de uma aeronave que pode passar por recurso a CBT até ao treino simulado de voo num *Full Flight Simulator (FFS)*. Isto é, na formação de pilotos existe a possibilidade de haver progressão desde simuladores de baixo custo até simuladores de alta fidelidade e mais imersivos.



Figura 3.1: Progressão de treino do Airbus A400M [21]

O treino tem como base a instrução em CBT's. Nesta fase, o piloto apreende os fundamentos de operação de aeronaves em geral ou sobre a operação de uma aeronave em específico, e também sobre conceitos e sistemas de aeronaves em geral ou específicas.

No patamar seguinte, estão os CMOS's, que permitem ao utilizador treinar os procedimentos de operação do *cockpit* de uma aeronave, sendo que, ao contrário dos CBT's, a interação com o simulador é necessária e essencial.

De seguida, o utilizador passa para a simulação de procedimentos de *cockpit*, com recurso aos FP-FTD's⁴.

O último patamar da simulação são os FFS's⁵, que podem ser de nível A, B, C ou D. Os mais avançados, de nível D, requerem plataformas de movimento com 6 graus de liberdade, *cockpits* realísticos e ecrãs de alta resolução. Simulam a totalidade dos sistemas de uma aeronave, de tal modo que a *Federal Aviation Administration* (FAA) autoriza o seu uso para o *Zero Flight Time Training* (ZFTT)⁶ habilitando um piloto a voar uma certa aeronave sem nunca ter treinado nessa aeronave fora do simulador [23].

Este tipo de progressão está relacionado com o Cone de Experiência de Dale (ver figura 3.2), que é um modelo que relaciona diferentes processos de aprendizagem. Nos anos 60, Edgar Dale teorizou que as pessoas retinham mais informação ao fazer do que a ouvir, ler ou observar. De acordo com Dale, o método menos eficaz de aprendizagem envolve informação apresentada por símbolos visuais, *i.e.*, ler texto. O método mais eficaz envolve aprender através de experiências que representam a realidade.

A simulação insere-se ligeiramente abaixo deste patamar, onde o aluno não aprende por experiência real e direta, mas por uma experiência que tenta simular a realidade e os sentidos estimulados o melhor possível. Consequentemente, Dale aconselhava que as atividades de formação se deviam basear mais em experiências reais, porque quanto mais sentidos fossem estimulados no processo de aprendizagem, maior era a probabilidade da informação transmitida ser retida pelo aluno [24].

O cone está organizado de maneira a que o método de aprendizagem menos eficaz está no topo e o mais eficaz no fundo.

A simulação em Realidade Virtual insere-se no segundo patamar a contar da base do Cone de Dale, que se refere à aprendizagem por simulação da experiência real. De acordo com Dale, embora este método de aprendizagem não supere a experiência real, é significativamente melhor do que o método tradicional de aprendizagem em sala de aula (ver/ouvir).

Podemos também observar que o treino do Airbus A400M⁷ (ver figura 3.1) tem uma progressão de interatividade e realismo crescente, semelhante ao cone de Dale, iniciando-se com os

⁴*Flat Panel Full Trainer Device.*

⁵*Full Flight Simulator.*

⁶ZFTT refere-se ao treino dado num curso de habilitação tipo de uma aeronave que é totalmente realizado num simulador [22].

⁷De notar que o nível 5 da progressão de treino (operação do compartimento de carga) não faz parte do treino do piloto.

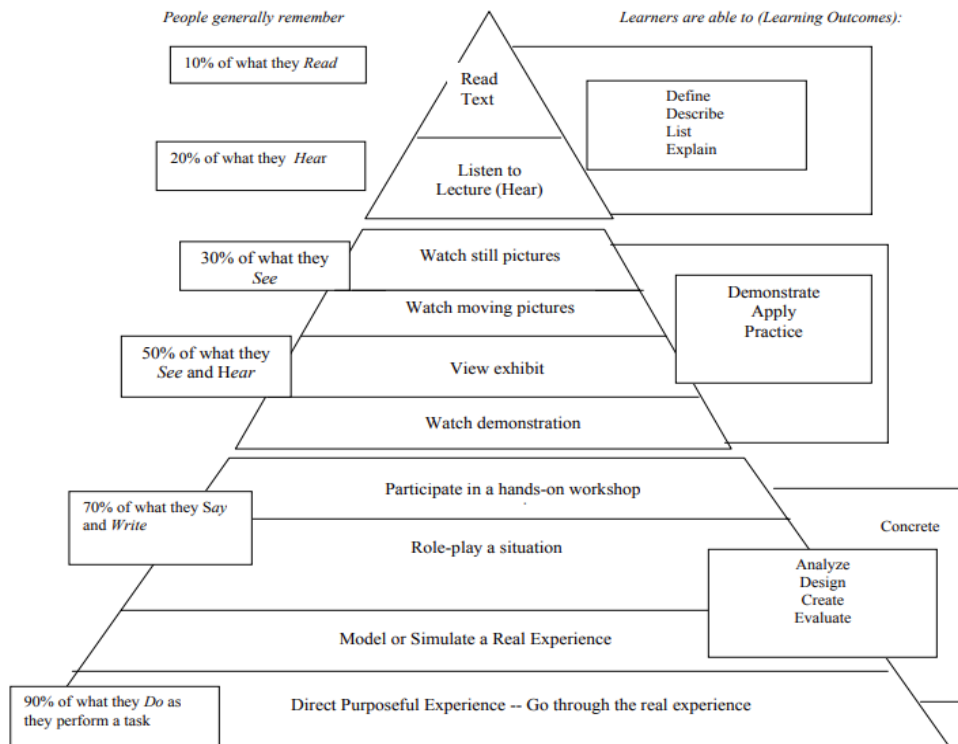


Figura 3.2: Cone de Experiência de Dale [25]

CBT's (onde o aluno aprende sobre os sistemas e as características da aeronave), seguindo, por exemplo, para os FP-FTD's (onde pode praticar/testar o conhecimento adquirido nos CBT's) e chegando até aos FFS's (onde pode aplicar o conhecimento e a prática adquiridos para realizar missões completas com elevado realismo). O último patamar do treino na aeronave real corresponde à base do Cone de Dale.

3.3 Realidade Virtual

3.3.1 Definição

Segundo o DoD (2011a) [11], a definição de realidade virtual é:

«The effect created by generating an environment that does not exist in the real world. Usually, a stereoscopic display and computer-generated three-dimensional environment gives the immersion effect. The environment is interactive, allowing the participant to look and navigate about the environment, enhancing the immersion effect⁸.»

Em suma, a RV é uma tecnologia cujo objetivo é criar uma realidade simulada de forma digital e imergir o utilizador no ambiente virtual de modo a que este se sinta presente no mesmo e não na verdadeira realidade.

⁸Tradução: "O efeito criado ao gerar um ambiente que não existe no mundo real. Normalmente, são utilizados ecrãs estereoscópicos e ambientes tridimensionais gerados por computador para dar o efeito de imersão. O ambiente é interativo, permitindo ao utilizador olhar e navegar pelo ambiente, aumentando a imersão."

3.3.2 Realidade Virtual vs Aumentada vs Mista

Embora o termo Realidade Virtual já seja relativamente bem conhecido, Realidade Aumentada e Realidade Mista são conceitos que ainda passam despercebidos. É importante então perceber que aspetos diferenciam estas tecnologias para uma melhor compreensão dos seguintes capítulos.

Realidade Virtual

Como já foi explicado, em RV, o utilizador está completamente inserido num ambiente virtual e consegue mover-se e manipular os objetos virtuais por meio de controladores.

Realidade Aumentada

A RA apresenta informação digital no mundo real. Mantém o foco no mundo real mas suplementa-o com elementos virtuais, como imagens ou texto. Um exemplo muito conhecido de RA é o jogo Pokémon GO (figura 3.3). De notar que, embora em RA seja possível inserir elementos virtuais no mundo real, não é possível interagir com estes como seria no mundo real. Esta capacidade está reservada para a Realidade Mista.

Realidade Mista

A RM insere objetos virtuais no mundo real e permite a interação do utilizador com os objetos, produzindo novos ambientes nos quais os elementos físicos e virtuais coexistem e interagem em tempo real. Essencialmente, junta o mundo real com o virtual, sendo possível interagir e manipular tanto os elementos físicos como virtuais. Um exemplo de RM é a aplicação *HoloAnatomy* desenvolvida pela Case Western Reserve University e pela Cleveland Clinic, que faz uso desta tecnologia para ensinar anatomia a alunos de medicina. Como se pode ver na figura 3.4, ao utilizar o HMD (que tem um visor translúcido), o utilizador consegue ver o objeto virtual no mundo real e consegue interagir com ele usando as mãos.



Figura 3.3: Pokemon GO (RA)



Figura 3.4: HoloAnatomy (RM)

3.3.3 Breve história

Uma das primeiras criações de RV foi o *Sensorama* (figura 3.5), inventado por Morton Heilig em 1962. O *Sensorama* é uma máquina que reproduzia um filme 3D com som estéreo,

movimento, aromas e vento de modo a criar um ambiente imersivo multissensorial [26].



Figura 3.5: *Sensorama*, 1962

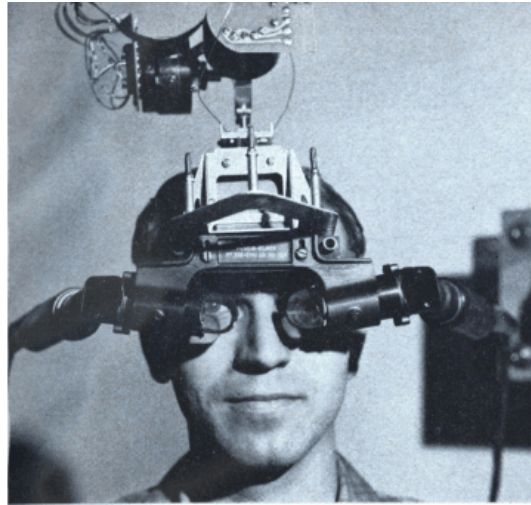


Figura 3.6: *Sword of Damocles*, 1968

Em 1965 Ivan Sutherland escreve um artigo com o título “*The Ultimate Display*” em que o descreve como “uma sala dentro dentro da qual um computador podia controlar a existência de matéria” [27]. Este artigo tornar-se-ia uma base para os conceitos que englobam a RV atualmente. O dispositivo que nasceu deste conceito, chamado *Sword of Damocles* (figura 3.6), é considerado o primeiro sistema *Head Mounted Display* (HMD) de Realidade Virtual e Realidade Aumentada.

Thomas Furness, que desde 1960 trabalhava em ecrãs e instrumentação para *cockpits* na Força Aérea Americana, dirigiu, entre 1986 e 1989, o programa *Super Cockpit* (figura 3.7), um simulador que fazia uso do HMD. Este sistema era capaz de projetar mapas 3D e de apresentar dados de aviação (navegação, comunicação, etc.) num espaço virtual que o piloto podia ver e ouvir em tempo real. O piloto interagia com o simulador ao apontar aos objetos no ambiente virtual com a cabeça, olhos ou dedos, por meio de sensores, e dando comandos verbais [28].

Nos anos 90 foram lançados vários produtos de RV, tais como o HMD *SEGA VR-1* (figura 3.8) e o *Nintendo Virtual Boy* (figura 3.9). Contudo, estes sistemas fracassaram devido à limitação tecnológica da altura: os ecrãs eram de baixa resolução, a simulação causava dores de cabeça e enjoo ao utilizador e os preços eram demasiado altos. Com o aparecimento da Internet e de outras tecnologias promissoras, como o *software* para desenho 3D, a RV acabou por ser esquecida.

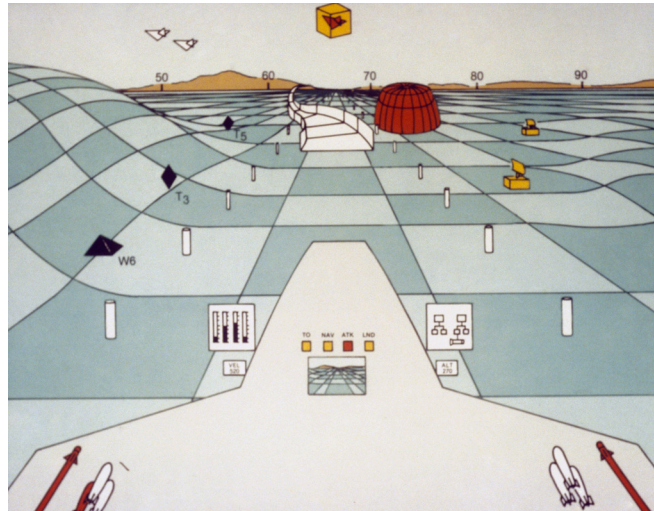


Figura 3.7: *Super Cockpit display*, 1986



Figura 3.8: *SEGA VR-1*, 1994



Figura 3.9: *Nintendo Virtual Boy*, 1995

Em 2012 é lançada uma campanha para fundar um projeto chamado Oculus Rift, desenvolvido por Palmer Lucky, que iria angariar 2,5 milhões de dólares americanos e começar a nova revolução da RV. Dois anos depois, em 2014, a Oculus VR é comprada pelo Facebook por 2 mil milhões de dólares americanos e começam a ser lançados sistemas de RV para unidades móveis. O primeiro modelo, o Oculus Rift CV1, foi lançado em 2016.

Por esta altura, a RV já se tinha tornado um tópico extremamente relevante e a HTC lança o Vive, liderando o mercado de RV juntamente com a Oculus. Em 2018 já existia o Oculus Go e o Oculus Quest, ambos produtos *standalone*, ou seja, que não necessitam de computador nem de telemóvel para funcionar. Em 2019 tanto os sistemas de RV como o *hardware* requerido para os correr já são bastantes mais acessíveis. Várias empresas além da Oculus e da HTC começam a lançar os seus sistemas, tais como a Samsung, a Lenovo e a Valve. Nas figuras 3.10, 3.11 e 3.12, estão apresentados os *headsets* mais populares atualmente, da Oculus, HTC e Valve, respetivamente.

Atualmente, existem vários projetos ambiciosos de RV, RA e Realidade Mista (RM) em progresso, que dão cada vez melhor uso a tecnologias como lentes varifocais, rastreamento gestual e ocular, e ecrãs de alta resolução com campos de visão extremamente amplos [29] [30].



Figura 3.10: *Oculus Rift S*, 2019



Figura 3.11: *HTC Vive Pro*, 2018



Figura 3.12: *Valve Index*, 2019

Desde o lançamento do primeiro Oculus Rift, a evolução tecnológica da RV, tanto a nível de *hardware* como de *software*, tem sido bastante considerável. Os *headsets* de RV são cada vez mais poderosos e acessíveis, tornando-os mais comuns para uso pessoal, existem cada vez mais ferramentas dedicadas para o desenvolvimento de experiências virtuais, como é o caso do Unity, e a procura de experiências e soluções em RV é cada vez mais pronunciada, pelo que é de prever um crescimento exponencial da Realidade Virtual, Realidade Aumentada e Realidade Mista nos próximos anos.

3.3.4 Envolvimento

«*Involvement is a psychological state experienced as a consequence of focusing one's energy and attention on a coherent set of stimuli or meaningfully related activities and events*⁹ [31].»

⁹Tradução: Envolvimento é uma sensação psicológica consequência do foco de energia e atenção por parte do utilizador num conjunto coerente de estímulos ou atividades/eventos significativamente relacionados.

De acordo com Witmer e Singer ([31], p.227), quanto mais um utilizador se focar nos estímulos de um ambiente virtual, mais envolvidos ficam na experiência, que por sua vez aumenta a sensação de presença. Se o utilizador estiver preocupado com problemas pessoais ou focado em atividades fora do AV, o seu envolvimento será diminuído. Por exemplo, se o HMD utilizado for desconfortável, o utilizador estará menos envolvido, porque estará parcialmente focado num problema exterior ao AV.

O envolvimento depende apenas do quão bem as atividades ou eventos no AV conseguem captar e manter a atenção do utilizador. Um jogo como o *Pac-Man* pode trazer um elevado nível de envolvimento e no entanto ter uma baixa imersão [31]. É aqui que convém distinguir entre estes dois conceitos.

3.3.5 Imersão

*«Immersion is a psychological state characterized by perceiving oneself to be enveloped by, included in, and interacting with an environment that provides a continuous stream of stimuli and experiences.»*¹⁰ [31].»

A imersão é vulgarmente confundida com a presença. A imersão é mais relacionada com a componente tecnológica da simulação ou a fidelidade da informação sensorial, como por exemplo a qualidade dos gráficos do ambiente virtual, a resolução dos ecrãs, a reprodução de áudio em 3D e a capacidade de tocar e interagir com objetos virtuais.

Fatores como o isolamento/separação do ambiente físico, privando o utilizador das sensações desse ambiente, modos de interação e controlo naturais e perceção de inclusão e de movimento no AV contribuem largamente para a imersão ([31], p.227). É por esta razão que um jogo como o *Pac-Man* não é imersivo, embora apresente um fluxo coerente de estímulos com o qual o utilizador pode interagir.

A imersão depende bastante da tecnologia usada e é uma das grandes limitações da RV, sendo o principal motivo porque esta foi abandonada no final dos anos 90. Um ambiente virtual que produza uma maior sensação de imersão vai também produzir um maior grau de presença [31]. No entanto, a condição de imersão não é suficiente, sendo que tanto o envolvimento como a imersão são condições necessárias para a sensação de presença.

3.3.6 Presença

3.3.6.1 Definição

Bystrom *et al.* (1999, p. 241) [32] definem presença como:

¹⁰Tradução: Imersão é um estado psicológico caracterizado pela sensação de inclusão e interação do utilizador com um ambiente que fornece um fluxo contínuo de estímulos e experiências.

«(...) *the degree to which participants feel that they are somewhere other than where they physically are when they experience the effects of a computer-generated simulation*¹¹.»

A sensação de presença está relacionada com o grau em que o utilizador se sente noutra espaço, tanto a nível tecnológico como psicológico. Isto é, se os sistemas visual e auditivo são realistas, se as interações com os objetos/entidades virtuais são naturais e fluidas, se a experiência tem significado ou é interessante para o utilizador, etc.. Em suma, “*presence is a factor of both the vividness of an experience and the level of interaction*¹²” [19].

