



Instituto Superior de Ciências  
do Trabalho e da Empresa

**Departamento de Ciências e Tecnologias da Informação**

# **Os Simuladores e as TI para *PC* para a formação do pessoal aeronáutico**

**– Sua utilização e eficácia –**

**Pedro Andrade T. M. Oliveira**

**(Licenciado)**

**Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em  
Estudos de Informação e Bibliotecas Digitais**

**Orientador: Professor Doutor Henrique José Rocha O' Neill**

**Co-orientador: Alexandre Matias Santos**

**2005**

## Resumo

A simulação é um meio de aprendizagem dinâmico, e a sua eficácia no treino é reconhecida por autoridades e centros de formação aeronáutica a nível mundial. Proporciona, por um lado, a assimilação de conceitos teóricos, e o desenvolvimento de perícia / habilidades psicomotoras, por outro. Face ao ensino tradicional, permite a redução de custos de formação num ambiente seguro. A utilização de simuladores convencionais na formação de pilotos, oficialmente certificados, é já considerado um *standard*. Cursos há, até, que são integralmente realizados dentro do simulador, sem contacto algum com a aeronave real. Porém, não obstante a sua comprovada eficácia, estes dispositivos de cabine física, movimento ou sistema visual complexo, comportam custos significativamente elevados.

As Tecnologias de Informação para computadores de uso pessoal (*PCs*) reforçam ainda mais o factor custo, evidenciando outras vantagens, tais como o transporte, a utilização e a parametrização acessíveis. Não obstante, à excepção da norte-americana *FAA* – que certifica, já, alguns simuladores *PC* para o treino de voo-por-instrumentos –, a europeia *JAA* e as entidades dos países-membros respectivas, entre as quais o *INAC*, não prevêem a sua utilização nem certificam tal género de equipamento de baixo-custo.

Assim sendo, comprovando-se a eficácia dos simuladores de voo para *PC* no treino de pilotos, o caminho a seguir poderia e, na opinião do autor, deveria ser o do aproveitamento eficiente deste género de tecnologias, através da respectiva e progressiva certificação, ora para reduzir custos, ora para aumentar a eficácia do treino. Nos processos de aprendizagem dos diferentes cursos, não obstante algumas naturais e incontornáveis limitações, posicionaram-se-iam os simuladores *PC* como complemento óptimo dos simuladores profissionais actualmente certificados, ou, numa perspectiva porventura não menos realista, em substituição parcial desses simuladores dispendiosos. Defende-se, pois, a tese da eficácia das TI para *PC*, nomeadamente simuladores, na formação de pessoal aeronáutico, com especial incidência na pilotagem. Para além da simulação, serão abordadas mais aplicações com sucesso das TI para *PC*, como o *Computer-Based Instruction (CBI)* e outras.

**Palavras-chave:** Simulação, Computadores Pessoais, Simuladores de Voo, Pesquisa em Simulador, Dispositivos de Treino Artificial, Modelos de Aprendizagem, Psicologia do Treino de Voo, Treino Baseado em Computador, Ensino Assistido por Computador.

## **Abstract**

Simulation is a very dynamic way of learning, and its effectiveness in training is known worldwide by flight training organizations and aeronautical authorities. It provides assimilation of theoretical concepts, and development of phsico-motor skills, on the other hand. In contrast with traditional learning, simulation reduces global training costs in a safe environment.

Information Technologies (IT) for personal computers (PCs) put even more emphasis on cost factor, even providing other beneficts such as transport, usage and setup. In addition, with the exception of the north-american FAA – which already certifies PC flight simulators for the training for Instrument Rating and for some training on Private Pilot Licence – the european JAA and individual regional authorities of its country members, among them the portuguese INAC, neither encourages the usage of those devices nor provide any ground for certification.

The gist of the present study is the demonstration of simulation's effectiveness and its benefits in pilot training. Beyond simulation, further successful aplications of IT in training will be regarded, such as the Computer-Based Instruction (CBI).

**Keywords:** Simulation, Personal Computers, Flight Simulators, Simulator Research, Synthetic Training Devices, Learning Models, Flight Training Psychology, Computer-Based Training, Computer-Assisted Instruction.

## Agradecimentos

À TAP, pela colaboração e apoio ao presente estudo e pela demonstração e cedência dos seus equipamentos. Ao *Training Center* e ao Suporte Técnico da companhia.

À FAP, pela forma com que fui recebido nas suas instalações, nomeadamente na Academia da Força Aérea (AFA), Base Aérea de Monte-Real (BA-5), Secção de Treino Fisiológico do Centro de Medicina Aeronáutica (CMA) e Centro de Formação Militar e Técnica da Força Aérea (CFMTFA) na Ota. Ao Coronel Pedro Pontes pela eficiente coordenação. Ao recém-falecido Coronel Ramiro Almeida Santos, ex-Comdte. da BA-1, pelas diligências tomadas.

À OGMA, e dentro desta e em particular, ao DED, pela amabilidade com que me recebeu pela altura da minha visita aos seus protótipos ainda em fase de desenvolvimento nas suas instalações na Base Aérea de Alverca.

À UBI, pela recepção, esclarecimento e demonstração do equipamento do Laboratório de Aviónica e Controlo do Departamento de Ciências Aeroespaciais.

Às escolas e centros de formação que responderam prontamente aos questionários de inquérito enviados e se disponibilizaram para ajudar, nomeadamente: Aeroclube de Alverca do Ribatejo, Aeroclube de Torres Vedras, Aerocondor, Leávia, Nortávia e OMNI.

Ao INAC, em particular à Sr.<sup>a</sup> Carlota Rodrigues do CDI, pela ajuda técnica.

Ao Comte. Alexandre Matias (e *TRE* de A320), co-orientador da Dissertação, que acompanhou a elaboração das operações detalhadas do Perfil de Voo e facultou informação técnica complementar. Também ao Comte. Paulo Soares.

A todos os que, directa ou indirectamente, contribuíram para a elaboração da Dissertação e, em particular, para o Estudo de Caso prático. Aos elementos participantes nas sessões em simulador de voo. A todos os que apoiaram e deram incentivo à sua realização.

Ao meu orientador, pela aceitação da importante tarefa de orientação durante a elaboração da Dissertação, e ao coordenador do Mestrado, pela aprovação do projecto.

# Índice

|   |    |
|---|----|
| <b>1. Introdução</b> .....  | 10 |
| 1.1 Motivação .....   | 13 |
| 1.2 Problema, objectivo e solução proposta .....  | 13 |
| 1.3 Contributo da Dissertação .....   | 14 |
| 1.4 Processo de investigação .....  | 14 |
| 1.5 Duração e estrutura da Dissertação .....  | 15 |
| <b>2. As Tecnologias de Informação e o processo de aprendizagem: estado da arte</b> ..... | 17 |
| 2.1 Conceitos preliminares .....  | 17 |
| 2.2 A Simulação .....   | 19 |
| 2.2.1 Fundamentos da simulação .....  | 20 |
| 2.2.2 Simulação por computador .....  | 21 |
| 2.2.2.1 Modelagem de sistemas – ferramentas e tipos de modelos .....                      | 22 |
| 2.2.2.2 Modelos matemáticos de simulação .....  | 24 |
| 2.2.3 Os simuladores no ambiente escolar: <i>MATLAB</i> e <i>Simulink</i> .....           | 25 |
| 2.2.4 Os simuladores no ambiente empresarial .....  | 26 |
| 2.2.5 Os simuladores na Engenharia .....  | 27 |
| 2.2.6 Os simuladores na pesquisa científica: <i>NASA Ames SimLabs</i> e <i>ES</i> .....   | 30 |
| 2.2.6.1 <i>NASA Ames Simulation Laboratories</i> .....                                    | 31 |
| 2.2.6.2 <i>Earth Simulator</i> .....  | 34 |
| 2.2.7 Os simuladores no ensino e treino da condução de veículos .....                     | 35 |
| 2.2.7.1 O problema do comportamento dinâmico: massas grandes vs pequenas .....            | 35 |
| 2.2.7.2 A importância do movimento físico na simulação e os factores somáticos .....      | 37 |
| 2.2.7.3 Os simuladores de condução de veículos automóveis e o modelo dinâmico .....       | 39 |
| 2.2.7.4 Aplicação dos simuladores de condução no ensino .....                             | 42 |
| 2.2.8 Os simuladores na formação aeronáutica .....  | 43 |
| 2.2.8.1 Os simuladores de voo .....   | 43 |
| 2.2.8.2 Os simuladores de desorientação espacial .....                                    | 49 |
| 2.2.8.3 Os simuladores na formação de CTA .....   | 49 |
| 2.3 Argumentos sobre a utilização da simulação e TI na formação .....                     | 50 |
| 2.3.1 Factor “custo” .....  | 53 |
| 2.3.2 Factor “tempo” .....  | 53 |
| 2.3.3 Factor “eficácia” .....   | 54 |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.3.4 Factor “segurança” .....   | 54        |
| 2.4 Simuladores de média-robustez baseados em tecnologia <i>PC</i> .....                                 | 55        |
| 2.4.1 Simuladores de voo com cabine .....  | 55        |
| 2.4.2 Simuladores de sistemas: <i>ECAM/FMGS-Trainers</i> .....   | 56        |
| 2.5 TI para <i>PC</i> – sistemas simples .....   | 57        |
| 2.5.1 Dispositivos-de-voo-sintético .....  | 57        |
| 2.5.1.1 Simuladores de voo <i>PC</i> .....   | 57        |
| 2.5.1.2 <i>PCATDs</i> .....  | 60        |
| 2.5.2 O conceito <i>CBI: Computer-Based Instruction</i> .....  | 62        |
| 2.5.2.1 O <i>Computer-Managed Instruction</i> e a monitorização da aprendizagem .....                    | 62        |
| 2.5.2.2 A multimédia digital .....   | 63        |
| 2.5.2.3 O Ensino-à-Distância (EAD) e o <i>Web-Based Training (WBT)</i> .....                             | 65        |
| 2.5.3 Simuladores de sistemas para <i>PC</i> .....   | 66        |
| 2.5.4 Simulação de cenários geográficos .....  | 67        |
| <b>3. A eficácia das TI para <i>PC</i> e a aplicação tecnológica nos processos de aprendizagem</b> ..... | <b>68</b> |
| 3.1 Fundamentos do processo de aprendizagem .....  | 68        |
| 3.2 A importância do <i>software</i> educativo na aprendizagem .....                                     | 69        |
| 3.3 Jogos de computador .....  | 70        |
| 3.3.1 Jogos de simulação e “realidade virtual” .....   | 71        |
| 3.4 Anatomia de um curso de pilotagem – enquadramento legal .....  | 74        |
| 3.4.1 O curso para a licença de PPA ( <i>PPL-A</i> ) .....   | 74        |
| 3.4.2 O curso para a licença de PCA ( <i>CPL-A</i> ) .....   | 75        |
| 3.4.3 O curso para a licença de PLAA ( <i>ATPL-A</i> ) .....   | 76        |
| 3.4.4 Curso para qualificação em Tipo/Classe de avião ( <i>Type/Class-Rating</i> ) .....                 | 76        |
| 3.4.4.1 <i>Zero Flight Time Training (ZFTT)</i> .....  | 78        |
| 3.4.4.2 O modelo <i>GECAT</i> : o <i>standard</i> em <i>Type-Rating</i> .....                            | 78        |
| 3.4.4.3 <i>Simfinity™</i> : o modelo <i>Type-Rating</i> inovador da <i>CAE</i> .....                     | 79        |
| 3.4.5 A qualificação em voo-por-instrumentos ( <i>IR-A</i> ) .....                                       | 80        |
| 3.5 Aplicação dos simuladores de voo e TI para <i>PC</i> no ensino da aviação: exemplos .....            | 82        |
| 3.5.1 A nível mundial .....  | 82        |
| 3.5.1.1 <i>US-Navy</i> .....   | 83        |
| 3.5.1.2 <i>Aerospace Industry Training Centre, Kangan Batman TAFE</i> .....                              | 84        |
| 3.5.2 A nível nacional .....   | 84        |
| 3.5.2.1 Lic. Eng. <sup>a</sup> Aeronáutica (Universidade da Beira Interior) .....                        | 85        |

|  |            |
|--|------------|
| 3.5.2.2 ANA – Aeroportos de Portugal .....   | 86         |
| 3.5.2.3 Força Aérea Portuguesa .....   | 86         |
| 3.6 Argumentos sobre a utilização específica das TI para PC .....                                | 96         |
| 3.6.1 Os custos comparados dos sistemas de simulação .....                                       | 98         |
| 3.6.2 Eficácia do treino vs fidelidade da simulação .....  | 99         |
| 3.6.3 A eficácia dos simuladores PC no treino de pilotos .....                                   | 102        |
| 3.6.3.1 Para o treino do voo-por-instrumentos ( <i>IFR</i> ) .....                               | 103        |
| 3.6.3.2 No treino do voo visual ( <i>VFR</i> ), voo manual e dos sistemas .....                  | 105        |
| 3.6.3.3 O treino de cooperação em tripulação múltipla ( <i>MCC</i> ) .....                       | 106        |
| <b>4. Estudo de Caso: a eficácia dos simuladores de voo PC na formação de pilotos .....</b>      | <b>107</b> |
| 4.1 Justificação .....   | 107        |
| 4.2 Ferramentas e considerações técnicas .....   | 108        |
| 4.2.1 <i>Software</i> de simulação <i>COTS</i> e plataformas de carácter lúdico .....            | 108        |
| 4.2.2 “ <i>Project Lisbon Photoreal</i> ” – modelo de aplicação de cenários sintéticos .....     | 109        |
| 4.2.3 “ <i>Project A320</i> ” – parametrização de um modelo de voo para <i>Airbus A320</i> ..... | 113        |
| 4.2.3.1 O <i>Fly-By-Wire</i> e os ajustes dos momentos de inércia .....                          | 114        |
| 4.3 Ressalva metodológica preliminar .....   | 115        |
| 4.4 Método .....   | 116        |
| 4.4.1 Sujeitos participantes .....   | 116        |
| 4.4.2 <i>Apparatus</i> .....   | 117        |
| 4.4.2.1 Simulador PC .....   | 117        |
| 4.4.2.2 Simulador FS .....   | 120        |
| 4.4.3 Procedimento .....   | 120        |
| 4.4.3.1 Perfil de Voo .....  | 120        |
| 4.4.3.2 Operações .....  | 123        |
| <b>5. Apresentação e discussão de resultados .....</b>   | <b>125</b> |
| <b>6. Conclusões e recomendações .....</b>   | <b>133</b> |
| <b>Referências bibliográficas .....</b>  | <b>139</b> |
| <b>Sítios da Internet relacionados .....</b>   | <b>146</b> |
| <b>Tábua de siglas e abreviaturas .....</b>  | <b>147</b> |
| <b>Apêndices .....</b>   | <b>154</b> |
| <b>Anexos .....</b>  | <b>194</b> |

## Índice de Figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – <i>Apple II</i> (1977); <i>Sinclair</i> (1979); <i>IBM 5150PC</i> (1981); <i>Sinclair ZX-Spectrum</i> (1982) ..... | 18 |
| Figura 2 – Dois exemplos de foto experimental vs simulação numérica .....   | 22 |
| Figura 3 – Esquema da classificação do Estudo de Sistemas e formas de simulação .....   | 23 |
| Figura 4 – <i>Simulink</i> <sup>TM</sup> : exemplo de um modelo de simulação da mecânica de um automóvel .....                | 26 |
| Figura 5 – Simulação numérica da temperatura / pressão aerodinâmica em modelos .....  | 28 |
| Figura 6 – Caso de sucesso: modelo do Audi R8 consruído e simulado em <i>ADAMS</i> <sup>TM</sup> .....                        | 29 |
| Figura 7 – Motores de 4 cilindros e turbo-hélice concebidos com a aplicação <i>ADAMS</i> <sup>TM</sup> .....                  | 30 |
| Figura 8 – <i>FFC</i> : aspecto exterior, interior e simulação de um cenário .....  | 31 |
| Figura 9 – <i>CVSRF: Flight Simulator 747-400</i> em conjunto com <i>ATC Simulator</i> .....                                  | 32 |
| Figura 10 – <i>VMS</i> (interior e exterior) e <i>VLAB</i> .....  | 33 |
| Figura 11 – Simulador de navio .....  | 36 |
| Figura 12 – Simulador de comboio .....  | 36 |
| Figura 13 – Jogo de simulação <i>Need For Speed</i> <sup>TM</sup> : modelo dinâmico. Simulação de sobreviragem .....          | 40 |
| Figura 14 – Simulador de cabine completa ( <i>Smart</i> ) e simulador com consola ( <i>Ford Focus</i> ) .....                 | 41 |
| Figura 15 – Simulador de Voo de qualificação de Tipo de avião <i>Airbus A320, Training Center/TAP</i> .....                   | 45 |
| Figura 16 – Simulador de Voo para qualificação de Tipo de Tipo <i>A319-A320-A321</i> .....                                    | 48 |
| Figura 17 – 2 exemplos de simuladores com cabine física: total ou parcial .....   | 56 |
| Figura 18 – “ <i>A320 FMGS Trainer/Free-Play</i> ” da TAP e <i>A320 FTD</i> da CAE .....                                      | 56 |
| Figura 19 – Espectro de complexidade dos dispositivos-de-treino-sintético: <i>PC-FTD-FFS</i> .....                            | 57 |
| Figura 20 – <i>Flight Simulator</i> : a evolução (1980, 1989 e 2003) .....  | 58 |
| Figura 21 – Painéis / visuais de simuladores de voo para PC para treino em Voo por Instrumentos .....                         | 60 |
| Figura 22 – <i>PCATD – Personal Computer-based Aviation Training Device</i> .....   | 61 |
| Figura 23 – Esquema de sala-arquétipo de instrução baseado em <i>CMI. Training Center (TAP)</i> .....                         | 63 |
| Figura 24 – <i>VACBI Airbus A320</i> – estrutura de conteúdos de acesso directo e monitorização de progresso .....            | 64 |
| Figura 25 – Exemplos de <i>CBI-CMI</i> para <i>Airbus A320: Airbus e Northwest Airlines</i> .....                             | 64 |
| Figura 26 – PC com <i>software</i> de simulação de sistemas .....   | 66 |
| Figura 27 – <i>Integrated Procedures Trainer</i> – simulação digital de sistemas de <i>cockpit</i> de <i>A320</i> .....       | 67 |
| Figura 28 – <i>GECA</i> T: modelo de formação em <i>Type-Rating</i> para <i>Airbus A320</i> .....                             | 79 |
| Figura 29 – <i>CAE Simfinity</i> : esquema do processo de aprendizagem em <i>Type-Rating</i> para <i>A320</i> , da CAE .....  | 80 |
| Figura 30 – <i>US-Navy</i> : utilização de plataformas PC de simulação <i>COTS</i> nos cursos de formação .....               | 83 |
| Figura 31 – Modelo de aeronave <i>C172</i> para o <i>MSFS</i> utilizado no curso de pilotagem .....                           | 84 |
| Figura 32 – <i>PCATD</i> do Laboratório de Aviónica e Controlo (UBI) .....  | 85 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 33 – Aeroporto de Ponta Delgada desenhado para o <i>MSFS</i> . Utilizado pela ANA nos cursos OPA ...                         | 86  |
| Figura 34 – <i>SIMAVIO</i> : <i>CBT</i> + Simulador de Voo ( <i>PC</i> ) utilizado pela Academia da Força Aérea .....               | 88  |
| Figura 35 – <i>SEPS</i> : simulador “ <i>full-size</i> ” do “ <i>Epsilon</i> ” .....  | 89  |
| Figura 36 – Simulador robusto extra- <i>PC</i> da aeronave <i>F-16</i> (sediado na BA de Monte-Real) .....                          | 91  |
| Figura 37 – Simulador de Manutenção Integrada de Aviónicos. Sistema robusto baseado em <i>PC</i> .....                              | 93  |
| Figura 38 – Sistema <i>CBT</i> de auxílio aos cursos MELIAV .....   | 93  |
| Figura 39 – <i>GYROGMA</i> : simulador de desorientação espacial baseado em arquitectura <i>PC</i> .....                            | 94  |
| Figura 40 – Gráfico comparativo do preço dos principais sistemas de simulação .....   | 99  |
| Figura 41 – Resultados de aprovação/reprovação no <i>IPC</i> . Estudo do <i>ARL/IAV</i> (Universidade de Illinois) ..               | 104 |
| Figura 42 – Particularidades do cenário (aspecto aéreo geral da cidade, e aproximação ao aeroporto) .....                           | 110 |
| Figura 43 – Objectos 3D – marcos visuais (réplicas das construções reais da cidade de Lisboa) .....                                 | 112 |
| Figura 44 – Aeroporto de Lisboa ( <i>LPPT</i> ) – fases da projecção .....  | 112 |
| Figura 45 – Apresentação do cenário <i>PLP</i> em comparação com uma imagem da realidade .....                                      | 113 |
| Figura 46 – <i>LPMA</i> – cenário da ilha da Madeira utilizado nas operações .....  | 118 |
| Figura 47 – <i>Airbus A320</i> – cockpit utilizado nas operações .....  | 119 |
| Figura 48 – Painéis de <i>Airbus A320</i> simulados em <i>PC</i> : “ <i>overhead</i> ”, “ <i>pedestal</i> ” e “ <i>MCDU</i> ” ..... | 119 |
| Figura 49 – <i>FS</i> : aproximação à Madeira, e no aeroporto de Lisboa .....   | 120 |
| Figura 50 – Gráfico dos resultados finais em <i>FS</i> .....  | 130 |

## Índice de Tabelas

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 1 – Sistemas utilizados pela FAP comparados .....            | 95  |
| Tabela 2 – <i>Design</i> experimental .....                         | 124 |
| Tabela 3 – Resultados finais da experiência do Estudo de Caso ..... | 129 |

## Índice de Equações

|  |     |
|--|-----|
| Equação 1 – Massa Inercial; relação entre força e aceleração ..... | 35  |
| Equação 2 – Média, Variância e Desvio-Padrão .....                 | 130 |

## 1. Introdução

A utilização das Tecnologias de Informação (TI) para computadores de uso pessoal (*PC*) tem crescido incessantemente desde a sua implementação. Numa altura em que as TI para *PC* são já aplicadas em múltiplos ramos do ensino, importa saber até que ponto as actuais tecnologias existentes no mercado do grande consumo, relativamente acessíveis, podem ser utilizadas como material de suporte pedagógico no ensino ligado à aviação, nomeadamente à formação e manutenção de piloto-aviadores, técnicos de manutenção, controladores de tráfego aéreo e engenheiros aeronáuticos. Quais as suas potencialidades e eficácia na formação/treino? Eis a questão central que será analisada em particular e a pergunta à qual se tentará dar resposta.

Os elevados custos na actual formação de piloto-aviadores, ampliados pela subida do preço dos combustíveis líquidos necessários ao funcionamento das aeronaves utilizadas nessa formação, a par da evolução tecnológica, tem levado diversos centros de formação a optar por dispositivos-de-voo-sintético (*Synthetic Training Devices, STDs*), como os simuladores de voo, por forma a substituir horas de voo real. Para tal, torna-se necessário obter certificação dos dispositivos pela entidade aeronáutica competente – o Instituto Nacional da Aviação Civil (INAC), para a aeronáutica civil em Portugal, que se baseia em normas específicas (*JAR*<sup>1</sup>). Ora, à excepção de alguns *PCATD*<sup>2</sup> utilizados, nos EUA, quase exclusivamente para o treino em voo-por-instrumentos, os simuladores para *PC*, *per si*, por falta de certificação, não substituem horas de voo real. Este facto é responsável pela opção (mais dispendiosa) de centros de formação aeronáutica a preterirem sistemas *PC* em favor de dispositivos mais complexos mas com certificação.