3.3.6.2 Fatores contribuintes

Baseando-nos na obra de Gerard Kim (2005, [1]) e no artigo de Witmer e Singer (1998), é de seguida apresentada uma síntese dos fatores contribuintes para a sensação de presença num ambiente virtual:

Sensoriais

Referem-se à criação de um ambiente o mais realístico possível do ponto de vista tecnológico e de interação.

- **Realismo¹³ visual:** campo de visão, tamanho do *display*, resolução da imagem, iluminação, perceção de profundidade, etc.. ;
- **Realismo aural:** qualidade do som, áudio espacial 3D, etc..;
- **Realismo háptico:** existência e realismo de *feedback* de forças, toque, vibrações, etc..;
- **Outros sentidos:** existência e realismo de outras sensações (*e. g.* cheiro, vento, etc..) ;
- **Multimodalidade sensorial:** quantos sentidos são estimulados, a que nível, coerência entre estímulos e consistência dos estímulos¹⁴.

De controlo

Referem-se à capacidade do utilizador de experienciar e manipular o ambiente virtual.

¹¹Tradução: (...) o grau em que os utilizadores sentem que estão num espaço diferente do espaço em que realmente estão quando imersos numa simulação gerada por computador.

¹²Tradução: a presença depende tanto da nitidez da experiência como do nível de interação.

¹³O realismo não requiere conteúdo do mundo real, mas sim conexão e coerência entre os estímulos apresentados. Por exemplo, o utilizador pode-se encontrar num mundo virtual “falso” ou imaginado que seja realista.

¹⁴Todos os estímulos devem descrever o mesmo ambiente virtual.

- **Grau de controlo:** a presença aumenta com o grau em que o utilizador pode interagir com o ambiente;
- **Resposta do controlo:** atrasos entre a ação e a consequência reduzem a sensação de presença;
- **Antecipação:** a capacidade de previsão dos eventos aumenta a presença, quer estejam ou não sob controlo do utilizador;
- **Modo de controlo:** quanto mais natural for o modo de interação com o ambiente, maior a sensação de presença;
- **Resposta física do ambiente:** a presença aumenta com o grau em que o ambiente se modifica com as ações do utilizador (*e. g.* abrir portas, mover objectos, moldar barro, etc..).

Psicológicos

Referem-se à ligação psicológica e emocional do utilizador com a experiência.

- **Relevância da experiência:** a presença deve aumentar quanto mais relevante for a experiência para o utilizador, que depende da sua motivação para aprender, experiências passadas, etc..;
- **Conteúdo:** o uso de enredos e conteúdo emocional pode aumentar a sensação de presença.

Negativos

Fatores que contribuem negativamente para a sensação de presença, isto é, que puxam o utilizador para fora da experiência ao invés de o inserir nesta.

- **Obstrução do *hardware*:** a presença diminui se o *hardware* for incómodo para o utilizador (*e. g.* HMD pesado/desconfortável, fios, etc..);
- **Interferência do mundo real:** a presença aumenta com o grau de isolamento do mundo real, logo, interferências sensoriais externas (visuais, auditivas, etc..) são prejudiciais à experiência virtual.

3.3.6.3 Medição de presença

De acordo com Sheridan (1992, [33] p. 121), a presença é uma sensação subjetiva ou uma manifestação mental pouco passível de uma definição fisiológica objetiva ou de medição. Bystrom *et al.* (1999, [32]) apresentam no seu artigo um modelo conceptual (figura 3.13) da relação entre a imersão, presença e desempenho:

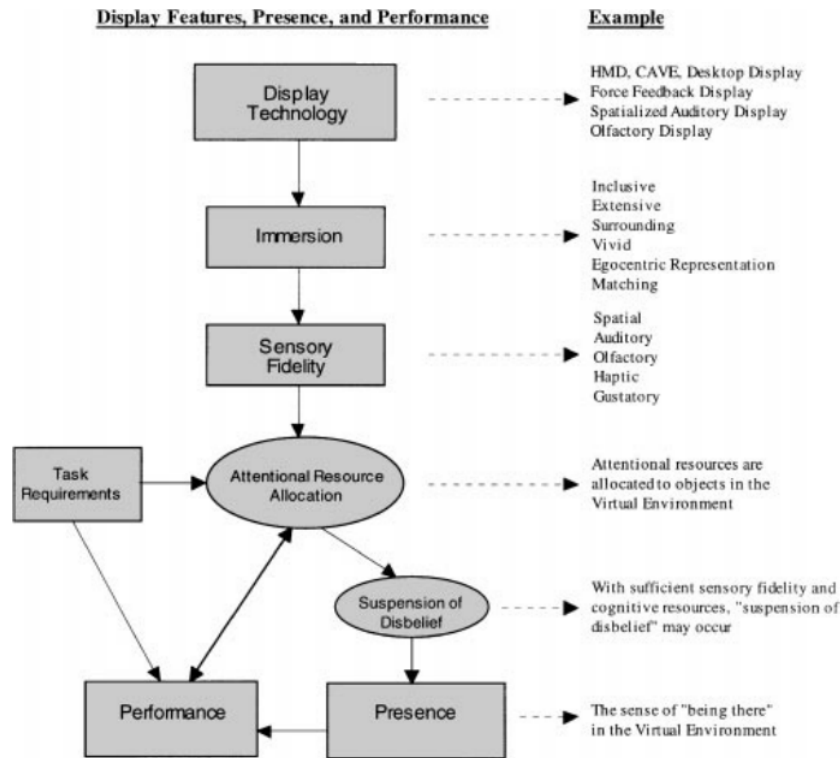


Figura 3.13: Modelo IPP (*Immersion, Presence, Performance*) [32]

Resumidamente, este modelo assume como ponto de partida as tecnologias que permitem a produção dos ambientes virtuais, tais como os ecrãs, os HMD's, os dispositivos hápticos, etc.. Estas tecnologias permitem a criação de imersão, que neste caso está relacionada com as características quantificáveis do *hardware*, como a resolução da imagem, campo de visão, graus de liberdade do controlador, entre outras.

Estas características contribuem para o terceiro elemento do modelo, que representa o impacto da imersão na fidelidade da informação sensorial fornecida ao utilizador. Fidelidade sensorial é o grau com que a apresentação e transformação de informação visual, sonora e háptica se assemelha à apresentação e transformação de informação sensorial no mundo real [32]. Por exemplo, olhar à volta num ambiente virtual com um HMD que rastreia o movimento da cabeça é mais imersivo do que arrastar um rato de computador para mover a câmara.

De modo a iniciar a interação, o utilizador tem de alocar atenção aos objetos e/ou eventos virtuais. Os requisitos da tarefa a realizar influenciam a quantidade de atenção que o utilizador aloca ao ambiente virtual, o que podemos entender como o grau de envolvimento. Se o grau de fidelidade sensorial for minimamente elevado e o utilizador estiver suficientemente envolvido no AV, pode experienciar "suspensão de descrença¹⁵" e ver o ambiente virtual como um sítio real, sentindo-se presente neste. Neste modelo, é postulado que a presença é uma

¹⁵A vontade intencional de ignorar lógica ou pensamento crítico perante uma situação surreal (tal como uma experiência em RV), aceitando-a como verdadeira para entretenimento próprio [34].

condição necessária para o desempenho, que, por sua vez, afeta indiretamente a sensação de presença. Isto é, se a tarefa a realizar for suficientemente cativante para o utilizador, este irá alocar mais atenção ao AV, por sua vez aumentando a sensação de presença.

Este modelo sugere que o único fator afetado pela presença é o desempenho, sendo que existem vários estudos que concluem que existe uma relação positiva entre a sensação de presença e o desempenho do utilizador na simulação (*e. g.* [31] e [35]). No entanto, mesmo a avaliação do desempenho num AV não constitui uma medição nem viável nem absoluta de presença, dado que depende da capacidade do utilizador em realizar testes referênci¹⁶ ([19], p. 330), variando de utilizador para utilizador, e devido ao facto de que algumas experiências em RV não requerem ações do utilizador.

Outra forma de avaliar o grau de presença sentido por um utilizador é por questionários, tal como o que Witmer e Singer apresentam no seu artigo de 1998 [31]. Apesar deste tipo de questionários serem subjetivos, tornaram-se a forma mais comum de avaliar a presença, dado que os resultados permitem perceber os pontos fortes e fracos de uma simulação e de que maneira esta pode ser melhorada.

3.4 Unity

Como foi explicado no capítulo 1, o Unity é um *game engine* que permite o desenvolvimento de experiências em realidade virtual. De seguida serão referidos alguns casos de uso do Unity.

Na indústria de jogos é usado desde a criação de jogos de telemóvel básicos até jogos complexos destinados a plataformas dedicadas (*e.g.* *PlayStation*). Permite também desenvolver jogos de realidade virtual, que actualmente já se encontram disponíveis para todas as plataformas, e para os quais o Unity oferece ferramentas dedicadas, tais como *High Definition Render Pipeline* (HDRP)¹⁷ e suporte para áudio espacial.

Na indústria automóvel, marcas como Audi, BMW, Volvo e Lexus utilizam a capacidade de renderização¹⁸ instantânea do Unity para criar modelos virtuais de alta qualidade em tempo real. Por exemplo, os *designers* podem fazer alterações no ficheiro CAD, importá-lo para o Unity e renderizá-lo instantaneamente de modo a explorar e interagir com o modelo em RV. *Designers* noutra localização podem ainda aceder virtualmente e colaborar no processo e o modelo virtual pode ser colocado em qualquer parte do mundo, seja para colaborações, apresentações, testes ou eventos de *marketing* [37]. As funcionalidades do Unity tornam-no numa ferramenta muito poderosa também para as indústrias aeronáutica, espacial e de manufactura, dado que possibilita interatividade em tempo real com modelos virtuais de qualquer parte do mundo e o desenvolvimento de ferramentas de RA/RV para melhorar a

¹⁶*e. g.* mover-se no mundo virtual, manipular objetos virtuais, localizar sons, etc..

¹⁷*Rendering Pipeline* - um modelo conceptual que descreve os passos necessários para o sistema gráfico renderizar um cenário 3D num ecrã 2D [36]

¹⁸Renderização - obtenção de um produto final (*e. g.* imagem) por meio de processamento digital

eficiência e qualidade de desenho, engenharia, treino e linhas de produção.

Na indústria de cinematográfica o Unity possibilita a colaboração simultânea entre todos os artistas de um projecto com a sua capacidade de renderização em tempo real. Deste modo, é possível iterar e experimentar com maior frequência, produzir mais rapidamente, e ver as alterações feitas por cada artista em qualquer ponto do projecto de forma instantânea, reduzindo as hipóteses de erros e falta de comunicação.

Na indústria de arquitetura, engenharia e construção civil o Unity permite desenhar e criar edifícios em RV, iterar desenhos entre equipas mais frequentemente, treinar equipas de construção civil num ambiente virtual e até fazer visitas guiadas aos projetos antes de estes sequer tomarem forma física.

Na vertente educacional, o Unity é usado nas áreas de Medicina, como é exemplo da aplicação em Realidade Aumentada CAE Vimedix, usado na aprendizagem de ultrasons, permitindo a visualização da anatomia de um corpo em tempo real [38]; na área de Engenharia, como é exemplo da aplicação da *Pratt & Whitney* mencionada anteriormente, que permite examinar virtualmente um motor *turbofan*; é útil na área da Psicologia, como provado pelo programa *Kognito*, que permite ao utilizador interagir virtualmente com personagens de IA num ambiente controlado e ensiná-lo a identificar e lidar com pessoas que precisam de apoio psicológico [39]; pode também ser usado na criação de animações em RV para o ensino de história, como é exemplo a experiência interactiva *Breaking Boundaries VR*, que coloca o utilizador dentro das vidas de cientistas como é o caso de Marie Curie e Jane Goodall [40].

É uma ferramenta cada vez mais usada e eficaz para campanhas de *marketing* que envolvem interações virtuais, tais como a apresentação virtual do *Jaguar I-PACE* [41], as visitas guiadas em RV ao cruzeiro *Celebrity Edge* [42] e a campanha de lançamento dos ténis *Nike React* [43]. O vasto leque de capacidades do Unity e a exponencial utilização de experiências em RA/RV tornam-no numa das ferramentas de programação mais polivalentes e com maior evolução actualmente.

3.5 Regulamentação aplicável

Não aplicável a este tipo de ferramentas.

3.6 Realidade Virtual na ETI

Até ao momento, a ETI ainda não fez uso da Realidade Virtual nos seus simuladores, mas está a começar a testar esta tecnologia para implementar no futuro. O demonstrador desenvolvido no âmbito deste trabalho foi dos primeiros projetos a utilizar RV na ETI.

3.7 Casos de estudo relevantes

Esta secção contém vários casos de uso da realidade virtual para formação e treino, estando dividida em duas subsecções. Na primeira é apresentada uma aplicação da Linde para treino de pessoas fora da indústria aeronáutica, na segunda serão apresentados vários casos de uso da realidade virtual em diferentes vertentes da aeronáutica.

3.7.1 *Linde Virtual Academy*

A *Linde Virtual Academy* é uma biblioteca virtual de aplicações em RV, destinadas ao treino do pessoal que opera em fábricas de gás. Contém vários módulos de treino que abrangem tanto tarefas de rotina como situações de emergência, o que permite aumentar a eficiência das pessoas por meio de treinos mais frequentes e prepará-los para situações de perigo ao praticar rotinas de emergência num ambiente virtual seguro. De seguida estão enumerados alguns módulos que a *Linde Virtual Academy* disponibiliza:

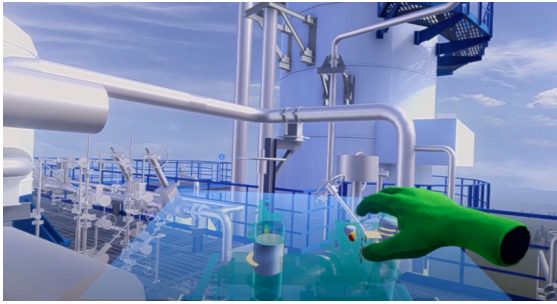
- Resposta de emergência a um incêndio;
- Enchimento de camiões cisterna com gases líquidos;
- Arrefecimento e arranque de uma bomba criogénica;
- Troca entre válvulas de segurança;
- Drenagem de gases líquidos;
- Resposta a incidentes em espaços confinados;
- Fuga de gases líquidos de um camião cisterna.

Esta biblioteca de aplicações de RV é vendida pela Linde como uma plataforma virtual *online* (uma *cloud*) que pode ser adquirida por qualquer empresa que trabalhe no tratamento de gás natural.

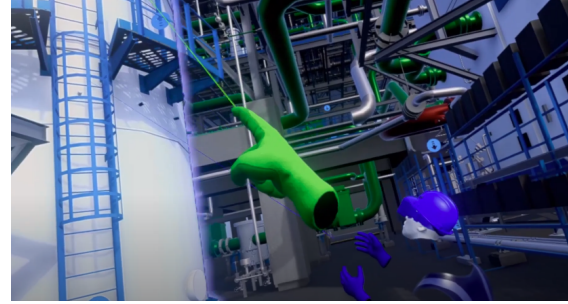
Esta plataforma permite assim às pessoas aceder aos módulos de treino a qualquer altura em qualquer lugar desde que tenham acesso ao equipamento necessário (*e. g.* HMD's, computador, etc.), oferecendo também as últimas versões de cada módulo sempre que há uma atualização [44].

3.7.2 Realidade Virtual em treino aeronáutico

A utilização da RV em treino aeronáutico, seja no setor comercial ou de defesa, não é novidade. Nos últimos anos têm sido implementados programas de treino baseados em Realidade Virtual com excelentes resultados.



(a) Visualização da planta em RV



(b) Treino multi-jogador



(c) Cenário de incêndio



(d) Cenário de enchimento de um caminhão cisterna

Figura 3.14: Cenários de diversos módulos da *Linde Virtual Academy*

Tome-se como exemplo o programa Pilot Training Next (PTN) da Força Aérea dos Estados Unidos da América [45], que desde 2018 tem formado pilotos com recurso à RV; o programa de treino de comissários de bordo da Lufthansa Aviation Training (LAT) [46] implementado em 2019, que permite o treino de vários comissários simultaneamente sem a necessidade de simuladores físicos; a aplicação em RV da *Pratt & Whitney* [47], que permite que o utilizador possa "olhar" para dentro de um motor GTF¹⁹, examinado peças e vendo o motor a funcionar; e o programa RAMPVR da IATA [48] para treino de operações terrestres, tais como procedimentos de embarque e inspeções pré-voo.

Vora *et al.* [49] reconhecem o valor da RV para inspeção visual de defeitos em aeronaves, concluindo que este tipo de treino em RV assemelha-se bastante à realidade em termos de imersão e interatividade e pode ser usado como ferramenta para facilitar estudos em ambientes controlados e para compreender o desempenho humano neste tipo de trabalho.

De seguida serão apresentadas em maior detalhe algumas aplicações de realidade virtual aplicadas a diferentes áreas da aeronáutica.

3.7.2.1 *Pilot Training Next*

O voo real é um método de treino dispendioso devido ao elevado custo de operação das aeronaves e aos apertados requisitos de segurança. Os simuladores de voo (*Full Flight Simulators*) não têm tantas complicações logísticas mas têm também um custo elevado comparado

¹⁹*Geared Turbofan.*

com os simuladores do programa PTN.

Este programa da *United States Air Force* (USAF) foi criado para responder à escassez de pilotos nos últimos anos, parcialmente devida aos elevados custos associados ao treino desta função.

Iniciado em 2018, utiliza tecnologias como realidade virtual e Inteligência Artificial (IA) para criar uma aprendizagem imersiva focada no aluno [50].

Por exemplo, a IA é usada para analisar o desempenho de cada aluno e modificar o ambiente de treino de acordo com as suas capacidades individuais. Isto permite que o aluno trabalhe mais nas suas fraquezas ao invés de reforçar os seus pontos fortes.

Os simuladores usados neste programa são construídos com componentes disponíveis no mercado geral (*i.e.* não é necessário construir ou encomendar componentes especiais) e são constituídos por um computador, vários monitores, um conjunto de controladores de voo (*joystick*, pedais, etc.) e um capacete de RV, como demonstrado na figura 3.15.