Partindo do pressuposto de que as TI para *PC* perspectivam custos de aquisição e de manutenção mais reduzidos em comparação com as outras tecnologias extra-*PC*, normalmente mais complexas, defende-se a necessidade da sua exploração com vista à redução de custos de aprendizagem, e, até mesmo, à optimização da utilização dessas outras tecnologias mais dispendiosas, complementado-as, sem, com isso, obrigar a uma diminuição da eficácia no ensino da aeronáutica. Para isso, afigura-se necessário, em primeiro lugar,

---

<sup>1</sup> *Joint Aviation Requirements*. Normas elaboradas pela autoridade aeronáutica europeia *JAA*.

<sup>2</sup> *Personal Computer-Based Aviation Training Device*. Certificação dada somente pela norte-americana *FAA*.

testar as TI para *PC* quanto à sua fidelidade e quanto à eficácia da sua aplicação na formação, e compreender o/(s) processo/(s) de aprendizagem no seu todo.

Nesta visão lógica, e para além das questões da certificação oficial, actualmente, a possibilidade de aplicação de determinadas tecnologias para *PC*, nomeadamente os simuladores de voo, nas escolas de aviação, é, por vezes, desprezada, sendo posta em causa a sua credibilidade e eficácia na formação de pilotos.

A inércia que normalmente envolve os processos de transição, juntamente com um certo conservadorismo pedagógico, poderá aparentemente explicar esta inadaptação. Não obstante, o desconhecimento das suas capacidades e a falta de estudos realizados em Portugal sobre a sua fidelidade e eficácia no treino poderá, à partida, explicar o condicionamento dessa implementação, em alguma descredibilização eventual e no atraso pedagógico-tecnológico em relação a outras escolas de pilotagem existentes no estrangeiro que já as aplicam.

Não quer isto dizer que não existam actualmente centros de formação que façam uso de sistemas *PC* como reforço de ensino e treino dos formandos. É, pois, curioso notar que numa altura em que centros de formação há que já defendem a utilização destes recursos na aprendizagem, nomeadamente simuladores de voo para *PC*, muitos outros ainda os consideram "inúteis", apresentando nestes casos, preferência por sistemas complexos e incomparavelmente mais dispendiosos mas com certificação, como foi dito. Mas terão os simuladores *PC* eficácia no treino aeronáutico, incluindo os dispositivos não-certificados?

No âmbito desta Dissertação, torna-se importante salientar a diferença entre TI para *PC* – normalmente correspondente a um sistema *PC* equipado com *software* específico como um simulador de voo ou uma aplicação do género *CBI/CBT*<sup>3</sup> e com alguns dispositivos periféricos (*hardware*) acoplados, de baixo-custo, ou sistema simples – e TI baseadas em *PC*, conceito mais alargado que compreende a primeira definição, mais os equipamentos complexos, “*full-size*”, como sejam alguns dos mais recentes simuladores de voo de modelo físico robusto, geralmente de elevado custo. Ora, é sobre o primeiro conceito – as TI para *PC* – que a presente Dissertação se debruça com especial atenção, pois é de primeira importância a defesa da relação custo/eficácia que torna as TI para *PC* tão apetecíveis. Ainda que existam

---

<sup>3</sup> *CBI*, ou *Computer-Based Instruction*, o mesmo que *CBT*, ou *Computer-Based Training*.

sistemas que utilizem TI baseadas em *PC*, de custo médio, não serão, contudo, alvo de uma maior apreciação do que as que se encaixam no primeiro conceito. No aspecto da simulação *PC*, em si mesma, será analisada a importante relação custo/fidelidade, no sentido em que a fidelidade do sistema condiciona a eficácia da formação e a referida relação custo/eficácia.

É propósito desta Dissertação abordar as TI para *PC* aplicadas ao ensino da aeronáutica, no País e no estrangeiro – nas vertentes civil e militar –, bem como os respectivos estudos existentes realizados sobre a sua eficácia. Serão dados exemplos de aplicações reais das TI na formação de pessoal aeronáutico, nomeadamente equipamentos de simulação de voo, ou componente prática, e de programas complexos do género *CBI*, de cariz teórico-prático.

Ao arripio de preconceitos de índole pedagógica ou tecnológica, defende-se a tese da eficácia das TI para *PC* aplicadas à formação aeronáutica, numa perspectiva de mais-valia ante o ensino dito tradicional extra-TI e perante os métodos baseados em tecnologias mais dispendiosas. A utilização das TI para *PC* na formação tem, pois, duas potenciais vertentes no processo cognitivo: como auxiliar teórico (exemplo dos programas de *CBI* e dos dispositivos de auxílio à instrução); como auxiliar prático (simulação – simuladores *PC*). O Estudo de Caso da Dissertação, associado ao presente estudo, que consiste numa experiência científica que porá à prova o treino proporcionado e os conhecimentos adquiridos através de simuladores de voo como TI para *PC*, tentará demonstrar essa pressuposta eficácia.

Resta acrescentar que, por um lado, do ponto de vista tecnológico, para além da vasta panóplia de recursos e opções pedagógico-tecnológicas, será focada a utilização dos simuladores de voo para *PC*, e, por outro, numa análise às actividades e pessoal destinatário destes recursos, será destacada e preferencialmente aprofundada a formação dos pilotos. Dentro da área aeronáutica, outros ramos de actividades de formação não deixarão, também, de merecer referência.

Diga-se, ainda, que tanto serão abordadas as potencialidades da aplicação das TI para *PC* na formação do pessoal aeronáutico como também na sua manutenção, na perspectiva de que este género de actividade pós-formação é uma continuação do processo de aprendizagem inicial dos formandos, podendo estes beneficiar desta aplicação tecnológica ao longo de todo o seu percurso aeronáutico.

## 1.1 Motivação

Foi com o intuito de abraçar o interesse pelo mundo da aviação, nomeadamente na vertente pedagógica, com o âmbito do Mestrado em Estudos de Informação e Bibliotecas Digitais (MEIBD) que engloba as TI, que se decidiu optar por fazer a Dissertação sobre a utilização das TI para *PC* na formação do pessoal aeronáutico.

Pela sua natureza e componente prática, comprovando-se a tese defendida através do Estudo de Caso no Capítulo 4, este estudo poderá revestir-se de interesse especial para a formação do pessoal aeronáutico, pelas potencialidades e mais-valia destas novas tecnologias, abrindo perspectivas ao nível da redução de custos de aprendizagem e, até, no aumento da preparação dos pilotos e segurança nos céus.

## 1.2 Problema, Objectivo e Solução Proposta

O Problema, cerne da Dissertação, consiste em avaliar a eficácia das TI para *PC* na formação aeronáutica. O Objectivo principal decorre do Problema, pelo que se pretende demonstrar a eficácia das TI para *PC* na formação aeronáutica, para solucionar o Problema.

Para atingir o Objectivo da Dissertação, será apresentada uma experiência realizada em simuladores de voo, como Solução Proposta para o Problema. Desta forma, cinco indivíduos treinados previamente na pilotagem de aeronaves – nomeadamente *Airbus A320* – através de um programa de simulação de voo para *PC* “*commercial off-the-shelf*” (*COTS*), vendido como “*software* lúdico” mas adaptado para o efeito, mediante um programa de treino elaborado, mas sem certificação, serão confrontados com situações de pilotagem da vida real.

Este confronto, verificação ou teste, será realizado num simulador profissional de qualificação para aquela aeronave – ou *Flight Simulator (FS)* de “*Level-D*”. segundo a classificação *JAR-STD-1A*. Lá, os participantes serão postos à prova em diversas situações, simples e complexas, incluindo a identificação e o manuseamento dos sistemas, situações de voo nivelado, em modo automático e manual, percepção do *FMGS*, condições de voo visual e por instrumentos, navegação e procedimentos de aproximação e de “*circling*”, aterragens em pista curta e condições atmosféricas e visuais adversas.

Com a experiência do Estudo de Caso, pretende-se que fique demonstrado que a utilização de um sistema *PC*, convenientemente equipado com *software* e *hardware* específicos, pode provir de conhecimentos técnicos e empíricos adequados os indivíduos submetidos à experiência, ao ponto de os tornar capazes de replicar procedimentos treinados em simulador *PC*, numa aeronave real ou num substituto fiel – um simulador de certificação máxima (“*JAR-STD-1A–Level-D*”). Essa potencialidade traduz-se no domínio dos principais sistemas (factores cognitivos), e no controlo da aeronave e orientação espacial (factores psicomotores). Na experiência em causa, o contacto com a simulação dos sistemas e com o modelo de voo, numa primeira fase em *PC*, possibilitará o desempenho satisfatório na fase subsequente de verificação dos resultados.

### **1.3 Contributo da Dissertação**

A presente Dissertação oferece o seu contributo à formação prestada nos centros de formação aeronáutica civil e militar, propondo uma nova adaptação das fases dos processos de aprendizagem às qualidades das TI para *PC*, e, portanto, oferecendo uma perspectiva importante de mais-valia no processo de formação do pessoal aeronáutico.

Este estudo pretende ser, de certa forma, mais um contributo para a divulgação e para o incentivo à utilização das TI para *PC* na formação de pessoal aeronáutico, nomeadamente piloto-aviadores.

Não só poderão os centros de formação beneficiar com este estudo, mas também a comunidade científica ligada aos sistemas e qualidade do ensino da aeronáutica. As próprias autoridades de aviação civil, nomeadamente a *JAA* europeia e a *FAA* americana, poderão, no seguimento do estudo, ampliar o seu interesse por esta vertente tecnológica, e repensar o programa e processo de certificação de equipamentos e de pessoal aeronáutico, fazendo mais fé e prevendo uma maior utilização das TI para *PC*.

### **1.4 Processo de Investigação**

O Processo de Investigação teve início com a pesquisa às TI actualmente existentes e utilizadas no panorama nacional e *worldwide*, tanto na aeronáutica civil como na aeronáutica militar. Para isso, foi feito trabalho de campo que passou, ora por visitas aos centros de

formação militar da *Força Aérea Portuguesa* (FAP), ora pela elaboração e envio de questionários às principais escolas de aviação civil em Portugal.

A etapa seguinte debruçou-se sobre a pesquisa e análise dos estudos relevantes, a maior parte de origem norte-americana, efectuados sobre a utilização das TI na formação de pessoal aeronáutico, nomeadamente piloto-aviadores.

A (actualmente obrigatória) pesquisa na *Internet* revelou-se de grande utilidade para as duas primeiras fases do processo de investigação referidas. As deslocações ao *Centro de Documentação e Informação* (CDI) do INAC foram importantes para obter informação relativa a normas de certificação de pessoal aeronáutico<sup>4</sup>, dispositivos-de-treino-sintético<sup>5</sup>.

A terceira fase do processo de investigação culminou na experiência científica do Estudo de Caso, levada a cabo a bordo do simulador de voo *FS* de “*Level-D*”<sup>6</sup>, de qualificação de Tipo (*Type-Rating*) de aeronaves *Airbus A319, A320 e A321*, e com a construção de um modelo de avaliação adaptado à experiência.

## 1.5 Duração e Estrutura da Dissertação

A Dissertação teve uma duração de 2 anos: o 1º ano (Outubro 2003 a Setembro 2004) consistiu na recolha de dados, levantamentos bibliográficos, construção de ferramentas auxiliares ao Estudo de Caso, e a experimentação propriamente dita; no 2º ano (Outubro 2004 a Junho de 2005) procedeu-se ao tratamento aturado dos dados para construção de informação, estudo bibliográfico e escrita da Dissertação. Foi necessário um total de horas úteis de trabalho superior a duas mil, para a consecução completa do trabalho.

A estrutura reparte-se em seis capítulos. Sempre que necessário, sobretudo na descrição continuada, no Capítulo Segundo, foram utilizadas figuras para melhor compreensão da matéria em questão. Apesar da enorme tecnicidade da matéria da Dissertação, foi feito um esforço de concisão.

---

<sup>4</sup> *Flight Crew Licensing (JAR-FCL)*.

<sup>5</sup> *Synthetic Training Device (JAR-STD)*.

<sup>6</sup> Norma de certificação *JAR* para simuladores de voo. *JAR-STD 1A* (“*Aeroplane Flight Simulators*”).

Segue-se a apresentação estrutural dos capítulos:

1. A Introdução, Capítulo 1, faz o enquadramento temático, identifica o problema e aponta uma solução, apresenta os objectivos a atingir e o processo de investigação.
2. O estado da arte, apresentado no Capítulo 2, faz uma abordagem tecnológica actual, contemplando uma descrição obrigatoriamente minuciosa dos sistemas, profusamente ilustrada com imagens sempre que conveniente para a sua melhor compreensão. A Simulação, pela importância no contexto da Dissertação, é aprofundada.
3. No seguimento do capítulo anterior, o Capítulo 3 debruça-se sobre a aplicação actual das TI nos centros de formação aeronáutica civil e militar, *worldwide* e nacional. São abordados os Modelos de formação e os diversos cursos. É dada ênfase aos processos de aprendizagem e ao entrecruzar de tecnologia com pedagogia. São, também, apontados argumentos, baseados em relatórios oficiais da aeronáutica, a favor da Simulação e das TI na formação de pilotos, e, em particular das TI para *PC*. Finalmente, como descrição detalhada do problema, são apresentados estudos realizados no estrangeiro sobre a eficácia das TI para *PC*.
4. O Capítulo 4 contém o Estudo de Caso como Solução para o Problema. Visa medir a eficácia dos simuladores de voo para *PC* na formação de pilotos, como exemplo de um género de TI para *PC* utilizado na formação de pessoal aeronáutico. Por fim, é apresentado um modelo de avaliação da eficácia dos simuladores para *PC* na formação de pilotos. Ainda no contexto do Estudo de Caso, e igualmente com vista a enriquecer o estudo, é apresentado um longo trabalho prático de modelação gráfica, com mais de novecentas horas investidas, sobre o cenário sintético da cidade de Lisboa para *PC* como exemplo demonstrativo de uma aplicação de realidade virtual para *PC* na formação de pessoal aeronáutico, bem como um trabalho igualmente longo de parametrização de um modelo de voo em aeronave *Airbus 320* para aplicação ao simulador de voo utilizado no Estudo de Caso.
5. A Apresentação e Discussão de Resultados do Estudo de Caso faz-se no Capítulo 5.
6. Por último, as Conclusões e Recomendações surgem no Capítulo 6, como conclusão da Dissertação.

## 2. As Tecnologias de Informação aliadas ao processo de aprendizagem: estado da arte

Antes de avançar pelo mundo das TI, considera-se prudente definir preliminarmente os conceitos básicos computador, *PC* e TI, e as suas relações conceptuais.

### 2.1 Conceitos preliminares

No sentido mais lato do termo, o computador pode ser definido como "uma máquina que executa operações matemáticas e/ou lógicas em símbolos numéricos, alfanuméricos ou outras formas de informação, e produz resultados compreensíveis pelo homem ou por outras máquinas" [Enc, 1997]. É, também, "um aparelho electrónico composto por uma ou mais unidades de processamento de informação, dispositivos de memorização e por equipamento periférico, permitindo efectuar simulações ou um grande volume de cálculos aritméticos ou lógicos" [Dic, 2001]. Conceptualmente, um computador é desenhado para aceitar dados e instruções, executar as instruções para processar os dados, e apresentar os resultados.

A definição de computador tem evoluído à luz da evolução tecnológica. Porém, o que distingue um computador de qualquer outra máquina é o conjunto de elementos que o constituem e a separação/ligação existente entre ambos. Nesta acepção, um computador é constituído por dois géneros de elementos básicos: *hardware* (processador, memória, sistema interno de comunicações e sistemas de entrada e saída de dados) e *software* (que inclui *Software* de Sistema: Sistema Operativo + *Drivers*; e *Software* Aplicacional). Um computador digital, por oposição a um analógico, é aquele em que se utiliza essencialmente uma representação digital de dados.

*PC*, abreviatura de *Personal Computer*, computador pessoal, como é entendido actualmente, pressupõe um conjunto de características genéricas para um computador:

- é um **computador digital**;
- é **automático**;
- é **programável** pelo utilizador final;
- é um **produto** de fabrico ou é constituído por componentes de mercado;
- o seu **transporte** deve poder ser realizado por uma pessoa mediana;
- tem um **preço** compatível com o profissional médio ou com o público geral;
- é suposto ser de fácil **utilização**.

É importante referir que a aceção do termo *PC* não está confinada ao grupo de máquinas baseadas em sistema operativo (SO) *Windows*<sup>TM</sup> ou *Linux*<sup>TM</sup>, mas sim a todas as que, pelas suas características, se enquadram na definição de computador pessoal.

O primeiro computador a fazer uso da designação *PC*, destinado ao mercado dos computadores pessoais, foi o *IBM 5150PC*<sup>TM</sup>, introduzido em 1981 sob o formato físico *desktop* e utilizava um processador *Intel 8088*<sup>TM</sup> e um SO desenvolvido pela *Microsoft* (*IBM PC-DOS 1.0*<sup>TM</sup>). Mas não foi o primeiro a encaixar-se na definição de computador de uso pessoal; já desde 1977 que o *Apple II*<sup>TM</sup> era vendido como o primeiro sistema *user-friendly* do mercado. Não obstante, *Sinclair ZX-80*<sup>TM</sup> e, sobretudo, a série de modelos *ZX-Spectrum*<sup>TM</sup> conseguiram desmistificar o conceito de computador pessoal, ao serem praticados a preços de mercado acessíveis a um grande leque de consumidores. Alguns exemplos na Figura 1.

A evolução tecnológica assente no binómio *software + hardware* ao nível dos *PCs* foi de tal ordem que muitas empresas que, anteriormente, recorriam a *mainframes* complexas, passaram a utilizar a arquitectura *PC* como TI de suporte aos seus Sistemas de Informação.

Os *PCs* do mercado destinados a aplicações mais exigentes ao nível do *hardware* são designados por *workstations*, e são amplamente utilizados para aplicações gráficas (*CAD*, animações, vídeo) e de simulação. Pelas suas características, tanto os sistemas como os seus componentes são colocados à venda a preços superiores aos dos *PCs* convencionais. Têm *motherboards* e *CPUs* mais rápidos e de maior capacidade de processamento, discos rígidos de grande velocidade com tempos de acesso reduzidos, grandes quantidades de memória viva (*RAM*), placas gráficas de elevada performance e com mais memória, sistemas de refrigeração eficientes, e são normalmente complementados por monitores de ecrã plano de grande dimensão e resolução. Pelas suas capacidades ao nível gráfico, as *workstations* têm grande relevância para o âmbito da presente Dissertação e serão tratadas mais ao pormenor um pouco mais à frente neste capítulo.



Figura 1 – *Apple II* (1977); *Sinclair ZX80* (1979); *IBM 5150PC* (1981); *Sinclair ZX-Spectrum* (1982).

TI e SI são dois conceitos que não devem ser confundidos:

As Tecnologias de Informação (TI) – no sentido lato – podem ser definidas, basicamente, como a infraestrutura tecnológica constituída por *hardware* + *software* (+ *firmware*). Um *PC* é, por conseguinte, o exemplo actualmente mais comum de aplicação das TI.

Os Sistemas de Informação (SI) são definíveis como uma congregação de TI + Pessoas + Procedimentos [Laudon, 2002], numa visão mais empresarial. Pode, também, chamar-se TI ao conjunto de recursos disponíveis para o desenvolvimento, suporte e manutenção de SI. Numa definição mais abrangente, os SI são sistemas de comunicação entre pessoas e têm existido sempre, sendo só mais recentemente suportados pelas TI; ou seja, embora, no conceito actual, os SI sejam constituídos por TI, porém, as TI existem independentemente dos SI. Não obstante, é a componente tecnológica, ou TI, que interessa aqui focar.

Uma distinção conceptual importante que foi já referida no capítulo da Introdução foi entre TI para *PC* e TI baseadas em *PC*. O primeiro conceito corresponde a um sistema *PC* equipado com *software* e *hardware* específicos (incluindo alguns dispositivos periféricos genéricos), ou sistema simples, também normalmente designado por *Computer Based Training* quando aplicado à formação. A segunda noção é mais alargada e compreende o primeiro conceito, mais os equipamentos complexos e fisicamente robustos, ou *full-size* (sistemas complexos que também fazem uso de um ou mais *PCs*). Os sistemas que serão analisados mais ao pormenor enquadram-se no conceito de TI para *PC*, uma vez que são os que apresentam uma óptima relação custo/eficácia, com as vantagens inerentes: maior portabilidade, menor custo de implementação e mais baixo preço de venda, maior disponibilidade, maior facilidade de utilização e manutenção mais reduzida. Não obstante, também serão alvo de referência outros sistemas baseados em *PC*, de médio-custo.

## 2.2 A Simulação

Muito usada actualmente na pesquisa científica, em estudos de aplicação / projecção e na formação/treino de indivíduos nas mais diversas áreas do ensino, a simulação é um exemplo de aplicação das TI. Desempenha um papel crucial na fase de projecto: na construção civil (edifícios, pontes, estruturas), nas Engenharias Aeronáutica e Aeroespacial (aeronaves, modelos aerodinâmicos, veículos espaciais), na Engenharia Mecânica e em outras áreas. Ao

nível dos estudos, a simulação é utilizada para: prever resultados na execução de uma determinada acção; reduzir riscos nas tomadas de decisão; identificar eventuais problemas antes da sua ocorrência; reduzir custos; testar a integridade e a viabilidade dos projectos.

O ensino da aviação também faz uso dos benefícios da simulação no processo de formação: o apoio ao ensino da Engenharia Aeronáutica, por um lado, e a formação de pessoal técnico especializado (pilotos, controladores, técnicos de manutenção), por outro; na formação em condução de veículos; na formação militar, com a criação de ambientes de treino sintéticos e realidade virtual; nos variados processos de formação, desde o *ab-initio* até aos estádios mais avançados de aperfeiçoamento técnico.

### 2.2.1 Fundamentos da simulação

Simular pode definir-se por "reproduzir um conjunto de condições ou circunstâncias, de forma a retratar determinada situação ou experiência" [Dic, 2001]. Pretende-se, assim, com uma simulação, recriar condições específicas do comportamento de um sistema físico ou abstracto, através do comportamento de outro sistema. Ao nível da experimentação, em vez de se proceder a experiências com um sistema real, pretende-se utilizar um modelo. Esse modelo pode ser **físico** ou **matemático** (numérico). Por sua vez, o modelo matemático de estudo pode pressupor uma solução analítica ou uma simulação computacional.

Uma simulação pode ser realizada recorrendo-se a um simulador ou a um ambiente ou situação fictícios, e tem em vista a demonstração de eventuais efeitos reais de algumas condições possíveis, possibilitando, através da recolha de dados em bruto, a produção de informação conclusiva relevante. Como se disse, no seu sentido mais lato, uma simulação pode envolver ambientes físicos – simulação física, em que são utilizados modelos físicos como substituição de congéneres reais, mas normalmente de menor dimensão e custo – ou ambientes sintéticos / virtuais; pode interagir, em tempo real, com indivíduos (*human-in-the-loop simulations*) ou resumir a acção humana à parametrização das condições da simulação. Consoante o contexto, um simulador pode ser considerado um sistema, um aparelho físico ou um programa de *software*.