O uso destes tipo de simuladores traz uma redução significativa dos custos de treino, dado que cada unidade custa entre “\$8000-10000 comparado com \$26 milhões de um simulador normal [51]” e, simultaneamente, aumenta a disponibilidade do treino dado que os pilotos têm acesso constante aos simuladores.

Consequentemente, no primeiro ano deste programa, os pilotos conseguiram completar o curso em quatro meses. Tipicamente, este tipo de treino demora um ano [52].



Figura 3.15: Simulador da PTN

3.7.2.2 CAE Sprint VR Trainer

O CAE Sprint Virtual Reality Trainer ([53]) é um simulador de voo que integra realidade virtual com controlos físicos. O simulador consiste numa plataforma com um banco, acelerador,

manete e pedais, como se pode ver na figura 3.16.

Durante o treino, o aluno está sentado no banco e a usar um HMD. Deste modo, o aluno sente-se dentro do *cockpit*, imerso no ambiente virtual, e ao mesmo tempo tem acesso aos controlos físicos da aeronave.

Isto é uma solução excelente para ultrapassar as limitações atuais da RV no que toca a manipulação e controlo de objetos virtuais com elevada precisão.

Além disso, o HMD usado neste simulador permite o rastreamento ocular e incorpora o Leap Motion Controller que permite o rastreamento de alta precisão das mãos em realidade virtual.

Assim, o aluno não necessita de utilizar quaisquer controladores de RV para interagir com o restante *cockpit* e tem muito mais controlo nos seus movimentos dado que o Leap Motion Controller também rastreia os dedos. A plataforma também fornece sensação háptica ao aluno por aplicação de forças nos controlos da aeronave e vibrações do banco.

Em termos de *software*, este simulador incorpora um instrutor virtual que fornece instruções e *feedback* imediatos e permite a avaliação e rastreamento do desempenho de cada aluno.

A CAE sublinha algumas vantagens essenciais deste sistema:

- Os alunos podem treinar cada um a seu ritmo, não estando limitados ao ritmo de progressão da turma a que pertencem;
- Simulação completa dos sistemas da aeronave e simulação meteorológica completa característica de FFS's;
- Os simuladores podem comunicar entre si para treino multijogador;
- O baixo custo destes simuladores relativamente a FFS's permite a aquisição de mais unidades, resultando que mais alunos podem treinar simultaneamente.

3.7.2.3 IATA RAMPVR

Em 2018 foi estabelecida uma cooperação entre a IATA e a Fraport Ground Services, que realiza operações terrestres no aeroporto de Frankfurt, com o intuito de criar uma aplicação em RV que permitisse o treino de módulos como orientação das aeronaves na pista e inspeções às aeronaves entre voos.

Esta aplicação teve um período de teste de três meses, sendo que os resultados finais foram positivos, com 70% dos operários a avaliar a aplicação como útil para o treino deste tipo de operações.



Figura 3.16: CAE Sprint VR Trainer

Após este período, a Fraport Ground Services tomou a decisão de adotar permanentemente estes dois módulos de RV como parte permanente do treino dos seus funcionários, com intenções futuras de desenvolver mais módulos e expandir o treino em RV para outras áreas.

A IATA sublinha os seguintes benefícios da sua aplicação em [48]:

- Complementa o treino teórico com treino prático da RV;
- Cria uma multitude de cenários e falhas operacionais de difícil reprodução em condições reais;
- Permite aos funcionários uma familiarização com vários tipos de aeronaves;
- Simula operações diurnas ou noturnas com diferentes condições de visibilidade;
- Avalia o desempenho dos funcionários e fornece *feedback* instantâneo;
- Aumenta a frequência e a facilidade de acesso ao treino.

3.7.2.4 Lockheed Martin CHIL

O laboratório CHIL da Lockheed Martin permite a colaboração entre o desenho do produto e as equipas de manufatura. É usada RV para analisar o desenho do produto e o processo de manufatura num ambiente virtual antes de este seguir para a linha de produção, o que permite aos engenheiros e técnicos testar e validar produtos e processos numa fase inicial quando o custo, risco e tempo associados a possíveis alterações no produto são baixos e também elimina a necessidade de construir protótipos físicos [54].

Também pode ser usado como linha de montagem virtual de modo a tentar detetar qualquer erro no desenho de peças e perceber que aspetos podem ser melhorados antes de iniciar a

sua produção (ver figura 3.17).

O laboratório foi construído em 2010 por 5 milhões de dólares (USD²⁰), e, num artigo de 2017, a Lockheed Martin afirma que poupa cerca de 10 milhões de dólares por ano com a implementação desta tecnologia, com o retorno sobre o investimento inicial aumentando significativamente de ano para ano [55].

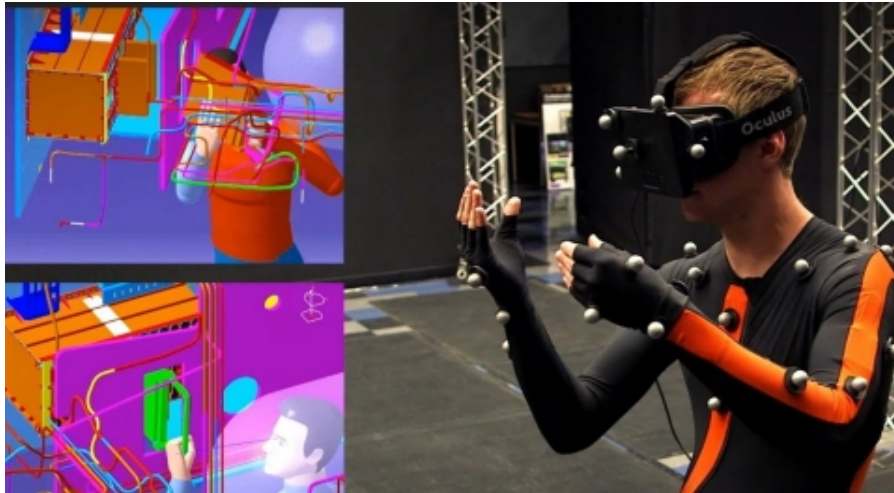


Figura 3.17: CHIL

3.7.2.5 EON Reality

A EON Reality oferece um simulador de inspeções pré-voo para vários tipos de aeronaves. Este simulador permite ao utilizador fazer um *walkaround* virtual à aeronave e realizar a inspeção pré-voo na sua totalidade. Esta é a aplicação mais semelhante à desenvolvida neste trabalho, contudo, não existe muita informação relativa a esta. Na figura 3.18 pode-se ver esta aplicação a ser usada para a realização de inspeções pré-voo.

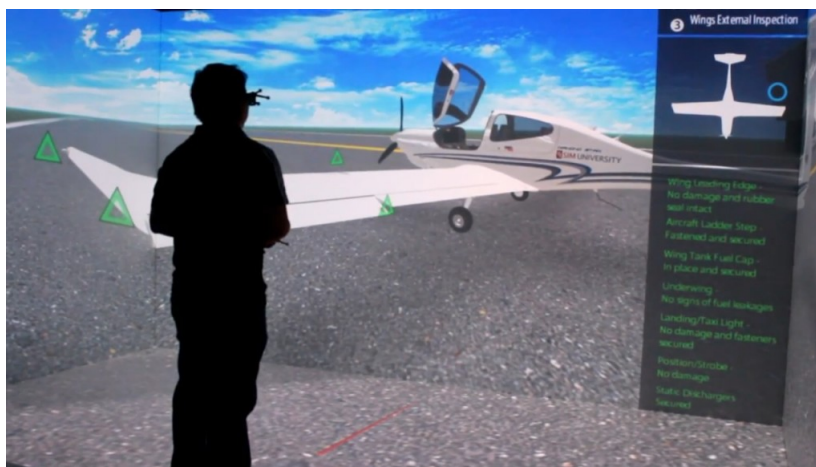


Figura 3.18: EON Reality Aviation Maintenance Trainer

²⁰US Dollars.

3.8 Limitações existentes

Tal como todas as tecnologias, a Realidade Virtual tem as suas limitações. Nesta secção serão mencionados alguns pontos fracos da realidade virtual, tais como o custo dos sistemas de RV, os sintomas adversos consequentes da sua utilização e a falta de sensação de sensação física do ambiente virtual.

Embora já tenha havido progresso em todos estes pontos, por meio da diminuição dos custos, da criação de soluções para reduzir os sintomas adversos e o desenvolvimento de tecnologia que permite sentir objetos e forças do ambiente virtual, estes continuam ainda a ser os fatores que mais atrasam a adoção da realidade virtual.

3.8.1 Custo

Sendo uma tecnologia relativamente recente, os custos associados à utilização e ao desenvolvimento da RV ainda são elevados, comparados com a tecnologia 3D.

De um ponto de vista do *hardware*, a maioria dos HMD's requerem ecrãs com uma resolução elevada, um conjunto de sensores de deteção de movimento corporal e comandos para o movimento das mãos. Esta informação precisa de ser transferida para um computador, que também precisa de ter uma capacidade de processamento alta.

Passando para o *software*, embora o ambiente virtual de uma experiência seja semelhante a um ambiente 3D (como visto num monitor), o facto de o utilizador poder interagir com este torna o desenvolvimento em RV mais complicado e demorado relativamente ao desenvolvimento em 3D.

Contudo, tal como todas as tecnologias, de acordo com a Teoria de Henderson²¹, o seu custo decrescerá ao longo do tempo.

Após um breve estudo do mercado, pode-se ver como a evolução do preço dos HMD's mais comuns desde os seus lançamentos tem sido significativa. O Oculus Rift original, lançado em 2016, tinha um custo de 600 USD, enquanto o Oculus Rift S (2020) tem um custo atual de 400 USD, além de ter uma qualidade superior ao seu predecessor. O HTC Vive custava 800 USD quando foi lançado em 2016. Atualmente (2020), o modelo mais recente da HTC, o Cosmos, tem um preço de 700 USD com características bastante superiores ao Vive de 2016 (*e.g.* aumento de 88% na resolução de pixels).

²¹A Teoria de Henderson afirma que o preço de um certo produto ou tecnologia decresce consistentemente entre 20 e 30% cada vez que a produção acumulada é aplicada, devido ao aumento da eficiência dos operários, à padronização de processos, componentes e métodos, que aumenta a eficiência do processo de manufatura, à eliminação de defeitos no produto, ao aumento da competitividade do mercado, *etc.*

3.8.2 Sintomas adversos

Um dos grandes inconvenientes da utilização de sistemas de Realidade Virtual é sensação de náusea, tonturas, desorientação e fadiga por parte do utilizador.

Um estudo de 2019 ([56]) refere-se a estes sintomas como VRISE (*VR Induced Symptoms and Effects*). A um nível tecnológico, pensa-se que estes sintomas sejam causados pela qualidade do *hardware* (e. g. baixas taxas de atualização, resolução baixa, campo de visão estreito, rastreamento de movimento fraco) e pela ergonomia do *software* (e. g. navegação no ambiente virtual, modo de interação). Por outro lado, este estudo ([56]) sugere que a presença e intensidade dos sintomas é modulada pela duração da sessão de realidade virtual, e que não aparenta ser afetada pela idade, educação e pela experiência de jogos virtuais do utilizador.

Duas maneiras de reduzir estes sintomas é utilizar um método de locomoção adequado (explicado abaixo) e ter um sistema que consiga correr o *software* pelo menos a 90 *fps*, de modo a que tempo entre o movimento do utilizador e a imagem transmitida no HMD seja mínimo.

3.8.3 Locomoção

A locomoção, ou navegação em realidade virtual, à exceção de navegação física do utilizador num espaço físico com rastreamento do corpo, é feita com controladores de mão. Além disso, é uma das maiores causas de náusea em RV.

Este fenómeno deve-se ao facto do movimento em RV ser efetuado com *inputs* que não são naturais ao ser humano, tais como um *touchpad* ou um teclado. Deste modo, durante o movimento, a informação visual recebida pelo utilizador não corresponde à informação recebida pelo sistema vestibular²², o que cria um conflito entre estes dois sistemas, tal como se estivermos a ler numa viagem de carro: o nosso corpo está em movimento mas não estamos a receber informação visual que corresponda a esse movimento.

Se o utilizador for exposto a informação desta natureza durante um período de tempo prolongado, pode experienciar náusea, tonturas, entre outros efeitos adversos (VRISE) [58].

Quando se percebeu que a navegação com *touchpad*, *joystick* ou teclado (denominada *Smooth Artificial Lomotion*) causava náuseas a bastantes utilizadores, começaram a ser desenvolvidos outros métodos de locomoção com o intuito de mitigar este fenómeno. Alguns dos métodos mais utilizados são apresentados de seguida.

²²Conjunto de órgãos do ouvido interno dos vertebrados responsáveis pela deteção de movimentos do corpo [57].

3.8.3.1 Teletransporte

O teletransporte é o sistema de locomoção mais popular em RV, sendo que o modo mais básico de teletransporte é o instantâneo. Isto é, o utilizador aponta para onde quer ir, e ao clicar de um botão, é teletransportado instantaneamente, sem qualquer tipo de movimento contínuo.

Este meio de locomoção elimina assim a informação visual prolongada recebida pelo movimento, mitigando o conflito entre sentidos e, conseqüentemente, a sensação de náusea associada à locomoção.

3.8.3.2 *Head-bobbing*

O *head-bobbing* é o movimento/trajetória que a cabeça de uma pessoa faz ao andar. O método de locomoção baseado neste princípio aplica engenharia inversa para deslocar o jogador no ambiente virtual. Isto é, enquanto que no mundo real o movimento da cabeça é derivado da ação de andar ou correr, no mundo virtual o andar ou correr é consequência do movimento da cabeça do utilizador, que pode estar sentado ou em pé. Deste modo, as mãos do utilizador ficam livres para outras interações com o ambiente virtual.

3.8.4 Tecnologia háptica

A sensação háptica é um fator muito importante para imersão. Embora os sistemas de realidade virtual atuais consigam criar uma ilusão de presença por estímulos visuais e auditivos, a sensação física de interagir com objetos virtuais ainda é um grande desafio.

Não obstante, já existem bastantes dispositivos hápticos (tais como luvas e coletes) à venda no mercado que permitem que o utilizador sinta no seu corpo as interações que faz com o ambiente virtual. E apesar de ser uma tecnologia bastante recente, limitada e com os seus inconvenientes, tem tido um crescimento muito rápido.

Embora hoje “apenas” seja possível sentir a sensação de pegar num objeto virtual ou sentir as forças de um impacto no torso por exemplo, prevê-se que no futuro esta tecnologia possibilite a sensação de texturas, temperatura, fricção e pressão [59].

Nas figuras 3.19 e 3.20 são apresentados dois dispositivos hápticos de RV que permitem ao utilizador sentir forças nas mãos e torso.

3.9 Desafios

Além do desafio que é melhorar a tecnologia dos sistemas de realidade virtual atual e superar as limitações supra apresentadas, a RV ainda é uma tecnologia relativamente recente e tem bastantes desafios pela frente até ser uma ferramenta utilizada em maior escala.



Figura 3.19: Dexta Robotics Dexmo Gloves



Figura 3.20: BHaptics Tactsuit

Alguns dos desafios mais relevantes para a RV são a criação de infraestruturas de transmissão de dados, a utilização das redes 5G para uma transmissão de dados mais rápida e a integração da inteligência artificial em aplicações de RV, que serão apresentados em maior detalhe de seguida.

3.9.1 Infraestruturas

Um dos maiores desafios a nível empresarial e industrial é desenvolver estruturas de transmissão de dados (modelos 3D, aplicações de RV, linhas de código) de modo a que a informação seja acessível a uma grande escala, usável e partilhada entre departamentos, equipas e pessoas de uma empresa ou entre empresas.

Implementadas estas estruturas, podemos esperar que o treino e formações em RV se tornem práticas mais frequentes e usadas em maior escala, que os funcionários das linhas de produção tenham acesso a dispositivos de RA que os ajudem no seu trabalho, e que o desenho de produtos em RA e RM se torne cada vez mais comum.

3.9.2 Redes 5G

Com aparecimento das redes 5G, cria-se o desafio de aproveitar esta tecnologia para transmitir grandes quantidades de informação em tempo quase-real.

Estas redes vão permitir que as aplicações em RV ou AR que necessitem de uma ligação à Internet possam correr com latências extremamente baixas, evitando os sintomas adversos causados por taxas de atualização baixas, como explicado na secção anterior.

A latência é o tempo que os dados demoram a ser transmitidos de um dispositivo (computador, telemóvel, *etc.*) até um destino (servers, clouds, *etc.*). É, por exemplo, um fator muito importante em jogos, onde se quer que o tempo de resposta seja o mínimo, e também o vai ser nos carros autónomos, de modo a que possam comunicar entre si o mais rapidamente possível, evitando acidentes e melhorando o fluxo de trânsito [60].

Para as redes 5G espera-se que a latência seja tão baixa como 1 milissegundo e que a velocidade de transferência alcance 10 GB/segundo, significativamente mais rápido e capaz que os 50 milissegundos de latência e uma velocidade de transferência máxima de 150 MB/segundo das redes 4G atuais ([61]).

As redes 5G vão ter um grande impacto na capacidade das aplicações em RV e RA, dado que permitem transferir mais rapidamente uma maior quantidade de dados ao utilizador. Consequentemente, irá ser possível usar aplicações em RA ou RV no mundo real em tempo real.

Será possível comunicar com familiares/amigos ou ter reuniões a longas distâncias como se estivessem todos na mesma sala, utilizando óculos de RA, colaborar com outras empresas no desenho de um produto em tempo real e até realizar cirurgias a longas distâncias com a ajuda de um *robot* que replica, em tempo real, todos os movimentos de um cirurgião que vê uma reprodução virtual do paciente em RV ou RA ([62], [63]).

Será também possível explorar qualquer sítio e ver como este seria a uma certa altura na história, passado ou futuro, por meio de aplicações de RA. Por exemplo, poderemos estar num castelo vazio e em ruínas e através do telemóvel ou de óculos de RA, ver o castelo como era há séculos atrás e ver as pessoas a andarem por dentro das suas muralhas, podendo andar à vontade pelo ambiente enquanto tudo se desenrola. Outro exemplo seria estarmos numa cidade e, através de uma aplicação de RA, conseguir visualizar uma previsão de como esta seria daqui a 100, 500, 1000 anos. Não há limites para o que se poderá visualizar.