A simulação permite o estudo de sistemas sem a sua construção física, sem os perturbar e sem os destruir (no teste dos seus limites estruturais).

No âmbito da formação de pessoal, são utilizados simuladores e/ou ambientes de simulação que reproduzem situações específicas num ambiente artificialmente recriado. A simulação é actualmente utilizada para treino de pessoal civil e militar. A sua justificação pode traduzir-se em quatro razões maiores ou benefícios:

- **Custo** – para reduzir os custos decorrentes da formação em situações que pressupõem a utilização de equipamento real de elevado valor de aquisição ou com custos operacionais e de manutenção importantes;
- **Tempo** – quando a utilização de situações reais obriga ao consumo de muito tempo, alongando o processo de aprendizagem ou dificultando a sua dinâmica;
- **Eficácia** – a simulação é uma forma de treino eficaz, mormente quando estão em causa o treino de perícia / habilidades psicomotoras (percepção – acção), que não somente a cognição, permitindo, ainda, a replicação de múltiplos cenários impossíveis ou impraticáveis de efectuar num treino real;
- **Segurança** – a utilização da simulação em situações que envolvem riscos consideráveis para o pessoal e equipamento utilizado na acção de formação.

### 2.2.2 Simulação por computador

A simulação por computador tem um papel importante na modelação de diversos sistemas naturais – na física, química e biologia –, e sistemas humanos – na economia e ciências sociais. Tem como objectivo geral a compreensão da operação desses sistemas. Nessas circunstâncias, o comportamento do modelo (modelo abstracto) varia consoante os parâmetros predefinidos. Um modelo abstracto (ou modelo conceptual) é uma construção teórica que representa processos físicos, biológicos e sociais, com um conjunto de variáveis e de relações lógicas e quantitativas entre eles.

Especificamente, uma simulação por computador consiste na utilização de um programa que pretende simular, com um modelo matemático (abstracto), um sistema físico ou abstracto particular, com vista à geração de uma amostra de cenários representativos de estados possíveis para o modelo. Aliando a velocidade de cálculo ao processo iterativo, os computadores conseguem gerar cenários em tempo real de todos os estados possíveis, algo

que seria praticamente inconcebível ou impraticável somente através de soluções analíticas simples para um determinado modelo matemático.

Um simulador, como programa de computador, é constituído por diversas componentes baseadas no tempo, tais como: estado do sistema, relógio, lista de eventos, rotina de inicialização, rotina de temporização, rotina de eventos, biblioteca de rotinas, gerador de relatórios e programa principal.

Na simulação computacional, devido à utilização de modelos matemáticos (numéricos) que se baseiam em sistemas físicos, utiliza-se frequentemente o termo simulação numérica, e está normalmente associado a programas de desenvolvimento científico e à Engenharia.

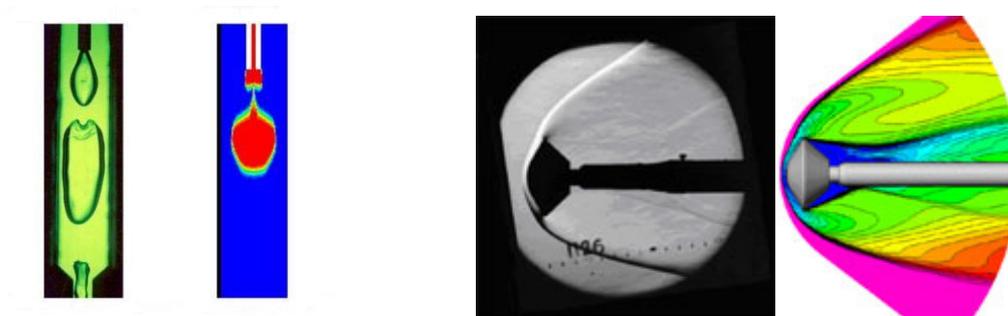


Figura 2 – Dois exemplos de foto experimental vs simulação numérica.

### 2.2.2.1 Modelagem de Sistemas – Ferramentas e Tipos de Modelos

Sistema pode ser entendido como uma coletânea de estruturas e recursos que são interagidos segundo uma lógica de tal forma a alcançar um ou mais objetivos. Os estudos dos sistemas podem realizar-se sob duas diferentes formas de abordagem.

Uma das formas de abordagem é interferindo directamente nas rotinas operacionais, propondo as implementações e/ou as alterações de procedimentos até que sejam obtidas as condições ideais.

Outra abordagem possível situa-se na utilização de modelos que representam os sistemas reais. Os modelos podem basear-se em protótipos (modelos físicos) ou em modelos matemáticos, os quais ainda se podem prestar a soluções analíticas ou a simulação, permitindo reconstituir a rotina funcional de um sistema real. Os procedimentos de verificação e validação são de grande importância para o emprego dos modelos.

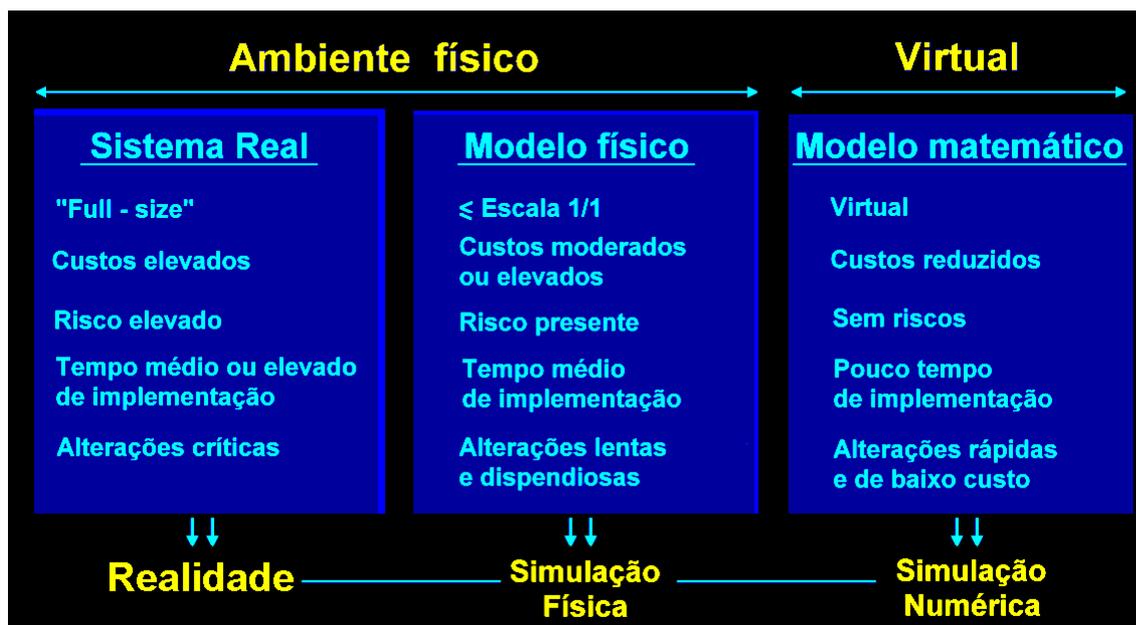


Figura 3 – Esquema da classificação do Estudo de Sistemas e formas de simulação (quanto ao modelo).

Não obstante as duas principais formas de simulação descritas, existem, também, exercícios de simulação híbridos que têm características de ambas. Uma simulação com um simulador de voo pode ser uma experiência tanto física como numérica, consoante o *interface* utilizador-máquina. Assim, uma sessão a bordo de um simulador profissional *FS* ou de qualquer modelo físico complexo tem características de uma simulação numérica, computacional – em que intervém um modelo matemático complexo baseado em fenómenos e sistemas físicos –, tal como também tem inclusa na experiência características de uma simulação física (cabine física). Os simuladores de voo são, pois, um exemplo de dispositivos que fazem uma utilização mista de ambas as formas da simulação, através de dois modelos – físico e matemático – e onde intervém a acção humana de forma interactiva.

Em suma, no estudo dos sistemas, tem-se em conta as duas formas de simulação possíveis quanto ao modelo: através do modelo físico (simulação física) ou matemático (simulação numérica). E quanto à intervenção humana, existem também duas formas: com interacção humana (simulação interactiva), também designada por *human-in-the-loop simulation*; sem interacção humana.

As simulações por computador que fazem uso importante da parte visual, tais como as de condução ou pilotagem, utilizam um modelo (matemático) dinâmico num ambiente virtual simulado. Podem decompor-se em: um **modelo visual** responsável pelo *rendering* de uma configuração espacial de entidades dentro de um mundo virtual, e um modelo matemático

dinâmico responsável pela determinação da evolução dessa configuração ao longo do tempo. Isto, para além da possível utilização de um modelo físico (misto), tal como foi dito.

Para ser utilizada em computador, a implementação dos modelos matemáticos de simulação requer o emprego de linguagens de programação como *Fortran* ou *C++*. Há um conjunto de ferramentas de simulação disponíveis, algumas com linguagem própria, a destacar:

- **Extend™** – (*Imagine That, Inc.*) ambiente de simulação utilizado para modelar, analisar e otimizar processos. Contém uma quantidade apreciável de características, tais como: bibliotecas de componentes, hierarquia de modelos, ligação a *Msoffice™*. Contém a sua própria linguagem de simulação, o *ModL* (<http://www.imagethatinc.com/>);
- **Goldsim™** – simulador de carácter generalista, para modelos físicos, financeiros e organizacionais. Os modelos são construídos graficamente através do desenho de diagramas de influência dos sistemas (<http://www.goldsim.com/>);
- **Arena™** – (*Systems Modelling Corp*) com *design* voltado para o desenho de objectos, pode ser virtualmente aplicado a qualquer área (<http://www.arenasimulation.com/>);
- **Simscrip II.5™** – está orientada para a construção de modelos de simulação de eventos discretos e/ou contínuos, e inclui *GUI* (<http://www.simscrip.com/>).

#### 2.2.2.2 Modelos matemáticos de simulação

Os modelos matemáticos de simulação podem classificar-se em:

- **Estáticos / Dinâmicos** – Estáticos os que visam representar o estado de um sistema num instante, ou que, nas suas formulações, não é tida em conta a variável tempo; Dinâmicos os que são formulados para representarem as alterações de estado do sistema ao longo da contagem do tempo de simulação;
- **Determinísticos / Estocásticos** – Determinísticos os que nas suas formulações não fazem uso de variáveis aleatórias; Estocásticos os que podem empregar uma ou mais variáveis aleatórias, e os resultados da simulação são, pois, também aleatórios e constituem uma estimativa das características reais dos sistemas;

- **Eventos Discretos / Contínuos** – Discretos aqueles em que o avanço da contagem de tempo na simulação se dá sob a forma de incrementos cujos valores podem ser definidos em função da ocorrência dos eventos ou pela determinação de um valor fixo, ou seja, os eventos têm lugar em diferentes instantes do tempo, sendo só possível determinar os valores das variáveis de estado do sistema nos instantes de actualização da contagem; Contínuos aqueles em que o avanço da contagem de tempo na simulação é contínuo, possibilitando a determinação de valores de variáveis de estado no instante.

### 2.2.3 Os simuladores no ambiente escolar: *MATLAB*<sup>TM</sup> e *Simulink*<sup>TM</sup>

A utilização de ferramentas de simulação em ambiente escolar, como suporte pedagógico, tem especial interesse para diversas disciplinas, para a compreensão de algumas matérias. No programa de "Acções de Formação Contínua" leccionadas pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, em 1997, intitulada "Simulação de Sistemas Dinâmicos", com a duração de 39 horas, era relevada a eficácia das ferramentas de simulação na transmissão de conceitos e no estudo de casos práticos. O alvo da utilização destes recursos técnicos e pedagógicos era as disciplinas de Física, algumas de Economia, e ainda as disciplinas de Matemática – porquanto a simulação permite uma aplicação prática de conceitos leccionados.

Na ficha de apresentação da Acção de Formação supra indicada, era referido nos "Objectivos" a importância da utilização da simulação, de forma a "contribuir fortemente para o aprofundamento de conhecimentos", ressaltando o seu importante contributo como "auxiliar de exposição de matérias" e "instrumento de inegável valor pedagógico"<sup>7</sup>. O público-alvo eram os Professores do Ensino Básico e Secundário, e a ferramenta computacional de simulação utilizada era o *Simulink*<sup>TM</sup> sobre o *MATLAB*<sup>TM</sup>.

*MATLAB*<sup>TM</sup> é um produto da *The MathWorks* (<http://www.mathworks.com>). É uma linguagem de alto-nível e um ambiente interactivo concebido para o desenvolvimento de algoritmos, visualização e análise de informação, e computação numérica. Tem uma grande variedade de aplicações possíveis. Uma delas é a aplicação *Simulink*<sup>TM</sup>, da mesma empresa de *software*, uma plataforma para simulação genérica e desenho baseado em modelos de sistemas dinâmicos.

---

<sup>7</sup> "Acções Foco" - 1997, "Simulação de Sistemas Dinâmicos", Faculdade de Engenharia da Univ. Porto

A aplicação *Simulink*<sup>TM</sup>, integrada no *MATLAB*<sup>TM</sup>, tem um interface *user-friendly* e proporciona um ambiente gráfico interactivo com um conjunto diverso de bibliotecas de forma a permitir o desenho, a simulação, a implementação de sistemas.

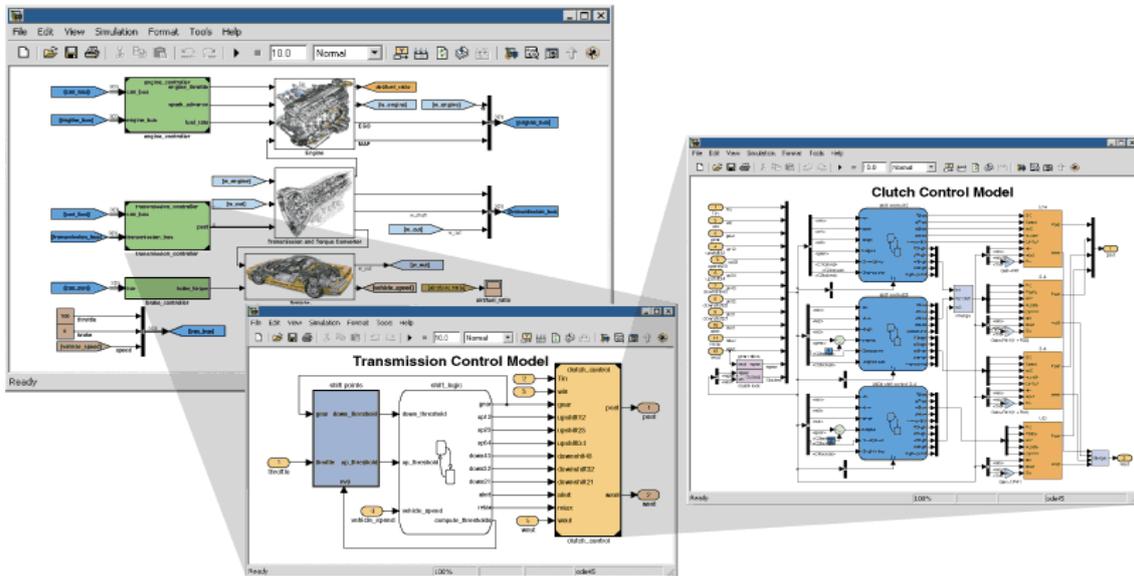


Figura 4 – *Simulink*<sup>TM</sup>: exemplo de um modelo de simulação da mecânica de um automóvel.

Outro produto interessante é produzido pela *MSC Software* (<http://www.mscsoftware.com>). É de fácil utilização, chama-se *Interactive Physics*<sup>TM</sup> e foi desenvolvido para possibilitar ao docente da disciplina a realização da demonstração de simulações, baseando-se em princípios físicos como as Leis de Newton, o trabalho ou a energia. Esta empresa ainda fabrica outra ferramenta vocacionada para o ensino, *Working Model 2D*<sup>TM</sup>, orientada para a simulação de sistemas mecânicos, de funcionamento simples e *interface* gráfico em ambiente *Windows*<sup>TM</sup>.

## 2.2.4 Os simuladores no ambiente empresarial

Embora não seja este o ambiente de análise fulcral da presente Dissertação, não poderia deixar de dar um certo relevo à utilização da simulação no panorama empresarial que é, já, actualmente, um *standard*. Ao nível empresarial, a simulação permite orientar o processo de tomada de decisão, proceder a análises e avaliações de sistemas, e a propor soluções para a melhoria do desempenho.

Muitas empresas, em determinados momentos do negócio, necessitam de proceder a estudos ou a intervenções – incluindo reengenharias profundas – com vista a solucionar problemas, a alterar a produção, a reduzir custos, a dinamizar a actividade, etc. O recurso a programas de

simulação adaptados às necessidades em causa, através de modelos sintéticos criados, é considerada uma óptima solução, na medida em que permite estudar o funcionamento dos processos sem os alterar fisicamente. É a antecipação de resultados, possível em simulação, que leva muitas empresas a optar por programas de simulação, inclusivamente numa fase preliminar à montagem do negócio e instalação no mercado.

Há já muitas aplicações orientadas para determinados sectores de actividade industrial, tais como: *Simas II*<sup>TM</sup> (<http://www.cimpact.ch>), vocacionada para o estudo de instalações de produção-em-massa, e a *Simplorer*<sup>TM</sup> (<http://www.ansoft.com>), concebida para o desenho de sistemas industriais como na indústria aeronáutica.

### **2.2.5 Os simuladores na Engenharia**

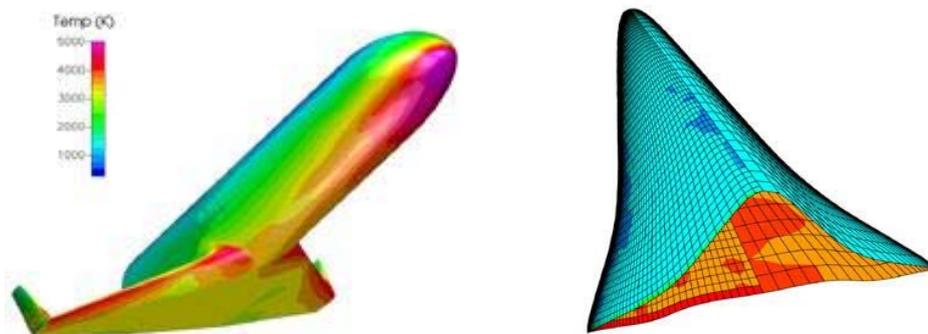
Como foi referido, tal como em outras actividades, a Engenharia utiliza a simulação para o estudo de sistemas implementados e na projecção, tirando partido dos benefícios proporcionados ao nível da previsão de resultados. O teste à integridade e à viabilidade dos projectos através da simulação é, actualmente, prática comum ao nível da Engenharia. Um ambiente livre de riscos e uma prática com custos muito reduzidos são duas componentes que coexistem normalmente numa simulação, e representam uma mais-valia para a Engenharia.

A Engenharia Aeroespacial faz uso frequente da simulação numérica para estudar diversos aspectos relacionados com a aerodinâmica, a termodinâmica, a mecânica dos fluidos, e o comportamento de aeronaves em ambientes extremos, em que a dificuldade de simulação em ambiente físico ou real está patente. Para as soluções profissionais de Engenharia, é utilizado *software* orientado para *CAE* com ferramentas de modelação e simulação complexas, com a possibilidade de integração de outras aplicações exteriores tais como as de *CAD*.

A investigação numérica através de programas de simulação específicos oferece oportunidades para a análise de fluxos que não são disponibilizadas em métodos de experimentação convencionais. As simulações dos fluxos em configurações simples e complexas podem ser realizadas em computador. Assim, fenómenos de instabilidade, tais como vórtices gerados por aerofólios em movimento, ou a visualização dos efeitos aerodinâmicos de um automóvel a velocidades elevadas, podem ser simulados, permitindo,

assim, dar um contributo para o desenvolvimento das características aerodinâmicas dos veículos, em particular, e para a Engenharia, em geral.

Não obstante, o teste experimental de modelos a velocidades supersónicas<sup>8</sup> e hipersónicas requer infraestruturas complexas com consequentes custos elevados, sobretudo quando as velocidades de teste se situam para além do *Mach* 7. Não só pelos custos, mas também pelas limitações dos túneis de vento, a simulação numérica revela-se, aqui, de grande importância na pesquisa aeroespacial. Também na simulação do lançamento da aeronave hipersónica a *Mach* 10 experimental da NASA, *Hyper-X*, foi utilizada com sucesso a simulação numérica – através do *software ADAMS™ (MSC)* que será analisado mais ao pormenor – através de um modelo matemático detalhado.



**Figura 5 – Simulação numérica da temperatura / pressão aerodinâmica em modelos.**

A representação de cenários de simulação em modelos numéricos pode ser feita através de imagens com recurso ao cromatismo. Observa-se, na Figura 5, a influência da atmosfera num modelo aerodinâmico a alta velocidade, e é representada por uma escala de temperaturas cuja gradação vai do magenta ao azul, as temperaturas mais quentes e mais frias, respectivamente.

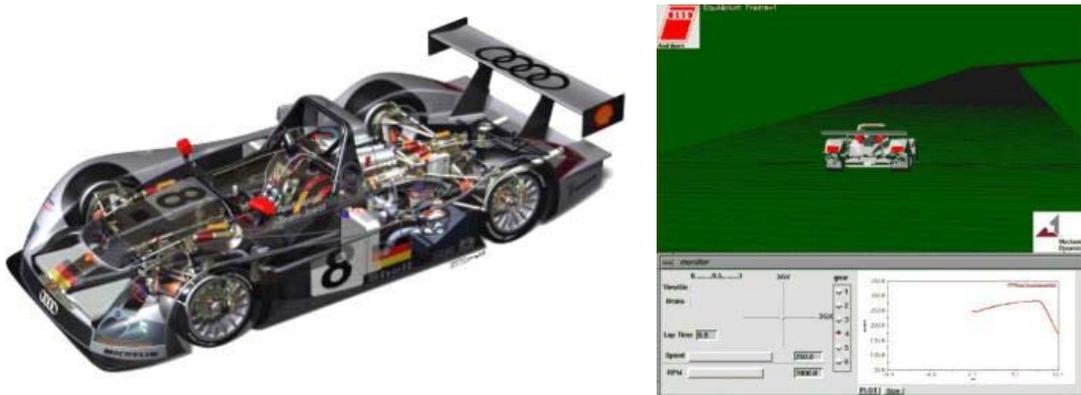
Dos programas mais conceituados de *software* em *CFD*<sup>9</sup>, são de salientar o *CFD-FASTRAN™* e o *CFD-ACE+™*, da empresa *CFDRC*. Algumas das suas áreas de negócio principais são: a aeronáutica/aeroespacial, defesa, electrónica e indústria de energia. Ao nível da primeira área de negócio, o programa de *software* oferece aplicações de aerodinâmica para aeronaves e mísseis, análise aerotermodinâmica, aeroelasticidade, entre muitas outras.