Para todas estas aplicações correrem fluidamente, ou seja, para não passar demasiado tempo entre a deteção dos movimentos do utilizador e a transmissão das imagens corretas, a transmissão de dados tem de ser rapidíssima, algo que as redes 5G irão proporcionar, abrindo novas possibilidades no mundo da RV.

3.9.3 Inteligência Artificial

A fusão da Realidade Mista com a Inteligência Artificial é um desafio que pode trazer oportunidades muito interessantes ([64], [65]). Um exemplo da sua aplicação é na área do turismo, onde pode ser usada uma aplicação em RV para dar uma experiência “teste” ao utilizador, uma espécie de amostra de como seria ir a um certo sítio ou realizar certa atividade, como por exemplo ficar num hotel ou *resort*, ir a um parque de diversões ou a uma localização turística, entre outros.

O papel da IA seria aumentar a dinâmica dessa simulação. Isto é, o utilizador poderia ir a um sítio turístico e ter um avatar de IA que faça uma visita guiada ao sítio em questão e que interaja com o utilizador de uma maneira realista, como se fosse uma pessoa real.

Na perspetiva do consumo de bens, existem aplicações em RV que já permitem aos utili-

zadores experimentar/ver produtos num ambiente virtual antes de fazerem a compra. Ao implementar inteligência artificial, o consumidor poderia explorar uma loja virtual com a ajuda de um assistente controlado por IA que o ajudasse no processo e até que completasse a venda.

No entretenimento, especialmente na indústria dos jogos, a introdução da Inteligência Artificial em jogos de Realidade Virtual será o próximo grande passo na criação de mundos virtuais mais interativos e realistas. Podemos esperar interações quase humanas com *NPC's*²³ controlados por IA e até desenvolvimento de ambientes virtuais com ajuda da IA, uma tecnologia que a NVIDIA²⁴ está a desenvolver que cria imagens realistas a partir de mapas de segmentação²⁵, como ilustrado na figura 3.21. Este *software* chama-se NVIDIA GauGan e pode ser testado na Internet.

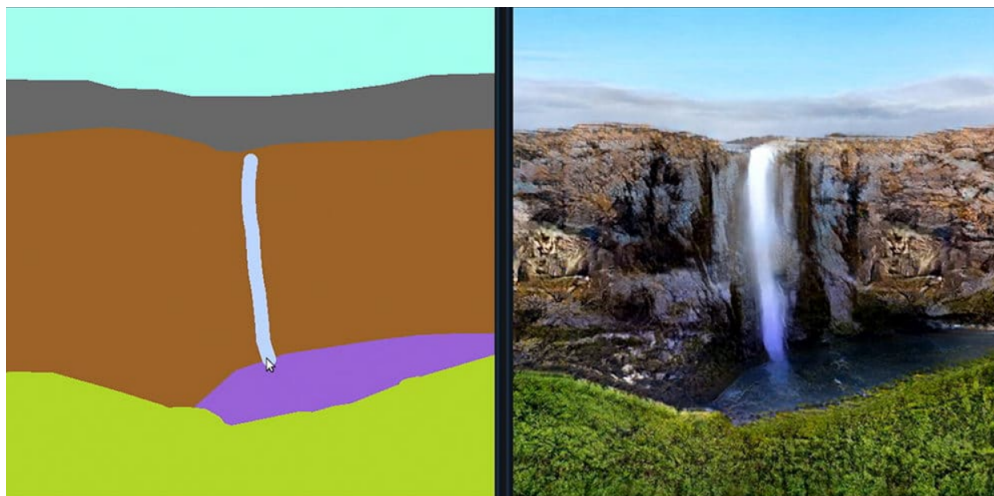


Figura 3.21: NVIDIA GauGan

3.10 Síntese

Nos últimos anos, a evolução tecnológica dos sistemas de RV bem como o aumento de poder computacional tem permitido que simulação virtual se tenha tornado numa ferramenta de aprendizagem cada vez mais indispensável.

A simulação em Realidade Virtual permite o treino de um vasto leque de situações que talvez no mundo real seriam mais difíceis ou impossíveis de treinar, devido a constrangimentos temporais, financeiros, ambientais, de recursos humanos ou devido ao risco de segurança elevado.

O acesso ao treino é muito mais fácil, permitindo assim treino mais frequente, que pode ser

²³*NPC* - *Non playable character* - refere-se a qualquer personagem de um jogo que o utilizador não pode controlar.

²⁴A NVIDIA é uma empresa que desenvolve maioritariamente placas de processamento gráfico.

²⁵Neste caso, mapas de segmentação referem-se a ilustrações com muito pouco detalhe do ambiente que se quer gerar.

monitorizado em tempo real por instrutores, permitindo *feedback* instantâneo.

Além disso, a tecnologia da realidade virtual é apelativa, especialmente para as camadas mais jovens, que resulta num aumento da motivação e interesse pelo ensino e assim, num aumento de interesse pela instituição que faz uso desta tecnologia ([13], p. 10).

Na área da aeronáutica, a simulação em RV é especialmente importante dado que os meios aeronáuticos têm um custo elevado de aquisição, manutenção e utilização, a logística do treino real é complicada e qualquer tipo de treino que envolva voar uma aeronave apresenta um risco relativamente elevado.

Capítulo 4

Descrição do trabalho

Este capítulo aborda o desenvolvimento e a validação do demonstrador.

São apresentados os requisitos do projeto, seguido de uma secção onde se explica resumidamente que métodos foram usados para o desenvolvimento do programa, elaborando também as funcionalidades mais importantes do demonstrador.

De seguida, são discutidos os objetivos deste trabalho, isto é, o que se espera que venha a ser conseguido, tanto do ponto de vista da utilização do demonstrador como da elaboração desta dissertação.

Por fim, aborda-se a validação do demonstrador e retiram-se conclusões relativamente ao que era esperado.

4.1 Requisitos do trabalho

O Anexo A contém a Especificação de Requisitos do Sistema. Neste documento estão apresentados em maior detalhe todos os requisitos do demonstrador, bem como secções sobre as limitações, dependências e pressupostos do projeto e um esquema da arquitetura do sistema.

Os requisitos mais abrangentes do demonstrador, ou requisitos de alto nível, são os seguintes:

- O sistema deve ser realista e imersivo;
- O sistema deve permitir o treino das inspeções pré-voo;
- O sistema deve permitir ao utilizador andar livremente dentro do cenário;
- O sistema deve permitir a interação do utilizador com o exterior da aeronave;
- O sistema deve permitir a interação do utilizador com a instrumentação do *cockpit*;
- O sistema deve permitir a entrada e saída do *cockpit*;
- A interação entre o utilizador com o sistema deve ser feita com recurso a um HMD e comandos de realidade virtual;

- O sistema deve ser desenvolvido de modo a permitir a fácil atualização para futuras evoluções.

4.2 Métodos

Este demonstrador foi desenvolvido com base dos requisitos iniciais e seguindo um modelo de desenvolvimento maioritariamente sequencial, que irá ser explicado em maior detalhe nesta secção. A programação em Unity seguiu-se à definição inicial dos requisitos. Esta secção também contém uma breve explicação de como este demonstrador foi desenvolvido, bem como uma vista geral das suas funcionalidades.

4.2.1 Modelo em cascata

O modelo de desenvolvimento que é utilizado neste trabalho é o Modelo em cascata. É um modelo linear sequencial altamente estruturado, mostrado na figura 4.1 com as suas principais fases. O modelo em cascata contém muita documentação, com as fases iniciais documentando o que é preciso ser feito e as fases subsequentes adicionando pormenores e definindo com deve ser feito.

O *output* de uma fase serve como *input* da próxima, ou seja, o projeto flui de um passo para o seguinte de forma sequencial como uma cascata. O projeto só procede para a fase seguinte após a fase atual ser revista e todos os problemas terem sido resolvidos.

- Vantagens
 - O processo está bem documentado;
 - O planeamento e o desenho do projeto é mais simples, dado que os requisitos são definidos logo no início;
 - O progresso é fácil de medir, dado que as fases do projeto são conhecidas desde o início;
 - A presença do utilizador não é necessária após a definição de requisitos, exceto para revisões, aprovações, *etc.*.
- Desvantagens
 - O produto final só fica disponível e só é testado no final do ciclo de desenvolvimento, tornando quaisquer *updates* ou alterações ao projeto difíceis de implementar;
 - A eficiência é reduzida devido à não sobreposição de fases.

O modelo em cascata pode ser utilizado com sucesso desde que o cliente seja bem claro em relação ao que quer do produto final e desde que os requisitos fiquem bem definidos desde o início, isto é, que correspondam às necessidades do cliente. Além disso, não devem ser expectáveis alterações aos requisitos após a primeira fase, dado que tal implicaria voltar atrás no projeto para as implementar.

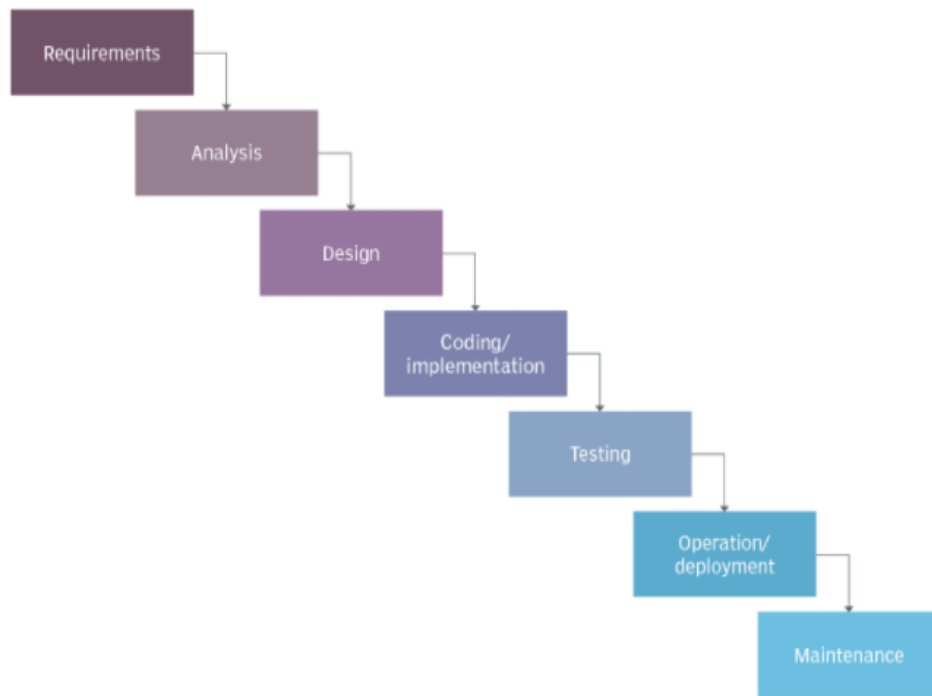


Figura 4.1: Modelo em Cascata [66]

Embora este trabalho tenha seguido o modelo em cascata, foram revistos e alterados muitos requisitos durante o desenvolvimento, aproximando-se mais de uma metodologia ágil. Por exemplo, devido à falta de modelos 3D, alteraram-se os objetivos iniciais de forma a desenvolver outras funcionalidades do demonstrador, tais como a simulação de sistemas.

Além disso, durante o teste do programa, que se efetuava paralelamente ao desenvolvimento, iam-se percebendo que requisitos não faziam tanto sentido ou que não eram necessários e que novos requisitos ou funcionalidades eram essenciais ter no demonstrador. Assim, o desenvolvimento não foi puramente sequencial, teve também uma componente iterativa.

4.2.2 Programação

Para desenvolver uma aplicação ou jogo em Unity, são necessários objetos. Estes objetos são modelos 3D desenhados em computador por meio de um *software* de desenho 3D, tal como o Blender, 3ds Max, CATIA, *etc.*. No caso deste simulador, alguns exemplos dos objetos são a aeronave, o hangar, o gerador, as texturas das superfícies, todas as imagens, entre outros. Basicamente, tudo o que é "físico" ou que se consegue ver no simulador são objetos. Os

objetos utilizados para o desenvolvimento desta aplicação foram criados pela ETI.

O próximo passo é colocar os objetos 3D num cenário virtual de modo a criar o ambiente virtual desejado. Neste caso, o ambiente virtual é um hangar com um Super Tucano e outros objetos necessários para o simulador.

De seguida, de modo a terminar a construção básica do ambiente, deve-se criar um jogador virtual, fontes de som, fontes de luz (*e.g.* o Sol, lâmpadas) e câmaras para visualizar o ambiente virtual. Neste simulador, por exemplo, a câmara mais utilizada está posicionada na cabeça do jogador virtual.

Neste ponto, o ambiente virtual está completo. Contudo, todos os objetos são estáticos e não existe nenhum tipo de comportamento, ação ou interação. A partir daqui grande parte do trabalho consiste em criar *scripts*, que são ficheiros de código que posteriormente são aplicados a um certo objeto estático. Cada *script* contém código que descreve o comportamento do objeto correspondente.

Para efeitos de demonstração, tome-se como exemplo um *script* chamado *PlayerMovement* que é aplicado ao jogador virtual 3D. Este código vai detetar, sempre que o jogo estiver a correr, se o utilizador carrega em alguma das teclas de movimento (WASD). Neste simulador, se o utilizador carregar na tecla W, ser-lhe é imposta uma certa velocidade positiva na direção a que a câmara ligada à sua cabeça está a apontar nesse momento. Ao carregar na tecla D, a mesma coisa acontece, mas a velocidade é imposta no vetor transversal ao jogador, movendo-se para a direita. Pode-se ver um esquema deste algoritmo na figura 4.2.

Tome-se como outro exemplo agarrar num objeto em RV. Neste caso, o objeto que seria apanhado teria de ter um *script* que detetasse quando a mão do jogador estivesse perto, ou dentro de um certo volume, e se o utilizador carregasse num certo botão, a posição do objeto igualava-se à posição da mão do jogador, seguindo assim a posição da mão do jogador como se estivesse a ser agarrado. Se porventura o jogador largasse o botão, o objeto cairia ou não dependendo se estivesse no ar ou sobre uma superfície, algo que também teria de ser programado. Ou seja, todas as interações e comportamentos têm de ser programados e aplicados aos objetos relevantes para a simulação.

Toda a progressão e gestão do jogo tem também de ser programada. Neste demonstrador, isto refere-se à progressão do jogo: se é guiada e só está um objeto e tarefa ativo de cada vez ou se é livre e estão todos os objetos e tarefas ativos, saber qual é a tarefa em curso e apresentar a informação relevante na interface, saber quando um objetivo foi completo e como passar para o próximo, saber o estado de todos os botões e interruptores para determinar se um procedimento foi bem feito ou se ainda há algo em falta, reiniciar todas as variáveis dos *scripts* e reposicionar todos os objetos no ambiente se o jogador quiser reiniciar a simulação, entre outros.

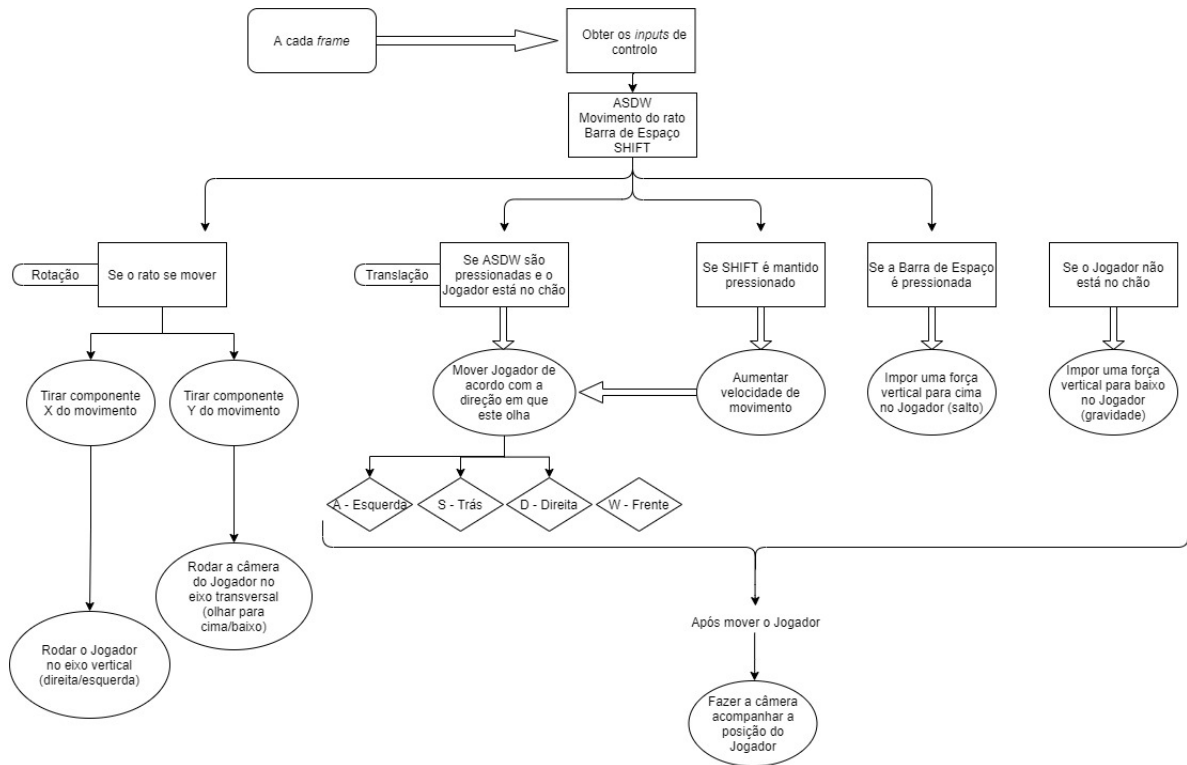


Figura 4.2: Algoritmo do *PlayerMovement*

De modo a simular os sistemas da aeronave, por exemplo, o sistema elétrico, é necessário programar a lógica do sistema (como funciona), saber o estado de todos os interruptores, contactos, fontes de energia e barramentos que constituem o sistema elétrico e programar que *outputs* é que o sistema tem de apresentar em cada estado, isto é, de um modo geral, o que se liga ou desliga dependendo de que interruptores ou fontes de energia estão ligadas.