<sup>8</sup> Velocidades situadas entre *Mach* 1.0 e *Mach* 5.0. Acima de *Mach* 5.0, são consideradas hipersónicas.

<sup>9</sup> *Computacional Fluid Dynamics*.

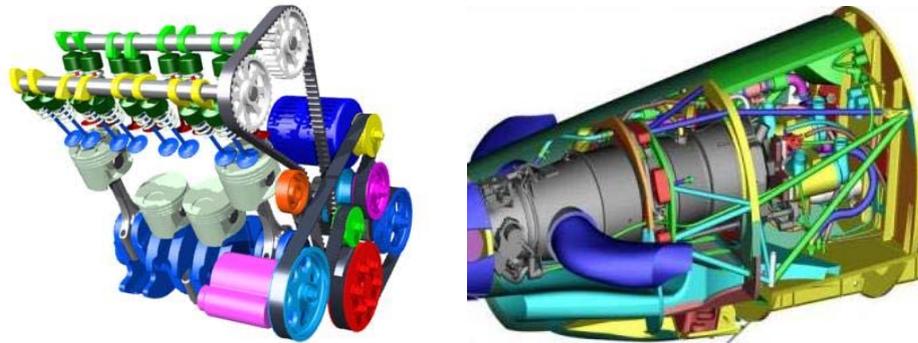
Uma das aplicações mais utilizadas para simulação de sistemas cinéticos (movimento), e desenho e teste de protótipos é a *ADAMS*<sup>TM</sup> (da empresa *MSC*), que permite aos utilizadores a produção de protótipos virtuais para simular o comportamento cinemático de sistemas mecânicos complexos. Este *software* tem como destinatários os fabricantes de aeronaves (melhoria no controlo de voo e segurança, de acordo com as normas de certificação oficiais), automóveis (redução do tempo de desenvolvimento pela simulação da dinâmica dos veículos, ruídos e testes de fiabilidade) e maquinaria (aumento da velocidade e eficiência das operações, reduzindo vibrações). É constituído por módulos diferentes para actividades:

- O módulo *ADAMS/Aircraft*<sup>TM</sup> permite a construção de um modelo de aeronave parametrizado, e oferece a possibilidade de realizar um teste de voo simulado após a sua projecção; desta forma, é possível analisar os resultados da simulação e proceder a alterações estruturais ou de equipamento no sistema simulado; o caso de sucesso da aeronave *Pilatus PC-21*, projectada com *ADAMS*<sup>TM</sup> e testada nos seus limites estruturais (em resistência e temperatura) com a aplicação *Nastran*<sup>TM</sup>, desenvolvida, pela mesma empresa, mostra bem as potencialidades deste género de *software*;
- O módulo *ADAMS/Car*<sup>TM</sup> é concebido para o *design* de veículos automóveis, através da criação de protótipos virtuais completos, podendo, de seguida, simular o comportamento dinâmico; pode usar-se em conjunto com os módulos *ADAMS/3D Road*<sup>TM</sup>, *ADAMS Tire Handling*<sup>TM</sup>, *ADAMS Chassis*<sup>TM</sup> e *ADAMS Driver*<sup>TM</sup>;



**Figura 6 – Caso de sucesso: modelo do Audi R8 construído e simulado em *ADAMS*<sup>TM</sup>. Outros há que utilizam programas de *CAD* e de simulação para detectar falhas e aperfeiçoar modelos aerodinâmicos.**

- O módulo *ADAMS/Engine*<sup>TM</sup> destina-se ao desenho e simulação de protótipos de motores, com vista a reduzir custos e tempo com protótipos físicos reais durante o desenvolvimento;



**Figura 7 – Motores de 4 cilindros e turbo-hélice concebidos com a aplicação *ADAMS*<sup>TM</sup>.**

Para além do *software ADAMS*<sup>TM</sup>, a empresa comercializa outras aplicações orientadas para: performance acústica em modelos; projecção, controlo e simulação de sistemas virtuais; análise de resistência e duração; análise de limites estruturais; análise do risco e da incerteza.

Os casos de sucesso real da aplicação do *software ADAMS*<sup>TM</sup> são um bom exemplo das potencialidades da simulação por computador na Engenharia. Importa, ainda, acrescentar que o *software* em referência corre em *PC*, nomeadamente ambiente *Microsoft Windows*<sup>TM</sup> 2000 e *XP*, o que vai ao encontro do âmago da questão levantada das potencialidades das TI para *PC* e da simulação em particular. Os requisitos mínimos para correr o programa resumem-se a um *Intel Pentium III*<sup>TM</sup> com 512 MB *RAM* e placa gráfica compatível com *OpenGL*<sup>10</sup> v1.2, embora seja recomendada uma *workstation* com processador equivalente a 2 GHz, 1 GB *RAM* e placa gráfica de 128 MB.

### **2.2.6 Os simuladores na pesquisa científica: *NASA Ames SimLabs* e *ES***

Os cientistas também recorrem frequentemente à simulação nos seus estudos e projectos científicos. Tentarei ilustrar um pouco mais esta aplicação com dois exemplos maiores.

---

<sup>10</sup> *Standard* da Indústria para aplicações gráficas 2D/3D em dispositivos, de alta *performance*.

### 2.2.6.1 NASA Ames Simulation Laboratories

A Divisão de Sistemas de Aviação da *National Aeronautics And Space Administration* (NASA) dos EUA dispõe de três instalações de teste e pesquisa principais que constituem os *Simulation Laboratories (SimLabs)*, geridas e operadas pelo *Aerospace Simulation Operations Branch* com apoio da *Northrop Grumman Information Technology*. São elas: *FutureFlight Central (FFC)*; *Crew Vehicle Systems Research Facility (CVSRF)*; *Vertical Motion Simulator (VMS)*. Vejamos, melhor, cada uma delas.

#### **FFC**

*FFC* é um simulador de operações aeroportuárias complexo, fisicamente do tamanho de uma sala de uma torre de controlo real de um aeroporto de grandes dimensões. Tem, pois, um aspecto muito real e transmite a sensação de "estar lá", num ambiente de "imersão total". Como estação-base, permite que pilotos, controladores, gestores e planificadores trabalhem em conjunto e em tempo real, em condições muito próximas da realidade.

O objectivo da sua concepção, do lado da pesquisa, é o de testar condições e de resolver problemas relacionados com as operações aeroportuárias complexas em aeroportos muito movimentados, incluindo estudos de ampliação de infra-estruturas. Pode ser utilizado para a visualização de cenários através da sua panorâmica de 360°, em simulações em que uma visão exterior é importante, tanto na representação sintética 3D de um cenário real terrestre como também numa situação fictícia ou em cenário espacial, qual "olho no céu" a controlar ou a visualizar uma operação com veículos espaciais a centenas de quilómetros do planeta.



**Figura 8 – FFC: aspecto exterior, interior e simulação de um cenário de evacuação após aterragem de emergência do *Space Shuttle Vehicle* na pista 33 do *Kennedy Space Center (KSC)*.**

### **CVSRF**

Outra instalação dos laboratórios de simulação foi concebida para o estudo dos factores humanos na segurança da aviação, e serve de suporte experimental a programas da *NASA*, *FAA* e da Indústria. A *CVSRF* é composta por três dispositivos de simulação: dois simuladores de avião – um *Flight Simulator* com certificação “*Level-D*” para *Boeing 747-400* e um *Advanced Concepts Flight Simulator (ACFS)* – e um simulador de controlo de tráfego aéreo (CTA) denominado *Air Traffic Control Simulator (ATCS)*. Cada simulador tem uma estação de monitorização. O primeiro simulador é uma réplica fiel e detém o nível máximo de certificação para conferir a credibilidade dos resultados nas experiências com ele realizadas.

O *ACFS* é uma ferramenta de pesquisa que simula variados sistemas de aeronaves, incluindo novos protótipos aeroespaciais, tem também um sistema de movimento físico com seis graus de liberdade e um *cockpit* tecnologicamente avançado e configurável para cada aeronave ou veículo em simulação.



**Figura 9 – CVSRF: *Flight Simulator 747-400* em conjunto com *ATC Simulator*.**

O *ATCS* pode operar em três modos: *stand-alone* (solitário, sem a participação da restante instalação de simuladores), *single-cab* (intervenção do *747-400* ou do *ACFS*) e *Dual-cab* (ambos os simuladores em conjunto). Um dos objectivos é o de possibilitar um ambiente de simulação de missão completa (*full-mission simulation*) com CTA.

## VMS

No *Vertical Motion Simulator*, o maior simulador de cabine móvel do Mundo, é criado um ambiente propício à realização de pesquisa em controlo, automatização, dinâmica de voo, orientação, sistemas de *cockpit*, investigação de acidentes, e treino.

Com o objectivo de proporcionar alta fidelidade em movimento, a cabine permutável do simulador de voo encontra-se acoplada a uma base estrutural que oferece uma liberdade de movimento de seis graus com a particularidade de proporcionar acelerações contínuas (g) ao longo dos 60 pés verticais e 40 laterais, algo que um simulador convencional não permite.

Para ampliar a eficácia operacional, a cabine é permutável com outras quatro também configuráveis. Esta flexibilidade permite ao VMS simular qualquer veículo operacional, experimental ou conceptual. Uma das aplicações é a simulação de cenários de reentrada e aterragem do *Space Shuttle Vehicle (SSV)*, situações de grande aceleração vertical.



Figura 10 – VMS (interior e exterior) e VLAB.

Outra funcionalidade importante é o *Virtual Laboratory (VLAB)*, uma ferramenta de *software*, flexível, desenhada para operar em plataformas *PC*. Consiste numa réplica virtual do ambiente de trabalho do VMS, no qual um utilizador pode participar à distância e em tempo real numa experimentação real em VMS, obtendo informação relevante através de acesso remoto. É utilizada em operações de simulação do SSV pelos técnicos pesquisadores do *Johnson Space Center*, incluindo o treino com aquele veículo: aterragens de emergência, falhas variadas e condições adversas. O VLAB é, pois, uma mais-valia para o programa espacial norte-americano, ao reduzir despesas e tempo de deslocação com o pessoal técnico.

Estes laboratórios de alta tecnologia – *FFC*, *CVSRF* e *VMS* – têm capacidade para desenvolver acções – separada e conjuntamente – de simulação de elementos dos sistemas de transporte e veículos aeroespaciais, incluindo operações aeroportuárias, gestão de tráfego aéreo, tripulação e veículos, *design*, dinâmica de voo e comportamento de aeronaves.

Uma das pesquisas para o ano de 2003 consistiu na investigação do potencial operacional de aeronaves *ESTOL*<sup>11</sup> para melhorar o tráfego aéreo em aeroportos sobrecarregados como o de *Dallas/Forth Worth International Airport (KDFW)*, e possibilitar a operação de mais aeronaves em aeroportos com pistas curtas. Foi desenvolvido um modelo conceptual de aeronave comercial com capacidade para operar em pistas até 3.000 pés de comprimento. Para o efeito, foi usada a instalação *FFC* que simulou as operações de tráfego convenientes para a experiência em causa, fazendo uso das suas superiores capacidades de visualização da área do aeroporto simulado.

Ainda antes de passar ao exemplo seguinte dentro deste sub-capítulo dedicado à simulação na pesquisa científica, deva referir-se que a *NASA* desenvolveu um programa baseado em *Fortran*, de nome *OTIS* (<http://otis.grc.nasa.gov>), com vista à simulação e optimização de trajectórias de uma grande variedade de veículos aeroespaciais. Utiliza um método de decomposição de trajectória numa sequência de múltiplos arcos ligados ou fases.

#### **2.2.6.2 *Earth Simulator***

No topo dos projectos de simulação para a pesquisa científica encontra-se o simulador japonês da atmosfera terrestre, *Earth Simulator*. Situado próximo de *Yokohama*, este simulador é baseado num supercomputador constituído por 5.120 processadores *NEC* desenvolvendo um total de 41 *TFLOPS* de capacidade de processamento.