Todos os objetos devem ser dotados de componentes dependendo do seu comportamento no jogo. Por exemplo, uma bola que possa ser agarrada deve ter um corpo rígido que torna possível as interações físicas entre a bola e o resto do ambiente e deve também ter um *collider*, que define os limites do volume da bola para que esta possa colidir com outros objetos e para possibilitar também interações com o jogador e outros objetos.

Além disso, existem outros aspetos que também têm de ser desenvolvidos pelo programador, tais como as animações e o processamento da imagem.

O trabalho do programador consiste assim em criar um ambiente virtual coerente a partir dos modelos 3D, escrever vários ficheiros de código que descrevam o comportamento de cada objeto e como o jogo deve funcionar, adicionar componentes a cada objeto que permitam que este funcione corretamente, criar animações, gerir o áudio, *inputs* e transições entre cenas, guardar informação relativa ao jogo e aos seus objetos, trabalhar na apresentação e qualidade do jogo (luzes, processamento de imagem, qualidade gráfica, *etc.*), entre outros.

4.2.2.1 Modo de interação

O demonstrador foi desenvolvido de modo a ser possível ser corrido em dois formatos (ver figura 4.3). Pode-se utilizar como uma aplicação 3D, com rato e teclado (como um jogo de vídeo), ou em Realidade Virtual, com recurso a um HMD. O utilizador tem a opção de escolher o formato desejado num menu inicial prévio ao menu principal.

Embora a organização e lógica de programação seja semelhante entre os dois formatos, alguns aspetos do desenvolvimento são diferentes, nomeadamente a construção/programação do jogador virtual, os modos de interação com o ambiente virtual, os *inputs* e o desenho da interface visual¹. A maioria dos *scripts* também diferem entre os dois formatos. Embora a estrutura destes seja semelhante, alguns termos ou expressões são diferentes dado que o desenvolvimento em RV requiere uma "linguagem" específica, especialmente para os *inputs*.

O facto do demonstrador também poder correr em formato 3D torna-o uma ferramenta muito mais versátil, dado que pode ser utilizado num computador comum sem recurso a material de realidade virtual.



(a) Demonstrador em 3D



(b) Demonstrador em RV

Figura 4.3: Modos de interação

4.2.2.2 Procedimentos

Antes de iniciar as tarefas, o utilizador pode escolher que módulo ou procedimento que quer treinar (ver figura 4.4). O termo procedimento refere-se apenas uma porção das tarefas de pré-inspeção (*e.g.* Inspeção Exterior, Inspeção Interior). Ao escolher um procedimento, a simulação inicia-se na primeira tarefa correspondente a esse procedimento e continua até ao fim da pré-inspeção. Deste modo, é possível treinar as tarefas de certo procedimento sem ter de realizar todas as tarefas que o precedem.

Para este demonstrador, apenas foram programados os procedimentos no interior do *cockpit*, bem como algumas tarefas da inspeção exterior. Isto deveu-se ao facto de que, para a programação das restantes tarefas, ou não existiam modelos 3D ou existiam mas eram de baixa qualidade. Não querendo correr o risco de induzir treino negativo associado à fraca

¹Em 3D, a interface visual é apresentada no ecrã em 2D, enquanto que em RV a interface visual faz parte do ambiente virtual como se fosse um objeto em 3D.

qualidade dos modelos, decidiu-se abdicar do desenvolvimento destas tarefas e apostar mais noutros aspetos da simulação.



Figura 4.4: Escolha dos procedimentos no demonstrador

4.2.2.3 Modo de simulação

A simulação pode ser executada em modo guiado ou em modo livre.

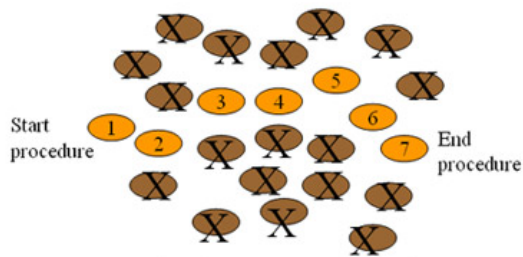
Em modo guiado, o utilizador inicia a simulação na primeira tarefa do procedimento escolhido e o progresso é sequencial, isto é, de modo a passar para a tarefa seguinte é necessário concluir a tarefa atual, como demonstrado na figura 4.5. As únicas interações possíveis com o ambiente são as relativas à tarefa atual, isto é, o utilizador não se pode desviar nem explorar quando está em modo guiado.

É apresentada uma caixa de texto com informação relativa à tarefa a realizar de acordo com o manual de voo, bem como uma indicação visual para guiar o utilizador no ambiente virtual. Após completar a tarefa, o utilizador recebe *feedback* positivo para assinalar a passagem para a próxima tarefa.

Este modo de simulação é aconselhável para aprendizagem, dado que o utilizador realiza as tarefas tal e qual como estão no manual, tem acesso à informação essencial relativa à tarefa atual, tem ajudas para o guiar no ambiente virtual e recebe *feedback* instantâneo.

Em modo livre, a simulação divide-se por procedimentos. O utilizador inicia a simulação no procedimento escolhido e não tem qualquer tipo de ajudas visuais nem informação referente às tarefas a realizar, está livre de explorar e interagir com os objetos do ambiente virtual que pertencem a esse procedimento.

Quando o utilizador achar que já completou todas as tarefas desse procedimento, pode pe-



(a) Esquema [67]

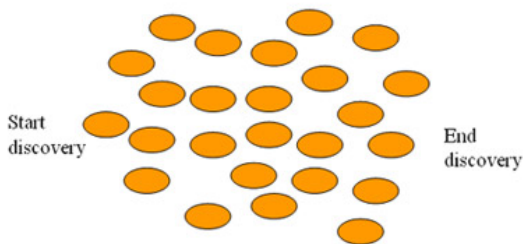


(b) Demonstrador

Figura 4.5: Modo guiado

dir para passar para o procedimento seguinte. Se houver tarefas ainda por completar nesse procedimento, é avisado por um painel que apresenta todas as tarefas por completar. Se todas as tarefas tiverem sido completadas, a simulação passar para o procedimento seguinte, ativando todos os objetos e interações pertencentes ao novo procedimento.

Este modo de simulação é preferível para exploração e para consolidar o conhecimento adquirido no modo guiado. A figura 4.6 apresenta um esquema deste modo.



(a) Esquema [67]



(b) Demonstrador

Figura 4.6: Modo livre

4.2.2.4 Simulação de sistemas

Foi também possível simular parte do sistema elétrico, embora não na sua totalidade, apenas o relevante para os procedimentos de inspeção interior. Enquanto a simulação corre, o demonstrador guarda os estados de todos os interruptores/controles e sabe que fontes de energia estão ligadas ou desligadas. Esta informação passa por um centro de controlo que altera o estado dos barramentos e dos contactos do circuito elétrico principal. Cada barramento energiza certos sistemas, por exemplo, o barramento principal (*Main DC Bus*) energiza os ecrãs da aeronave.

Cada vez que o utilizador interage com os interruptores e controlos da aeronave, o sistema elétrico é atualizado e apresenta os *outputs* correspondentes. Além disso, foi programado um painel que apresenta uma representação visual do circuito elétrico, como apresentado na figura 4.7. Assim, é possível ver o estado de todas as fontes de energia, contactos, barramentos

e ligações enquanto o utilizador interage com os interruptores e controlos do avião.

Além do sistema elétrico, o sistema de combustível foi também parcialmente simulado, novamente apenas o relevante para as tarefas a realizar. Deste modo, é possível ver a quantidade de combustível nos ecrãs do avião e interagir com estes para inserir dados relacionados com o sistema de combustível.

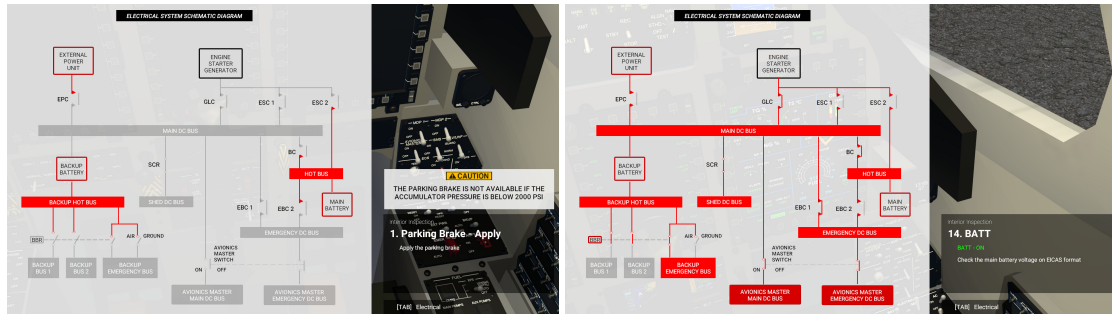


Figura 4.7: Diagramas do painel elétrico

4.2.2.5 Outras funcionalidades

O demonstrador oferece também a funcionalidade de mudar a posição de todos os interruptores, botões ou controlos no menu principal antes de iniciar as tarefas, com o intuito de adicionar mais aleatoriedade e dinâmica à simulação (ver figura 4.8).

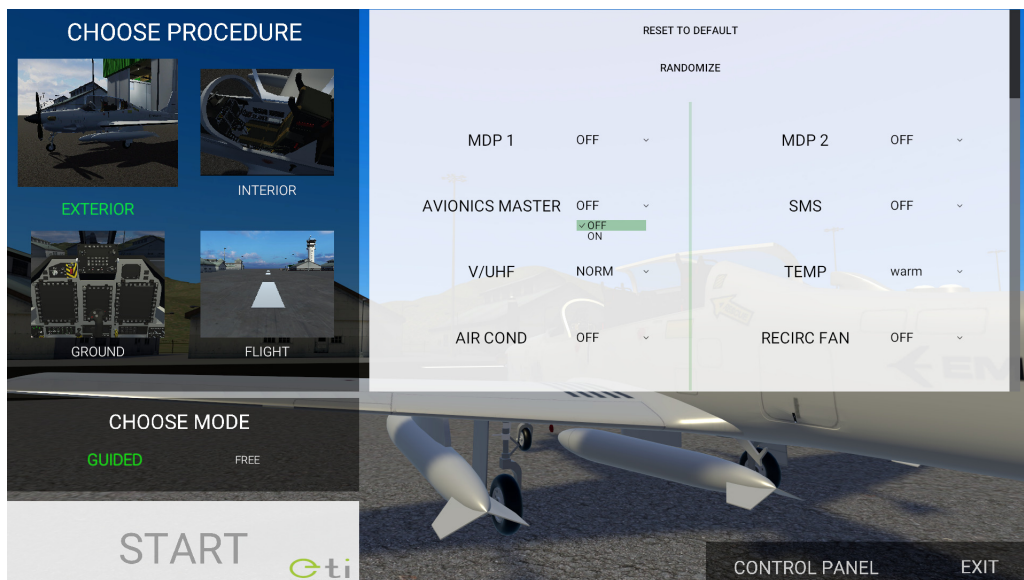


Figura 4.8: Painel de controlo dos interruptores

4.3 Síntese

Como já foi mencionado no Capítulo 1, o objetivo deste trabalho é estudar a viabilidade de desenvolver um demonstrador de realidade virtual para a realização de tarefas de pré-voos à

aeronave A-29 Super Tucano, simultaneamente determinando quais as vantagens deste tipo de treino em relação à formação clássica.

O método de formação clássica para aprender os procedimentos de pré-inspeção do Super Tucano consiste em estudar o manual, aprender com recurso a CBT's e treinar os procedimentos no avião ou num simulador de voo físico de custo elevado.

Analisando novamente o Cone de Dale, pode-se ver que a leitura de texto é o pior método de aquisição de conhecimento, dado que o leitor só retém cerca de 10% do que lê. Por outro lado, neste caso, o treino dos procedimentos no avião é o melhor método de aprendizagem possível, com 90% da taxa de retenção. Contudo, apesar dos alunos terem acesso constante ao manual, o acesso ao treino em avião não é permanente. O ideal seria os alunos terem acesso constante ao avião para treinar os procedimentos quando quisessem e quantas vezes quisessem. Contudo, devido a constrangimentos logísticos, materiais e temporais, tal não é possível.

Não sendo possível acesso constante ao avião, uma alternativa seria os alunos terem acesso a um ambiente/espço com um modelo da aeronave em que pudessem treinar os procedimentos, como um simulador físico. No entanto, este tipo de simulador também é muito dispendioso e será sempre um recurso escasso.

Com todos estes constrangimentos em mente, outra solução seria um sistema de simulação a que os alunos pudessem ter acesso constante, em que pudessem haver vários simuladores por um custo menor, que ocupassem menos espaço e não precisassem de supervisão tão apertada ou de qualquer supervisão. Resumidamente, um sistema que permitisse ao aluno poder andar num ambiente que contivesse o avião e todos os recursos necessários para a pré-inspeção, que fosse realista e imersivo, de pequenas dimensões (fácil portabilidade), que estivesse sempre acessível ao aluno e de baixo custo relativamente a um simulador físico ou avião real.

É este desafio que o demonstrador desenvolvido para este trabalho tenta resolver.

Em primeiro lugar, ao utilizar este demonstrador, o aluno pode andar à vontade num hangar, entrar e sair do avião, interagir com a instrumentação e com os controlos sem se preocupar em estragar qualquer equipamento. Pode aprender e realizar as inspeções pré-treino de acordo com o manual com *feedback* instantâneo e reiniciar os procedimentos quando quiser. Pode ver representações visuais dos sistemas a funcionar como não pode em mais nenhum lado, como é o caso de poder ver o circuito do sistema elétrico em funcionamento ao mexer nos interruptores, permitindo uma compreensão mais profunda do funcionamento do avião.

O *hardware* necessário para a utilização do demonstrador consiste apenas em dois elementos (capacete de Realidade Virtual e computador), sendo fácil de obter e muito menos dispendioso comparado a um *mockup* ou avião real, podendo ser assim adquiridas mais unidades

para maior disponibilidade. Também não seria necessária supervisão e os alunos poderiam ter um acesso muito mais fácil ao treino. Além disso, poder-se-ia transportar para qualquer lado devido à sua elevada portabilidade. De facto, o aluno até poderia ter acesso ao simulador em sua casa e no seu computador pessoal, podendo utilizar o modo 3D e até Realidade Virtual se tivesse um HMD e um computador capaz de correr a aplicação.

Este demonstrador pode também ser atualizado para conter mais módulos de aprendizagem ou para melhorar a jogabilidade (*gameplay*), tornando-o uma ferramenta dinâmica capaz de evoluir com as necessidades dos utilizadores.

Além de estas todas vantagens, existe também a vantagem de este ser um método de estudo muito mais apetecível e atrativo do que ler o manual dos procedimentos, fomentando o estudo e formando alunos mais capazes.

Em suma, o que se espera que venha a ser conseguido com este trabalho é estudar a viabilidade de este demonstrador ser utilizado para formar e treinar pilotos, e provar que constitui uma ferramenta de elevado valor para qualquer instituição de formação, podendo ser usada como complemento à formação clássica, mesmo que com o uso de CBT's.

4.4 Validação do trabalho

Para a validação do trabalho, foram realizados três testes.

O primeiro teste teve como objetivo verificar se todos os requisitos descritos no Anexo A tinham sido cumpridos.

No segundo teste comparou-se o modo 3D com a Realidade Virtual, unicamente com o intuito de perceber qual dos modos é mais fácil e ergonómico de usar.

No terceiro e último teste verificaram-se quantos dos procedimentos de pré-inspeção tinham sido efetivamente programados.

O HMD utilizado para os testes foi o HTC Vive Pro.

Os relatórios dos testes estão incluídos no Anexo B.

4.5 Discussão dos resultados

Uma das conclusões imediatamente retirada durante os testes, talvez até bastante óbvia, é que a aplicação é mais fácil de usar em 3D do que em RV.

Do ponto de vista do *hardware*, o rato e teclado são muito mais fáceis de utilizar que o HMD. Contudo, o teste não foi realizado nas melhores condições. O HTC Vive Pro, apesar de ser

um dispositivo relativamente recente (2018), já foi ultrapassado em termos de performance e ergonomia por HMD's mais recentes que oferecem melhor qualidade de imagem, rastreamento ocular e de mãos e utilização sem fios.

Como já foi mencionado anteriormente, a rápida evolução desta tecnologia leva a que o *hardware* se torne obsoleto muito rapidamente.

No teste realizado, as bases que detetam o movimento do capacete e dos controladores não estavam posicionadas da melhor maneira devido à falta de bases próprias e o computador utilizado não era o mais adequado para executar um programa que requiere tanto em termos de *hardware*, como é comum com aplicações em RV, o que comprometeu o rastreamento e a precisão dos movimentos.

Dentro da simulação, é mais fácil mover o jogador no ambiente virtual com rato e teclado do que com os controladores de RV. Como já foi dito, a locomoção em RV ainda é um desafio, enquanto que o movimento com rato e teclado é bastante natural, especialmente se o utilizador estiver habituado a jogos de vídeo.

É mais fácil clicar nos interruptores e manipular os controlos do *cockpit* em 3D do que em RV, em grande parte devido ao fraco rastreamento das mãos por parte das bases que detetam o movimento.

É também muito mais fácil completar as tarefas que consistem em olhar para certo objeto em 3D do que em RV. Em 3D, basta apontar o rato para esse objeto durante um certo período de tempo para avançar para a próxima tarefa, enquanto que em RV, como o HMD utilizado não tem rastreamento ocular, o utilizador tem de virar a cabeça diretamente para esse objeto e aguentar essa posição durante o mesmo período de tempo, o que não é nada natural.

O teste foi realizado em modo guiado, porque concluímos que o modo livre não fazia muito sentido da maneira que foi programado. Em modo guiado, ao escolher um procedimento, somos obrigados a seguir e completar as tarefas de forma sequencial, sejam elas ligar um interruptor, manipular os controlos da aeronave ou olhar para um certo objeto. Isto faz sentido porque estamos a realizar os passos tal e qual como estão no manual pela ordem suposta.

Em modo livre, não temos que completar os procedimentos de forma sequencial, mas temos que completar todas as tarefas correspondentes a esse procedimento pela ordem que quisermos, o que tornou o processo bastante confuso do ponto de vista da programação e resultou numa experiência abaixo das expectativas.

Podemos concluir que os requisitos definidos para o modo livre não foram os mais acertados, e que deveria ter sido definido como um *free play*, isto é, uma simulação pura sem monitorização instantânea das tarefas que estavam a ser feitas.

Além disso, tivemos problemas em realizar certas tarefas em RV apenas com os controladores. Existem passos em que é necessário manipular com precisão botões no HOTAS² da aeronave.

Em 3D isto é fácil de resolver porque temos acesso ao resto do teclado e podemos associar teclas para controlar estes botões. Em RV, não temos esta possibilidade, dado que cada controlador que usamos em cada mão tem apenas um botão e um *touchpad*, que já têm a função de movimentar o jogador no ambiente virtual.

Concluimos que para os passos que requerem manipulação nos controlos da aeronave (manche, acelerador e pedais), é preferível termos modelos físicos destes para ser possível realizar estes passos e simultaneamente aumentar a imersão.

No geral, o demonstrador é mais fácil e intuitivo de usar em 3D do que em realidade virtual. Em primeiro lugar, estamos muito mais habituados a utilizar rato e teclado do que um sistema de realidade virtual, o que facilita a usabilidade da aplicação. Em segundo lugar, se tivéssemos utilizado um HMD sem fios, com rastreamento de mãos e dedos e com rastreamento ocular, a experiência teria sido muito mais positiva.

Deste modo, poderíamos ter feito a simulação sentados em qualquer sítio, a precisão dos movimentos teria sido muito melhor e não necessitaríamos de rodar a cabeça completamente para completar as tarefas que consistem em olhar para certo objeto.

Apesar de acharmos o modo 3D superior no que toca a usabilidade e desempenho, a realidade virtual oferece uma imersão muito superior, além de desenvolver a memória muscular, desde que o *hardware* permita a simulação realista das ações. E embora seja possível melhorar a experiência em RV para melhorar a usabilidade e conforto do utilizador, nunca será possível que um monitor com rato e teclado ofereçam o mesmo nível de imersão.

Assim, na nossa opinião, o modo 3D e o modo RV tem dois papéis distintos e cada modo deveria ser desenvolvido com um objetivo diferente, dado que cada um tem os seus pontos fortes e fracos.

O modo 3D é mais fácil de usar, todas as tarefas podem ser feitas com facilidade (dentro e fora do *cockpit*), não requiere *hardware* especializado nem tantos recursos computacionais, podendo assim ser usado em qualquer lugar. Funciona perfeitamente em modo guiado, realizando as tarefas sequencialmente tal e qual estão no manual.

É uma excelente opção para aprendizagem, sendo muito mais interativo e apelativo do que estudar pelo manual de procedimentos, e tendo também a capacidade de complementar perfeitamente a vertente teórica dos CBT's, como os que a ETI tem neste momento desenvolvidos para o Super Tucano.

²*Hands-On Throttle And Stick.*

Por outro lado, a realidade virtual é mais adequada para treino e simulação pura dentro do *cockpit*. Neste caso, para procedimentos de pré-inspeção, o seu forte não está em completar tarefas de forma sequencial, devido ao elevado número de passos, à dificuldade associado à locomoção do jogador fora da aeronave e devido ao facto de alguns passos não serem naturais a completar.

Na nossa opinião, a realidade virtual funcionaria melhor se o jogador fosse inserido na simulação e estivesse à vontade para fazer o que tivesse de fazer, explorando o ambiente virtual sem ajudas e sem *feedback*, podendo o seu desempenho ser revisto e analisado após a simulação.

Também achamos que esta tecnologia seja mais adequada para os procedimentos no *cockpit* e posteriormente até para simulação de voo. Aqui, o ideal seria o utilizador estar sentado numa plataforma com banco e com os controlos da aeronave, como é o caso do CAE Sprint Trainer VR (ver figura 3.16), e ter um HMD sem fios e que suportasse rastreamento de mãos.

Deste modo, estaríamos completamente imersos no ambiente virtual, teríamos controlo físico da manche, acelerador e pedais e poderíamos interagir com o resto do *cockpit* com elevada precisão sem ser necessário utilizar quaisquer controladores nas mãos. Esta seria uma ferramenta excelente para o treino de procedimentos no *cockpit* e para simulação de voo.

Além de ser uma solução que oferece uma imersão comparável com um FFS, um sistema de alta fidelidade deste tipo poderia ser construído por menos de 10000€, incluindo o computador. De seguida apresenta-se uma estimativa dos custos de um simulador destes:

- Computador 3000-4000€;
- Plataforma personalizada (banco, manche, acelerador e pedais) 3000-4000€;
- Oculus Quest 2 360€*;

*preço a 11 de Abril de 2021

Total 6000-9000€

Em suma, tanto a tecnologia 3D como a Realidade Virtual são ferramentas muito boas para aprendizagem e treino, embora cada uma com os seus pontos fortes e fracos.

Neste demonstrador, o modo 3D demonstrou-se mais adequado, mas com melhorias no *hardware* e na programação do *software*, a Realidade Virtual tem um potencial enorme para simulação extremamente imersiva. No capítulo seguinte, são apresentadas algumas ideias para melhorar o conteúdo, a ergonomia e a imersão deste demonstrador.

Capítulo 5

Conclusões

5.1 Conclusão

O objetivo desta dissertação visa principalmente estudar a viabilidade de utilizar realidade virtual para treinar os procedimentos de pré-inspeção do A-29 Super Tucano, comparando este método com o método de formação tradicional.

Relativamente à realidade virtual, concluímos que a realização de tarefas de forma guiada e sequencial não é o ponto forte desta tecnologia. Ainda existem dificuldades na locomoção dentro do ambiente virtual que tornam a execução de tarefas no exterior da aeronave um processo mais demorado e complicado do que idealmente deveria ser. Além disso, quantidade de tarefas a realizar dentro do *cockpit* e o maneira como algumas destas têm de ser executadas não se adequa a esta tecnologia.

Estas conclusões devem-se em grande parte à insuficiência do *hardware* que foi disponibilizado para o desenvolvimento e teste do demonstrador e também devido à aos requisitos que foram propostos. Cremos que, com acesso a *hardware* mais capaz e ergonómico e com uma melhor programação do demonstrador, a experiência teria sido muito mais positiva.

No entanto, a realidade virtual tem bastante potencial para treino dos procedimentos no *cockpit* feitos de uma forma não guiada e também para simulação de voo. Isto é, o seu forte encontra-se em simulação pura da aeronave com elevada imersão. Acoplado a uma plataforma física com os controlos da aeronave, torna-se um sistema altamente imersivo e realista, por um custo relativamente baixo comparado com os FFS's.

Por outro lado, o modo 3D demonstrou-se bastante adequado para o treino dos procedimentos de forma sequencial, tanto dentro como fora da aeronave. É extremamente fácil de utilizar, de baixo custo, não necessita de *hardware* especializado e é mais interativo e imersivo do que um CBT. Por estas razões, consideramos esta aplicação em 3D uma ferramenta excelente para aprendizagem.

Comparado ao método tradicional, a aplicação em modo 3D é uma excelente opção para substituir ou complementar os tradicionais métodos de aprendizagem, tais como estudar o manual ou praticar nos CBT's, devido ao nível acrescido de imersão e interatividade e ao baixo custo.

A realidade virtual demonstrou-se também uma ferramenta de simulação muito capaz e com muito potencial para complementar o treino do A-29 Super Tucano, especialmente no que toca a simulação do *cockpit* e de voo. O treino em aeronave real e em simuladores do voo de alta fidelidade tem muitas complicações logísticas e é muito dispendioso. Um simulador em RV tem a capacidade de resolver este problema. Além de ser capaz de fornecer uma simulação altamente realista, tem um custo relativamente baixo, o permitiria que mais alunos pudessem treinar ao mesmo tempo e mais frequentemente sem preocupações logísticas.

Não é surpresa então que várias empresas já estejam a desenvolver produtos destes e que várias forças armadas já utilizem realidade virtual para conduzir as suas simulações. Na nossa opinião, esta tecnologia é o futuro da simulação e, neste caso, tem o potencial para ser uma ferramenta extremamente útil para complementar os métodos de treino tradicionais.

5.2 Recomendações para trabalhos futuros

Em modo 3D, dado que está mais virado para a aprendizagem, algo que se pode melhorar é a disponibilização de mais informação relativamente à aeronave e aos procedimentos a realizar dentro do demonstrador. Isto é, dar ao aluno a possibilidade de abrir janelas que contenham texto, vídeo ou animações relativas a certo componente ou sistema da aeronave. Deste modo, além de ser uma ferramenta de treino de procedimentos, teria também uma componente mais educacional, podendo até substituir parcialmente os CBT's.

Em realidade virtual, uma das questões mais óbvias que se tem de resolver é a movimentação do jogador no ambiente virtual. Com um método de locomoção mais natural, teríamos também a possibilidade de realizar procedimentos no exterior da aeronave com mais facilidade. Uma das maneiras de resolver este problema é colocar o utilizador numa sala/espço vazio com um HMD sem fios em que pudesse andar à vontade. A sua deslocação neste espaço físico corresponderia à mesma deslocação no espaço virtual. Deste modo, teria a possibilidade de se deslocar no ambiente virtual da maneira mais natural possível. O rastreamento de dedos também seria uma mais valia, especialmente para procedimentos no interior do *cockpit*, dado que é um método bastante natural de interagir com o ambiente virtual e oferece uma precisão de movimentos de muito maior.

Embora a realidade virtual não tenha sido, neste caso, muito adequada para a realização de tarefas de modo sequencial fixo, poderia-se introduzir uma *checklist* virtual correspondente à lista de procedimentos de pré-inspeção. Assim, o aluno estaria à mesma à vontade para explorar o ambiente virtual de forma livre e poderia realizar os procedimentos ao seu ritmo anotando o seu progresso nesta *checklist* virtual.

Para procedimentos dentro do *cockpit* e para simulação de voo, seria essencial o utilizador estar sentado numa plataforma física como descrita nos capítulos anteriores, utilizando um HMD sem fios e com rastreamento de mãos.

Em versões futuras também deveria haver a possibilidade de ligar simuladores de RV entre si para a realização de treino multijogador entre vários alunos. Complementando isto com a introdução de entidades controladas por inteligência artificial, seria possível treinar quaisquer tipo de situações ou missões aéreas, individualmente ou em equipa, em cenários controlados e pré-programados ou em cenários completamente imprevisíveis com a ajuda da IA, com um elevado nível de imersão e realismo por um custo relativamente baixo.

Bibliografia

- [1] G. Kim, *Designing Virtual Reality Systems The Structured Approach*. Springer London, 2005.
- [2] Grand View Reseach, “Virtual Reality Market Size, Share & Trends Ananlysis Report,” <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/virtual-reality-vr-market>, 2020, acessido a: 23 jul 2020.
- [3] Fortune Business Insights, “Virtual Reality Market Size, Share & Industry Analysis,” <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/virtual-reality-market-101378>, 2019, acessido a: 23 jul 2020.
- [4] Business Wire, “Augmented and Virtual Reality Markets in Aviation,” <https://www.businesswire.com/news/home/20191101005408/en/Augmented-Virtual-Reality-AR-VR-Markets-Aviation>, 2019, acessido a: 23 jul 2020.
- [5] E. Salas, C. A. Bowers, and L. Rhodenizer, “It Is Not How Much You Have but How You Use It: Toward a Rational Use of Simulation to Support Aviation Training,” *The International Journal of Aviation Psychology*, vol. 8, no. 3, pp. 197–208, jul 1998.
- [6] MS&T, “Industry Vectors in AI, XR, 5G & More,” *The International Defence Training Journal*, vol. 37, no. 1, p. 15, 2020.
- [7] R. Blenkinsopp, “What is Haptics?” <https://www.ultraleap.com/company/news/blog/what-is-haptics/>, acessido a: 6 jul 2020.
- [8] “Unity (game engine),” [https://en.wikipedia.org/wiki/Unity_\(game_engine\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Unity_(game_engine)), acessido a: 8 jul 2020.
- [9] P. Sidenbladh, “Integrated Logistics Support (ILS),” <https://afry.com/en/service/integrated-logistics-support-ils>, acessido a: 23 jul 2020.
- [10] C. Ribeiro, “Centro de Treino Conjunto e de Simulação das Forças Armadas,” in *IUM-CRC-CPOG - Trabalhos de Investigação Individual*. IUM, 2018, pp. 8–26.
- [11] USA DoD, *DoD Modeling and Simulation (M&S) Glossary*. Modeling and Simulation Coordination Office (Department of Defense), 2011a, p. 124.
- [12] R. W. Hill, J. Gratch, S. Marsella, J. Rickel, W. Swartout, and D. Traum, “Virtual Humans in the Mission Rehearsal Exercise System,” *Kunstliche Intelligenz*, vol. 17, pp. 5–, 2003.

- [13] H. P. C. Caetano, “Necessidade e Importância da Simulação na Cavalaria Portuguesa,” Master’s thesis, Academia Militar, Setembro 2008.
- [14] Chevillon, Y. *et al.*, “Avenir de la simulation pour l’entraînement des forces: quels bénéfices pour le fonctionnement et quelles limites?” <https://www.ihedn.fr/sites/default>, 2009, acedido a: 14 jul 2020.
- [15] R. M. Gagné, *The Conditions of Learning and Theory of Instruction*, 4th ed. CBS College Publishing, 1985.
- [16] R. E. Mayer, “Introduction to Multimedia Learning,” in *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Cambridge University Press, aug 2005, pp. 1–16.
- [17] W. L. Bedwell and E. Salas, “Computer-based training: capitalizing on lessons learned,” *International Journal of Training and Development*, vol. 14, no. 3, pp. 239–249, aug 2010.
- [18] T. T. Baldwin and J. K. Ford, “Transfer Of Training: A Review And Directions For Future Research,” *Personnel Psychology*, vol. 41, no. 1, pp. 63–105, 1988.
- [19] K. M. Stanney, R. R. Mourant, and R. S. Kennedy, “Human Factors Issues in Virtual Environments: A Review of Literature,” *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 7, no. 4, pp. 327–351, Aug. 1998.
- [20] H. J. E. Korteling, A. S. Helsdingen, and R. S. Sluimer, “An Empirical Evaluation of Transfer-of-Training of Two Flight Simulation Games,” *Simulation & Gaming*, vol. 28, no. 1, pp. 1–28, 2016.
- [21] I. Burret, “A400M - Training for Entry Into Service,” AIRBUS Military, May 2012.
- [22] Dento Aviation, “Zero Flight Time Training,” <https://www.dentoaviation.com/zero-flight-time-training-zftt>, 2018, acedido a: 15 jul 2020.
- [23] AMC Staff, “Flight Training In The real World Is Becoming Unreal,” <https://aviationmarketing.aero/flight-simulators/>, May 2019, acedido a: 15 jul 2020.
- [24] H. M. Anderson, “Dale’s Cone of Experience,” University of Kentucky, Tech. Rep.
- [25] E. Dale, *Audiovisual methods in teaching*. NY, Dryden Press, 1969.
- [26] J. Turi, “The sights and scents of the Sensorama Simulator,” <https://www.engadget.com/2014-02-16-morton-heiligs-sensorama-simulator.html>, Feb. 2014, acedido a: 15 jul 2020.

- [27] I. E. Sutherland, "The Ultimate Display," in *Information Processing 1965 : Proceedings of IFIP Congress 65*, Macmillan, Ed., vol. 1, May 1965, pp. 506–508.
- [28] T. A. Furness, "The Super Cockpit and its Human Factors Challenges," in *Proceedings Of The Human Factors Society - 30th Annual Meeting*, 1986, pp. 48–52.
- [29] I. Pereira and N. Nogueira, "Realidade Virtual," <http://web.ist.utl.pt/ist170613/>, accedido a: 16 jul 2020.
- [30] Virtual Reality Society, "History of Virtual Reality," <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/history.html>, accedido a: 16 jul 2020.
- [31] B. G. Witmer and M. J. Singer, "Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire," *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 7, no. 3, pp. 225–240, Jun. 1998.
- [32] K.-E. Bystrom, W. Barfield, and C. Hendrix, "A Conceptual Model of the Sense of Presence in Virtual Environments," *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 8, no. 2, pp. 241–244, 1999.
- [33] T. B. Sheridan, "Musings on Telepresence and Virtual Presence," *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 1, no. 1, pp. 120–126, 1992.
- [34] "Suspension of disbelief," https://en.wikipedia.org/wiki/Suspension_of_disbelief, accedido a: 22 jul 2020.
- [35] G. Fontaine, "The Experience of a Sense of Presence in Intercultural and International Encounters," *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 1, no. 4, pp. 482–490, 1992.
- [36] "Graphics Pipeline," https://en.wikipedia.org/wiki/Graphics_pipeline, accedido a: 8 jul 2020.
- [37] G. Corke, "Game on - Unity for manufacturing," <https://develop3d.com/visualisation/unity-visualisation-vr-manufacturing-industrial-design-game-on-simulation/>, accedido a: 9 jul 2020.
- [38] "CAE Vimedix," <https://caehealthcare.com/ultrasound-simulation/vimedix/>, accedido a: 9 jul 2020.
- [39] "Kognito suicide prevention program," <https://counseling.uiowa.edu/services/kognito/>, accedido a: 9 jul 2020.
- [40] "Breaking Boundaries VR," <https://www.breakingboundariesvr.com/>, accedido a: 9 jul

2020.

- [41] “Jaguar I Pace Concept Launch,” <https://rewind.co/portfolio/jaguar-i-pace-concept-launch/>, acedido a: 9 jul 2020.
- [42] “Celebrity Edge Access Tour App,” <https://www.triggerglobal.com/work/royal-caribbean-celebrity-edge-access-tour-app>, acedido a: 9 jul 2020.
- [43] “Nike React: Game of Go,” <https://www.mediamonks.com/games/work/nike-react-game-of-go>, acedido a: 9 jul 2020.
- [44] Linde, “Linde Virtual Academy - Standardized field training catalog for natural gas plants,” Tech. Rep.
- [45] “Pilot Training Next,” <https://www.aetc.af.mil/About-Us/Pilot-Training-Next/>, acedido a: 8 jul 2020.
- [46] “Lufthansa Aviation Training opens Virtual Reality Hubs for cabin Training,” <https://www.lufthansa-aviation-training.com/en/about/media/lufthansa-aviation-training-opens-virtual-reality-hubs-for-cabin-training/>, acedido a: 8 jul 2020.
- [47] “Pratt & Whitney Investing in Virtual Reality Training Tools to Enhance Customer Training Technologies,” <https://newsroom.prattwhitney.com/2017-04-25-Pratt-Whitney-Investing-in-Virtual-Reality-Training-Tools-to-Enhance-Customer-Training-Technologies>, acedido a: 8 jul 2020.
- [48] “What Virtual Reality (VR) means for Ground Operations,” IATA, Tech. Rep., 2019.
- [49] J. Vora, S. Nair, A. K. Gramopadhye, A. T. Duchowski, B. J. Melloy, and B. Kanki, “Using virtual reality technology for aircraft visual inspection training: presence and comparison studies,” *Applied Ergonomics*, vol. 33, no. 6, pp. 559–570, nov 2002.
- [50] Circuit Stream, “Improving Aviation Safety and Reducing Costs with Immersive Technology,” <https://circuitstream.com/blog/aviation-safety-and-cost/>, acedido a: 8 jul 2020.
- [51] J.-L. Oprihory, “USAF Brings Pilot Training Next to Regular Training in Experimental Curriculum,” <https://www.airforcemag.com/usaf-brings-pilot-training-next-to-regular-training-in-experimental-curriculum/>, Mar. 2020, acedido a: 7 Set 2020.
- [52] S. Kozak, “USAF ”Pilot Training Next” is Revolutionizing Training,” <https://www.modernintegratedwarfare.com/military-training/training-effectiveness/usaf-pilot-training-next-revolutionizing-training/>, May 2019, acedido a: 3 Set 2020.

- [53] CAE, “CAE Sprint Virtual Reality Trainer,” Tech. Rep.
- [54] M. Lewis, “CHIL,” <https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/chil.html>, accessed a: 4 Set 2020.
- [55] K. Russell, “Lockheed Martin on Cutting Costs with Virtual Reality,” <https://www.satellitetoday.com/innovation/2017/04/20/lockheed-martin-cutting-costs-virtual-reality/>, Apr. 2017, accessed a: 4 Set 2020.
- [56] P. Kourtesis, S. Colina, L. A. A. Dumas, and S. E. MacPherson, “Validation of the Virtual Reality Neuroscience Questionnaire: Maximum Duration of Immersive Virtual Reality Sessions Without the Presence of Pertinence Adverse Symptomatology,” *Frontiers in Human Neuroscience*, vol. 13, pp. 1–13, 2019.
- [57] “Sistema vestibular,” https://pt.wikipedia.org/wiki/Aparelho_vestibular, accessed a: 17 Jan 2021.
- [58] E. Chang, H. T. Kim, and B. Yoo, “Virtual Reality Sickness: A Review of Causes and Measurements,” *International Journal of Human - Computer Interaction*, vol. 17, no. 36, pp. 1658–1682, 2020.
- [59] M. Hutson, “Here’s What the Future of Haptic Technology,” <https://www.smithsonianmag.com/innovation/heres-what-future-haptic-technology-looks-or-rather-feels-180971097/>, Dec. 2018, accessed a: 28 Out 2020.
- [60] “5G network as foundations for autonomous driving,” <https://www.telekom.com/en/company/details/5g-network-as-foundation-for-autonomous-driving-561986>, accessed a: 18 Jan 2021.
- [61] S. Hill and P. Beaton, “5G vs 4G: How will the next generation improve on the last?” <https://www.digitaltrends.com/mobile/5g-vs-4g/>, Oct. 2020, accessed a: 14 Nov 2020.
- [62] J. Sanders, “How 5G will affect augmented reality and virtual reality,” <https://www.zdnet.com/article/how-5g-will-affect-augmented-reality-and-virtual-reality/>, Oct. 2019, accessed a: 14 Nov 2020.
- [63] Qualcomm, “VR and AR pushing connectivity limits,” Tech. Rep., Oct. 2018.
- [64] B. Linders, “The Current and Future Landscape of AI and VR,” <https://www.infoq.com/news/2019/11/landscape-ai-vr/>, 2019, accessed a: 11 Nov 2020.
- [65] L. F. Monday, “VR and AI: Two Technologies Set To Merge,” <https://vrvisiongroup.com/vr-and-ai-two-technologies-set-to-merge/>, Jul. 2019, accessed

a: 15 Nov 2020.

[66] M. Rouse, “Waterfall Model,” <https://searchsoftwarequality.techtarget.com/definition/waterfall-model>, 2019, acedido a: 27 Ago 2020.

[67] ETI, “Technical Solution Virtual Trainer.”

Anexos

A Especificação de Requisitos

ESPECIFICAÇÃO DE REQUISITOS DO SISTEMA

ELABORADO PARA:



Identificação: ERS-PXXX-01-01-01-01

Data: 2020-09-15

Classe de Segurança: Geral

A) INFORMAÇÃO GERAL

Cliente: ETI
Projeto/Área/Outros: DMI – Projeto de Mestrado



EMPORDEF – TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO S.A.

Este documento contém informação sujeita a direitos de autor e propriedade intelectual que não deve ser utilizada para outros fins que não aqueles para os quais foi facultada, nem reproduzida ou divulgada a terceiros, sem o prévio consentimento escrito da EMPORDEF – TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO, S.A.

This document contains proprietary information that shall not be used for other purposes than those for which it has been released, nor be reproduced or disclosed to third parties, without the prior written consent of EMPORDEF – TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO S.A.

A) CONTROLO DOCUMENTAL:



Preparação

Afonso Carvalho/Estagiário



Verificação

Luís Teixeira/DMI



Aprovação

Luís Teixeira/DMI

B) REGISTO DE ALTERAÇÕES:

Versão	Estado	Justificativo	Data
01	Aprovado	Versão inicial	2020-09-15

ÍNDICE

1.	Introdução	7
1.1	Âmbito.....	7
1.2	Documentos Aplicáveis.....	7
2.	Descrição Geral	8
2.1	Identificação dos Requisitos.....	8
2.2	Metodologia de Validação.....	9
2.3	Relação com Outros Projetos.....	9
2.4	Funcionamento e Finalidade.....	9
2.4.1	Descrição do sistema	9
2.4.2	Características do Produto – Requisitos Alto Nível	10
2.4.3	Pressupostos e Dependências	10
2.4.3.1	Pressupostos	10
2.4.3.2	Dependências	10
2.4.3.3	Constrangimentos	11
2.5	Ambiente Operacional.....	11
2.6	Modelo.....	11
3.	Requisitos do Sistema	12
3.1	Requisitos Funcionais.....	12
3.1.1	Realidade Virtual	12
3.1.2	Interface	14
3.1.3	Simulação de Sistemas	15
3.2	Requisitos Não Funcionais.....	15
3.2.1	Usabilidade	15
3.2.2	Desempenho	15
3.3	Hardware.....	15

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Embraer A-29 Super Tucano	8
Figura 2 – Diagrama Funcional do Sistema	11

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Referências e Publicações Relacionadas	7
Tabela 2 – Lista de Acrônimos Aplicáveis aos Requisitos	8
Tabela 3 – Requisitos de Alto Nível	10
Tabela 4 – Pressupostos do projeto	10
Tabela 5 – Dependências do projeto	10

1. INTRODUÇÃO

1.1 ÂMBITO

Este documento tem como objetivo a especificação dos requisitos do sistema de treino virtual das inspeções pré-voo para o A-29 Super Tucano – versão Export sem LFR, Chaff, Flare FLIR, e com o GPS Garmin GTM625.

Serão descritos requisitos funcionais e não funcionais, restrições ao desenvolvimento e outros fatores necessários para fornecer uma visão completa e abrangente do sistema e das suas funcionalidades.



Figura 1 – Embraer A-29 Super Tucano

1.2 DOCUMENTOS APLICÁVEIS

A elaboração deste documento teve como base os documentos apresentados na tabela seguinte:

Documento	Descrição
Embraer A-29 Flight Manual TO 1A-29B(LAS)-1	Manual da aeronave
Apresentação trabalhos de Mestrado	Documento de apresentação de proposta para trabalho de mestrado.

Tabela 1: Referências e Publicações Relacionadas

2. DESCRIÇÃO GERAL

2.1 IDENTIFICAÇÃO DOS REQUISITOS

Para uma melhor compreensão do âmbito dos requisitos e também para um rastreamento mais fácil dos requisitos, a numeração dos requisitos seguirá os seguintes critérios:

SR-XXX-###

Onde XXX é um acrónimo alfabético e ### um número sequencial.

Na tabela seguinte são apresentados os acrónimos para cada tipologia de requisitos:

Acrónimo	Descrição
INT	Requisitos de Interface
HLV	Requisitos de Alto Nível
PER	Requisitos de Performance
RV	Requisitos de Realidade Virtual
SIM	Requisitos de Simulação de Sistemas
USA	Requisitos de Usabilidade

Tabela 2: Lista de Acrónimos Aplicáveis aos Requisitos

Serão definidos três níveis de prioridade de implementação:

- **Elevado** – aplicável a requisitos que são críticos para o sistema e que terão mesmo de ser implementados;
- **Médio** – aplicável a requisitos que não sendo tão críticos para o sistema como os elevados, recomenda-se que sejam implementados;
- **Baixo** – aplicável a requisitos que não são críticos, mas que podem contribuir positivamente para a performance do sistema.

2.2 METODOLOGIA DE VALIDAÇÃO

Cada requisito terá associado um método de validação que consistirá em:

- **Inspeção:** A inspeção é observação usando um ou mais dos cinco sentidos, simples manipulação física e/ou mecânica e/ou elétrica de calibração e medição para verificar que o item está em conformidade com seus requisitos especificados.
- **Demonstração:** Demonstração é a operação real de um item para fornecer elementos de prova que ele realiza as funções necessárias em cenários específicos.
- **Teste:** Teste é a aplicação de princípios científicos e procedimentos para determinar as propriedades ou os recursos funcionais de itens. Teste é semelhante a demonstração, mas é mais exigente, geralmente exigindo equipamentos especializados teste, configuração, dados e procedimento para verificar que o item satisfaz o requisito.
- **Análise:** A análise é a utilização de modelos matemáticos ou técnicos estabelecidos ou simulações, algoritmos, ou outros princípios científicos e procedimentos que apresente provas de que o item cumpre com as suas exigências.

2.3 RELAÇÃO COM OUTROS PROJETOS

Não existe relação com outros projetos.

2.4 FUNCIONAMENTO E FINALIDADE

Neste capítulo será efetuada uma breve apresentação do sistema, incluindo uma lista dos componentes funcionais e os seus objetivos, serão também descritos os fatores gerais que afetem o produto e os seus requisitos.

2.4.1 Descrição do sistema

O sistema consiste num demonstrador de realidade virtual que permite ao utilizador realizar tarefas de pré-inspeção na aeronave Embraer A-29 Super Tucano.

2.4.2 Características do Produto – Requisitos Alto Nível

Neste capítulo são identificados os requisitos de Alto Nível para o Simulador.

ID	Descrição	Prioridade	Validação
SR-HLV-001	O sistema deverá permitir ao utilizador andar livremente dentro do cenário	Elevada	Demonstração
SR-HLV-002	O sistema deverá permitir a interação do utilizador com o exterior da aeronave	Elevada	Demonstração
SR-HLV-003	O sistema deverá permitir a interação do utilizador com a instrumentação do cockpit	Elevada	Demonstração
SR-HLV-004	O sistema deverá permitir o treino das inspeções pré-voo	Elevada	Demonstração
SR-HLV-005	O sistema deverá permitir a entrada e saída do cockpit	Elevada	Demonstração
SR-HLV-006	A interação do utilizador com o sistema deverá ser feita com capacete/comando de realidade virtual	Elevada	Demonstração
SR-HLV-007	O sistema deverá ser realista e imersivo	Elevada	Demonstração
SR-HLV-008	O sistema deverá ser desenvolvido de modo a permitir a fácil atualização para futuras evoluções	Elevada	Demonstração

Tabela 3: Requisitos de Alto Nível

2.4.3 Pressupostos e Dependências

2.4.3.1 Pressupostos

ID	Pressupostos	Impacto
1	O desenvolvimento deve ser feito com a ferramenta Unity	Elevado

Tabela 4: Pressupostos do projeto

2.4.3.2 Dependências

ID	Dependências	Impacto
1	Toda a documentação deve ser fornecida pela ETI, nomeadamente o Manual de Voo do A-29 Super Tucano	Elevado
2	Todos os modelos 3D necessários para a construção do cenário devem ser fornecidos pela ETI	Elevado
3	Todo o software e hardware deve ser disponibilizado pela ETI	Elevado

Tabela 5: Dependências do projeto

2.4.3.3 Constrangimentos

Existem constrangimentos temporais, dado que o projeto tem uma duração limite de 9 meses, e também constrangimentos no fornecimento de modelos 3D.

2.5 AMBIENTE OPERACIONAL

Este sistema poderá ser utilizado em qualquer ambiente que tenha um computador preparado para Realidade Virtual que corra o sistema operativo Windows, um monitor, um HMD de Realidade Virtual com os correspondentes controladores e o software do simulador. O simulador poderá ser usado apenas por uma pessoa de cada vez e é necessária apenas uma pessoa para a utilização deste.

2.6 MODELO

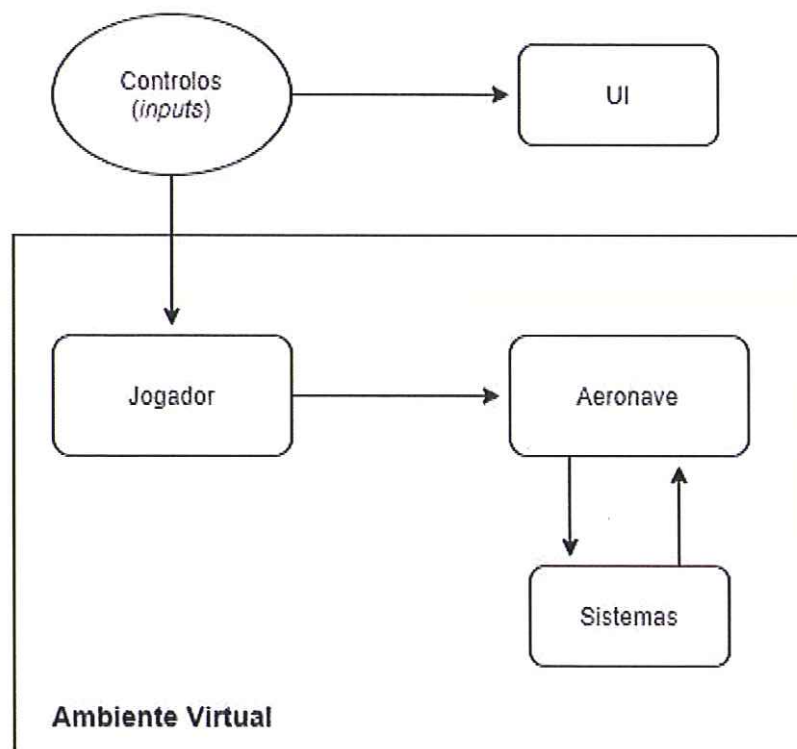


Figura 2 – Diagrama Funcional do Sistema

3. REQUISITOS DO SISTEMA

3.1 REQUISITOS FUNCIONAIS

3.1.1 Realidade Virtual

ID	Descrição	Prioridade	Validação
SR-RV-1	A simulação deve iniciar-se com um menu que deve ter as opções de escolher o procedimento a realizar, de escolher modo de simulação, de iniciar a simulação e de sair da aplicação	Alta	Demonstração
SR-RV-2	Durante a simulação, o utilizador deve ter a capacidade de aceder a um menu que pause a simulação e que tenha as opções para continuar a simulação, sair da aplicação ou voltar ao menu principal	Alta	Demonstração
SR-RV-3	No fim da simulação, deve ser apresentado um menu com a opções para ir para o menu principal ou sair da aplicação	Alta	Demonstração
SR-RV-4	A simulação deve permitir ao utilizador escolher entre um cenário diurno ou noturno	Baixa	Demonstração
SR-RV-5	O simulador deve permitir ao utilizador escolher entre um modo de simulação guiado ou livre	Alta	Demonstração
SR-RV-6	O simulador deve permitir ao utilizador escolher entre 4 procedimentos: <i>Exterior, Interior, Ground e Flight Procedures</i>	Alta	Demonstração
SR-RV-7	No início da simulação, a aeronave deve estar posicionada de modo a que não tenha obstáculos em redor	Alta	Demonstração
SR-RV-8	O utilizador deve iniciar a simulação de uma posição fixa que depende do procedimento escolhido	Alta	Demonstração
SR-RV-9	O utilizador deve ter a capacidade de andar a uma velocidade de 3-4m/s	Alta	Demonstração
SR-RV-10	A simulação deve incluir o som dos passos do utilizador	Média	Demonstração
SR-RV-11	A simulação deve proibir o utilizador afastar-se demasiado da aeronave	Alta	Demonstração
SR-RV-12	A rotação da câmara sobre o eixo transversal deve ser limitada a 70° para baixo e 90° para cima	Alta	Demonstração
SR-RV-13	A rotação da câmara sobre o eixo vertical fora do cockpit deve ser ilimitada	Alta	Demonstração
SR-RV-14	A rotação da câmara sobre o eixo vertical dentro do cockpit deve ser limitada a 90° para a esquerda e direita	Alta	Demonstração
SR-RV-15	Em caso de utilização de um HMD, a câmara deve apenas ser limitada pelos movimentos do utilizador	Alta	Demonstração
SR-RV-16	O jogador deve ter um corpo virtual	Baixa	Demonstração
SR-RV-17	Em modo guiado, deve ser apresentada uma caixa de texto que indique a fase da inspeção, a tarefa a realizar e os objetivos dessa tarefa	Alta	Demonstração

ID	Descrição	Prioridade	Validação
SR-RV-18	O simulador deve seguir os passos como indicados no manual Embraer A-29 Flight Manual TO 1A-29B(LAS)-1	Alta	Demonstração
SR-RV-19	A caixa de texto deve conter a informação como está no manual Embraer A-29 TO 1A-29B(LAS)-1	Alta	Demonstração
SR-RV-20	Em modo guiado, o componente da tarefa a realizar deve estar destacado	Alta	Demonstração
SR-RV-21	Em modo guiado, deve ser apresentada uma dica visual após completar um objetivo	Alta	Demonstração
SR-RV-22	Em modo guiado, ser apresentadas as mensagens de avisos/cautela indicadas no manual	Alta	Demonstração
SR-RV-23	Em modo livre, não deve haver quaisquer indicações ou ajudas	Alta	Demonstração
SR-RV-24	Em modo livre, o utilizador, deve ter a possibilidade de confirmar se completou todas as tarefas de certo procedimento ou se ainda falta algo por completar	Alta	Demonstração
SR-RV-25	Em ambos os modos, deve ser apresentada uma dica visual que no fim de cada procedimento para indicar ao utilizador que foi completo com sucesso	Alta	Demonstração
SR-RV-26	Os sistemas da aeronave devem emitir o som realistas	Média	Demonstração
SR-RV-27	As portas devem ser abertas/fechadas clicando nelas, iniciando uma animação	Alta	Demonstração
SR-RV-28	Itens removíveis devem ser retirados agarrando no item e arrastando até retirar completamente	Alta	Demonstração
SR-RV-29	Um item inserível deve ser agarrado e guiado pelo utilizador até à sua entrada	Alta	Demonstração
SR-RV-30	Itens como botões e interruptores devem ser devem ser movidos clicando nestes para alterar o seu estado	Alta	Demonstração
SR-RV-31	Ao interagir com um botão/interruptor, este deve mudar de posição de acordo com as suas posições reais	Alta	Demonstração
SR-RV-32	Apenas os botões/interruptores necessários para a simulação devem ser interativos	Média	Demonstração
SR-RV-33	A subida para a asa, a entrada e saída do cockpit devem ser feitas com uma animação	Média	Demonstração
SR-RV-34	Os passos que requerem ajustamento de objetos, calibração de sistemas ou inserção de dados serão explicados por meio de texto, vídeo ou animação	Alta	Demonstração
SR-RV-35	Durante a simulação, o utilizador deve ter a capacidade de aceder a um painel que indique visualmente o estado dos sistemas	Alta	Demonstração

3.1.2 Interface

ID	Descrição	Prioridade	Validação
SR-INT-1	A interface utilizador/simulação deve ser feita por meio de um computador e um sistema de HMD (p.ex.: Oculus Rift)	Alta	Demonstração
SR-INT-2	O simulador deve ser corrido num computador	Alta	Demonstração
SR-INT-3	O utilizador deve usar um sistema HMD com <i>motion controllers</i> (p.ex. Oculus Rift) para interagir com o ambiente virtual	Alta	Demonstração
SR-INT-4	A simulação deve também ser transmitida para um monitor para uso pedagógico	Média	Demonstração
SR-INT-5	A seleção de opções nos menus deve ser feita com os <i>motion controllers</i>	Alta	Demonstração
SR-INT-6	A direção para onde o utilizador está a olhar deve ser o sentido em que anda	Alta	Demonstração
SR-INT-7	O agachamento físico do utilizador deve corresponder a um agachamento virtual	Alta	Demonstração
SR-INT-8	A abertura de portas deve ser feita aproximando os <i>motion controllers</i> destas e clicando no botão <i>trigger</i>	Alta	Demonstração
SR-INT-9	A remoção de itens deve ser feita aproximando os <i>motion controllers</i> destes, manter premido o botão <i>grab</i> e arrastando até à posição correta	Alta	Demonstração
SR-INT-10	A movimentação de componentes deve ser feita aproximando os <i>motion controllers</i> destes, manter premido o botão <i>grab</i> e movimentando o componente livremente	Alta	Demonstração
SR-INT-11	A interação com interruptores e botões deve ser feita aproximando os <i>motion controllers</i> destes e clicando no botão <i>trigger</i>	Alta	Demonstração
SR-INT-12	O simulador deve poder correr em dispositivos móveis (Android/iOS)	Baixa	Demonstração
SR-INT-13	Em modo 3D, os controlos devem ser feitos através de rato, teclado e monitor único	Alta	Demonstração

3.1.3 Simulação de Sistemas

A simulação dos sistemas da aeronave no simulador está associada aos Procedimentos Normais, descritos no Manual de Voo Embraer A-29 TO 1A-29B(LAS)-1. Os requisitos de simulação apresentados abaixo são baseados na lista de procedimentos aprovados para este simulador.

ID	Descrição	Prioridade	Validação
SR-SIM-1	O sistema elétrico do A-29 Super Tucano deve ser simulado para operações de inspeção de <i>cockpit</i>	Alta	Demonstração
SR-SIM-2	O sistema de combustível do A-29 Super Tucano deve ser simulado para operações de inspeção de <i>cockpit</i>	Alta	Demonstração

3.2 REQUISITOS NÃO FUNCIONAIS

Os seguintes tipos de requisitos não-funcionais, entre outros, podem ser considerados:

3.2.1 Usabilidade

A interface gráfica deve ser simples e os menus devem ser claros e facilmente compreensíveis.

Deve ser possível iniciar as tarefas após a escolha das opções essenciais, como o formato (3D ou VR), o procedimento a realizar e o modo de simulação (guiado ou livre).

Deve ser possível pausar, reiniciar e sair da simulação facilmente.

3.2.2 Desempenho

O *software* será desenvolvido num computador com especificações “standard” à data atual.

3.3 HARDWARE

O *software* será desenvolvido num computador com especificações “standard” à data atual.



PÁGINA INTENCIONALMENTE EM BRANCO

B Relatórios dos testes

1. IDENTIFICAÇÃO (IDENTIFICATION)

Nome e Número do Projeto: <i>(Project name and number)</i>	Projeto de Realidade Virtual para Operações
Item a Testar: <i>(Item to test)</i>	Aplicação desenvolvida por Afonso Carvalho
Documento de Referência: <i>(Reference Document)</i>	Requisitos da aplicação e propósitos da tese de mestrado

Testes <i>(Tests)</i>									
Unitário: <i>(Unitarian)</i>		Integração: <i>(Integration)</i>		Aceitação: <i>(Acceptance)</i>	X	Outros: <i>(Others)</i>		Data: <i>(Date)</i>	2021-04-06
Equipa de Teste <i>(Test Team)</i>									
Luís Teixeira Afonso Carvalho									

Realização dos Testes <i>(Tests Execution)</i>			
Nome <i>(Name):</i>	Função <i>(Job Title):</i>	Data <i>(Date):</i>	Rubrica <i>(Signature):</i>
Luís Teixeira	DMI	2021-04-06	
Aceitação dos Testes <i>(Tests Acceptance)</i>			
Nome <i>(Name):</i>	Função <i>(Job Title):</i>	Data <i>(Date):</i>	Rubrica <i>(Signature):</i>
Luís Teixeira	DMI	2021-04-06	

Observações <i>(Observations)</i>
Foram verificados os requisitos do demonstrador em modo 3D sem ter em atenção os procedimentos normais. Estes serão alvo de um teste separado. Assim como a aplicação VR.

2. RESULTADOS DO TESTES (*TESTS RESULTS*)

ID Teste <i>Test ID</i>	Requisito <i>Requirement</i>	Resultado ¹ <i>Result</i>
1	A simulação deve iniciar-se com um menu que deve ter as opções de escolher o procedimento a realizar, de escolher modo de simulação, de iniciar a simulação e de sair da aplicação	ok
2	Durante a simulação, o utilizador deve ter a capacidade de aceder a um menu que pause a simulação e que tenha as opções para continuar a simulação, sair da aplicação ou voltar ao menu principal	ok
3	No fim da simulação, deve ser apresentado um menu com a opções para ir para o menu principal ou sair da aplicação	ok
4	A simulação deve permitir ao utilizador escolher entre um cenário diurno ou noturno	No OK
5	O simulador deve permitir ao utilizador escolher entre um modo de simulação guiado ou livre	ok
6	O simulador deve permitir ao utilizador escolher entre 4 procedimentos: <i>Exterior, Interior, Ground e Flight Procedures</i>	ok
7	No início da simulação, a aeronave deve estar posicionada de modo a que não tenha obstáculos em redor	ok
8	O utilizador deve iniciar a simulação de uma posição fixa que depende do procedimento escolhido	ok
9	O utilizador deve ter a capacidade de andar a uma velocidade de 3-4 km/h	ok
10	A simulação deve incluir o som dos passos do utilizador	ok
11	A simulação deve proibir o utilizador afastar-se demasiado da aeronave	Ok
12	A rotação da câmara sobre o eixo transversal deve ser limitada a 70° para baixo e 90° para cima	Ok
13	A rotação da câmara sobre o eixo vertical fora do cockpit deve ser ilimitada	Ok
14	A rotação da câmara sobre o eixo vertical dentro do cockpit deve ser limitada a 90° para a esquerda e direita	Ok
15	Em caso de utilização de um HMD, a câmara deve apenas ser limitada pelos movimentos do utilizador	Ok
16	O jogador deve ter um corpo virtual	Not OK
17	Em modo guiado, deve ser apresentada uma caixa de texto que indique a fase da inspeção, a tarefa a realizar e os objetivos dessa tarefa	Ok
18	O simulador deve seguir os passos como indicados no manual Embraer A-29 Flight Manual TO 1A-29B(LAS)-1	Ok

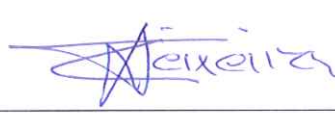
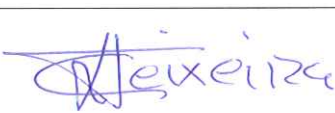
¹ Indicar no campo "Resultado". OK; PARCIAL ou NOK, de acordo com o resultado esperado
In the result field choose the correct option OK; PARCIAL or NOK in accordance with the expected result:
 OK – Teste passou sem restrições – *Test passed without restrictions*
 Parcial – Teste passou, mas com restrições – *Test passed but with restrictions*
 NOK – Teste não passou – *Test failed*

19	A caixa de texto deve conter a informação como está no manual Embraer A-29 TO 1A-29B(LAS)-1	ok
20	Em modo guiado, o componente da tarefa a realizar deve estar destacado	ok
21	Em modo guiado, deve ser apresentada informação sobre o bom cumprimento da tarefa	ok
22	Em modo guiado, ser apresentadas as mensagens de avisos/cautela indicadas no manual	ok
23	Em modo livre, não deve haver quaisquer indicações ou ajudas	ok
24	Em modo livre, o utilizador, deve ter a possibilidade de confirmar se completou todas as tarefas de certo procedimento ou se ainda falta algo por completar	ok
25	Em ambos os modos, deve ser apresentada uma dica visual que no fim de cada procedimento para indicar ao utilizador que foi completo com sucesso	ok
26	Os sistemas da aeronave devem emitir o som realistas	ok
27	As portas devem ser abertas/fechadas clicando nelas, iniciando uma animação	Not ok
28	Itens removíveis devem ser retirados agarrando no item e arrastando até retirar completamente	Not ok
29	Um item inserível deve ser agarrado e guiado pelo utilizador até à sua entrada	Not ok
30	Itens como botões e interruptores devem ser movidos clicando nestes para alterar o seu estado	ok
31	Ao interagir com um botão/interruptor, este deve mudar de posição de acordo com as suas posições reais	ok
32	Apenas os botões/interruptores necessários para a simulação devem ser interativos	ok
33	A subida para a asa, a entrada e saída do cockpit devem ser feitas com uma animação	ok
34	Os passos que requerem ajustamento de objetos, calibração de sistemas ou inserção de dados serão explicados por meio de texto, vídeo ou animação	Apenas texto
35	Durante a simulação, o utilizador deve ter a capacidade de aceder a um painel que indique visualmente o estado dos sistemas	Só o elétrico

1. IDENTIFICAÇÃO (IDENTIFICATION)

Nome e Número do Projeto: <i>(Project name and number)</i>	Projeto de Realidade Virtual para Operações
Item a Testar: <i>(Item to test)</i>	Aplicação desenvolvida por Afonso Carvalho
Documento de Referência: <i>(Reference Document)</i>	Requisitos da aplicação e propósitos da tese de mestrado

Testes <i>(Tests)</i>									
Unitário: <i>(Unitarian)</i>		Integração: <i>(Integration)</i>		Aceitação: <i>(Acceptance)</i>	X	Outros: <i>(Others)</i>		Data: <i>(Date)</i>	2021-04-06
Equipa de Teste <i>(Test Team)</i>									
Luís Teixeira Afonso Carvalho									

Realização dos Testes <i>(Tests Execution)</i>			
Nome (Name):	Função (Job Title):	Data (Date):	Rubrica (Signature):
Luís Teixeira	DMI	2021-04-06	
Aceitação dos Testes <i>(Tests Acceptance)</i>			
Nome (Name):	Função (Job Title):	Data (Date):	Rubrica (Signature):
Luís Teixeira	DMI	2021-04-06	

Observações <i>(Observations)</i>
Teste à componente de interface apenas (sem execução de procedimentos), quer para a versão 3D que essencialmente para a versão em realidade virtual. A tese de mestrado contém as conclusões destes testes.

2. RESULTADOS DO TESTES (*TESTS RESULTS*)

ID Teste <i>Test ID</i>	<i>Requisito</i> <i>Requirement</i>	Resultado ¹ <i>Result</i>
1	A interface utilizador/simulação deve ser feita por meio de um computador e um sistema de HMD (p.ex.: Oculus Rift)	Ok
2	O simulador deve ser executado num computador	Ok
3	O utilizador deve usar um sistema HMD com <i>motion controllers</i> (p.ex. Oculus Rift) para interagir com o ambiente virtual	Ok
4	A simulação deve também ser transmitida para um monitor para uso pedagógico	Ok
5	A seleção de opções nos menus deve ser feita com os <i>motion controllers</i>	Ok
6	A direção para onde o utilizador está a olhar deve ser o sentido em que anda	Ok
7	O agachamento físico do utilizador deve corresponder a um agachamento virtual	Ok
8	A abertura de portas deve ser feita aproximando os <i>motion controllers</i> destas e clicando no botão <i>trigger</i>	Not OK
9	A remoção de itens deve ser feita aproximando os <i>motion controllers</i> destes, manter premido o botão <i>grab</i> e arrastando até à posição correta	Not Ok
10	A movimentação de componentes deve ser feita aproximando os <i>motion controllers</i> destes, manter premido o botão <i>grab</i> e movimentando o componente livremente	Ok
11	A interação com interruptores e botões deve ser feita aproximando os <i>motion controllers</i> destes e clicando no botão <i>trigger</i>	Ok
12	O simulador deve poder ser executado em dispositivos móveis (Android/iOS)	Not Ok
13	Em modo 3D, os controlos devem ser feitos através de rato, teclado e monitor único	ok
14	A interface utilizador/simulação deve ser feita por meio de um computador e um sistema de HMD (p.ex.: Oculus Rift) ou PC com teclado e rato	ok

¹ Indicar no campo "Resultado". OK; PARCIAL ou NOK, de acordo com o resultado esperado
In the result field choose the correct option OK; PARCIAL or NOK in accordance with the expected result:
 OK – Teste passou sem restrições – *Test passed without restrictions*
 Parcial – Teste passou, mas com restrições – *Test passed but with restrictions*
 NOK – Teste não passou – *Test failed*

1. IDENTIFICAÇÃO (IDENTIFICATION)

Nome e Número do Projeto: <i>(Project name and number)</i>	Projeto de Realidade Virtual para Operações
Item a Testar: <i>(Item to test)</i>	Aplicação desenvolvida por Afonso Carvalho
Documento de Referência: <i>(Reference Document)</i>	Requisitos da aplicação e propósitos da tese de mestrado

Testes <i>(Tests)</i>									
Unitário: <i>(Unitarian)</i>		Integração: <i>(Integration)</i>		Aceitação: <i>(Acceptance)</i>	X	Outros: <i>(Others)</i>		Data: <i>(Date)</i>	2021-04-06
Equipa de Teste <i>(Test Team)</i>									
Luís Teixeira Afonso Carvalho									

Realização dos Testes <i>(Tests Execution)</i>			
Nome (Name):	Função (Job Title):	Data (Date):	Rubrica (Signature):
Luís Teixeira	DMI	2021-04-06	
Aceitação dos Testes <i>(Tests Acceptance)</i>			
Nome (Name):	Função (Job Title):	Data (Date):	Rubrica (Signature):
Luís Teixeira	DMI	2021-04-06	

Observações <i>(Observations)</i>
Vamos considerar nos resultados dos testes apenas os passos que não são cumpridos na integra. Teste aos subcapítulos Before Exterior Inspection e Interior Inspection. Documento usado no teste: TO1A-29BSTD-1_SEC02 – Revision 3.

2. RESULTADOS DO TESTES (TESTS RESULTS)

ID Teste <i>Test ID</i>	Requisito <i>Requirement</i>	Resultado ¹ <i>Result</i>
N/A	Before Exterior Inspection	N/A
1	Maintenance Status – Check.	Not OK
3	Generator Air Inlet – Clear	Not OK
4	Canopy and Windshield – Check	Not OK
5	Landing Gear Lever – DOWN	Not OK
N/A	Interior Inspection	N/A
24	C/F Switch (front cockpit) – OFF.	Não existe
25	LRF Switch (front cockpit) – OFF.	Não existe
26	FLIR Power Switch (FLIR panel/rear cockpit) – OFF	Não existe
27	Laser Interlock Switch (FLIR panel/rear cockpit) – OFF	Não existe
32	Utility Light – As required	Não existe

“Não existe” significa que não existe modelo 3D para o passo em questão.

¹ Indicar no campo “Resultado”. OK; PARCIAL ou NOK, de acordo com o resultado esperado
In the result field choose the correct option OK; PARCIAL or NOK in accordance with the expected result:
 OK – Teste passou sem restrições – *Test passed without restrictions*
 Parcial – Teste passou, mas com restrições – *Test passed but with restrictions*
 NOK – Teste não passou – *Test failed*