Este simulador contém um modelo climático global que inclui a atmosfera e os oceanos. É utilizado para estudar, através de simulações, o mecanismo de variação da atmosfera ao longo do tempo e para prever situações atmosféricas e ocorrências futuras de fenómenos naturais. Simula diversos fenómenos meteorológicos naturais, tais como tempestades tropicais, variações de temperatura e precipitação, entre muitos outros. O modelo dos oceanos permite

---

<sup>11</sup> *Extreme Short Take-Off and Landing*.

também a simulação da circulação geral dos oceanos, do transporte de material e de alguns fenómenos que ocorrem no mar, tais como a variação da temperatura da água do mar.

## 2.2.7 Os simuladores no ensino e no treino da condução de veículos

Como se tem vindo a referir, a simulação tem inúmeras possibilidades de aplicação. O ambiente de realidade virtual tanto pode ser aplicado à pilotagem de aeronaves e veículos aeroespaciais como de veículos automóveis, transporte ferroviário ou marítimo e máquinas. Cada aplicação pressupõe um modelo matemático – e físico, em alguns casos, consoante a complexidade do simulador – capaz de simular correctamente as forças físicas envolvidas e as reacções da máquina real simulada no ambiente que a envolve.

### 2.2.7.1 O problema do comportamento dinâmico: massas grandes vs massas pequenas

Há duas questões críticas principais envolvidas na fidelidade da simulação de comportamentos dinâmicos, relacionadas com as forças físicas: 1) – a dificuldade de simular, de forma fidedigna, as forças envolvidas; 2) – a dificuldade de transmitir as sensações decorrentes do comportamento dinâmico, em simulação, nos casos das simulações interactivas *human-in-the-loop* em que intervém também um modelo físico.

Considerando as duas questões levantadas, no tocante às forças físicas, a dificuldade da simulação varia na razão inversa do aumento da inércia envolvida. Dois corpos com massas diferentes têm comportamentos diferentes em termos dinâmicos. Se recordarmos a definição newtoniana de massa, a equação da massa inercial:

$$m = \frac{F}{a}$$

**Equação 1 – Massa inercial; relação entre força e aceleração.**

Tem-se que, para a mesma força ( $F$ ), a aceleração ( $a$ ) varia na razão inversa da massa ( $m$ ). A massa inercial de um corpo é uma medida da inércia desse corpo. Quanto maior for a massa de um corpo, maior é a sua inércia, ou seja, maior é a sua oposição em modificar o seu estado de repouso, maior é a sua estabilidade, e, logo, a aceleração é menor.

Na simulação, isto significa que um modelo dinâmico de um veículo de menor massa implica uma instabilidade, rapidez de reacção e aceleração superiores. Esta constatação de um fenómeno físico, traz consequências imediatas para o modelo matemático, por um lado, que necessita de ser mais preciso para não defraudar o realismo da simulação, e para o modelo físico, por outro, uma vez que se torna ainda mais difícil a transmissão das sensações, em tempo real, correspondentes à dinâmica física do seu comportamento instável.

No caso do simulador de um navio de grande tonelagem e dimensão (Figura 11), por exemplo, o modelo dinâmico, para além da simulação do comportamento aquodinâmico da nave, tem em conta a grande massa inercial envolvida, a energia cinética<sup>12</sup> (quando em movimento), a sua estabilidade quase imperturbável pelas condições e factores exteriores, e o seu tempo de reacção enorme às solicitações por parte do controlo do leme ou do hélice, a partir da casa-das-máquinas virtual. No modelo dinâmico de um simulador de comboio (Figura 12), também está patente a simulação de grandes massas.

Contrariamente ao que se passa em modelos de grande massa, o problema da instabilidade das massas inerciais pequenas, com grandes acelerações e variações abruptas entre estados de aceleração e desaceleração, está bem patente na simulação de veículos de pequena dimensão.



Figura 11 – Simulador de navio.



Figura 12 – Simulador de comboio.

Para referência comparativa, veja-se que o comportamento dinâmico de um automóvel ligeiro é mais instável que o de um automóvel pesado; também assim, o de um *Cessna 172*, aeronave ligeira, é, pois, também ele mais instável que o de um *Boeing 747* com peso máximo à decolagem superior a 400 toneladas.

---

<sup>12</sup> Massa x Velocidade<sup>2</sup>

Sem embargo ao princípio referido, diga-se, em jeito de parêntesis, que a complexidade de um modelo dinâmico também depende de outros factores para além da massa pura. Assim, na aviação, há, ainda, que ter em conta os momentos de inércia: a aplicação da inércia nos movimentos rotativos *roll*, *pitch* e *yaw*. Os atrasos na aceleração rotativa da massa das aeronaves não dependem só da massa inercial em si, mas também da proximidade da actuação da força (comprimento do braço), ou momento da força, pelo que a massa não é, por si só, responsável pela velocidade das reacções.

Os simuladores têm de lidar com estas características. Quanto mais instável for o veículo simulado, em abono da fidelidade da simulação, mais rigoroso terá de ser o modelo matemático, por vezes também associado a um modelo físico móvel. Nesta última situação, os macacos hidráulicos ou eléctricos responsáveis pela inclinação / oscilação da cabine de simulação deverão actuar de forma mais rápida nos modelos em que está em jogo a variação rápida da aceleração. Em termos gerais, pode dizer-se que a dificuldade em transmitir as sensações decorrentes do comportamento dinâmico do modelo de forma credível é maior nos casos em que há menos massa envolvida e, por conseguinte, maior instabilidade. Nesta lógica um simulador de voo de uma aeronave ligeira mais dificilmente transmitirá a sensação de “estar lá”, de voar, do que um simulador de uma aeronave pesada. Mas será o movimento do modelo físico decisivo para a fidelidade de uma simulação de avião em simulador próprio?

#### **2.2.7.2 A importância do movimento do modelo físico e os factores somáticos**

Um estudo [Bürki-Cohen *et al.*, 2003], realizado com o apoio da NASA no seu simulador de máxima certificação, no *NASA Ames Research Center*, revelou que o movimento mecânico dos simuladores de voo actuais de qualificação e treino não tem uma grande relevância para o treino dos pilotos. Em manobras em que a sugestão física – induzida pelos macacos hidráulicos responsáveis pelo movimento – não tem função de alerta, o treino realizado sem movimento pode resultar num controlo mais estável e mais directo, estreitando a relação piloto-máquina. A necessidade de movimento depende do género de manobra.

Na experiência citada, as situações reportadas em que o movimento terá tido alguma influência nos *inputs* dos pilotos nos controlos do simulador, são as seguintes:

- Na descolagem, em aceleração, no corte de motor à “V1”<sup>13</sup>;
- Na aproximação de precisão;
- Na aterragem com vento cruzado.

Na fase de aproximação, o movimento da cabine terá servido para confundir ligeiramente os pilotos do grupo de sessões com movimento, resultando num maior número de *inputs* aos comandos para alinhar a aeronave do que o grupo em *fixed-base*. Já na fase da aterragem, na fase do “*Flare*”, o primeiro grupo terá usado a sugestão mecânica para aterrar a aeronave com mais suavidade, mas alongando o processo.

Um estudo anterior [Longridge *et al.*, 2001] também se debruçara sobre esta questão, sem encontrar uma relação directa, clara, entre o movimento e a performance do piloto, mesmo em situações de manobra em que, num outro estudo [Hall, 1989], fôra recomendado o uso do movimento.

A aeronave simulada utilizada no estudo [Bürki-Cohen *et al.*, 2003] é o *Boeing 747-400*, uma aeronave de grande porte – aliás, a mais pesada na aviação comercial civil, até ao aparecimento do *Airbus A380*. Como foi referido no ponto anterior, a simulação do voo e do movimento em aeronaves de massa menor é sempre mais crítica. Não deixaria, contudo, de ser interessante constatar se o mesmo se verificaria numa experiência análoga mas em aeronave ligeira.

Fazendo fé nos estudos referidos, o sistema de movimento dos simuladores profissionais de qualificação de Tipo de aeronave da actualidade parece não ter uma grande importância na proficiência do treino – ao contrário do que se passa com simuladores de desorientação espacial, onde o movimento é o factor essencial da simulação.

No ser-humano, os sistemas orgânicos mais importantes responsáveis pela percepção do movimento próprio são o sistema vestibular e o sistema visual. O sistema vestibular encontra-se no ouvido interno e é sensível à velocidade angular e à aceleração linear [Hall, 1989]. O sistema visual detecta o movimento por alterações temporais da posição, velocidade e aceleração [Sedgwick, 1986]. Os receptores proprioceptivos, o tacto e a audição são outros

---

<sup>13</sup> Na descolagem, a Velocidade de Decisão, a partir da qual a aeronave não deverá abortar a descolagem.

factores que também ajudam na detecção do movimento. Num simulador com movimento, a sensação de aceleração é induzida pela estimulação do ouvido interno pelo início do movimento (arranque); o resto é conseguido visualmente.

Num simulador de voo com um ângulo de visão de projecção amplo de 180 graus, a imersão do piloto no ambiente da simulação é grande. A sensação ilusória de movimento, aceleração e inclinação, conferida somente pelo sistema visual, é, normalmente, satisfatória e suficiente para uma percepção e um desempenho correctos no interior da máquina. Em muitas situações reportadas, indivíduos submetidos a experiências de pilotagem em simulador não foram capazes de dizer se o sistema mecânico de movimento do simulador estava a funcionar ou se o movimento era apenas ilusório. Não obstante, nas situações de maior aceleração (descolagem, aterragem, turbulência ou acelerações verticais bruscas durante o voo) o sistema visual é incapaz de sugerir, por si só, sensação de alteração súbita no movimento. O sistema mecânico de movimento só induz as acelerações iniciais, pelo que na realidade, há acelerações contínuas que não podem ser sentidas no modelo físico em sessão de simulação, algo crítico nos simuladores militares de caças de combate.

Nos simuladores de menor dimensão, portáteis ou para *PC*, a sensação de movimento é deveras mais difícil de conseguir. A adopção de ecrãs de grande área e resolução, e/ou de uma solução de múltiplos ecrãs dispostos em inclinação pode ajudar a minimizar a sensação artificial que prejudica uma sessão de simulação completa. Em todo o caso, o treino do voo-por-instrumentos – que pouco ou quase nenhum uso faz da visão exterior – não sai prejudicado pela utilização de ecrãs convencionais nem de plataformas sem sistema de movimento. Curiosamente, há já novos dispositivos periféricos compatíveis com *PC* que visam ajudar na sugestão do movimento, tais como cadeiras oscilatórias e óculos 3D.

### **2.2.7.3 Os simuladores de condução de veículos automóveis e o modelo dinâmico**

Partindo do postulado da variação da massa em relação directa com a dificuldade de se obter fidelidade de simulação dos modelos dinâmicos, definido no ponto 2.2.7.1, parecerá também evidente a dificuldade de simular a dinâmica da condução de um veículo automóvel em que as variações das acelerações longitudinais e laterais são uma constante, em que a subviragem e a sobreviragem têm obrigatoriamente de estar presentes no modelo dinâmico, em cada sessão de simulação. Em caso contrário, a precisão da simulação sai defraudada.

Os simuladores de condução automóvel podem ter dois objectivos maiores: 1º) – o auxílio da aprendizagem comportamental na estrada, ao nível do respeito pelo *Código da Estrada*; 2º) – o auxílio da aprendizagem da dinâmica da condução (independentemente das regras legais aplicáveis), em estreita ligação com factores mecânicos, e de técnicas de condução defensiva.

No primeiro objectivo, essencialmente legal, mais teórico, não é necessário um modelo dinâmico especialmente bem concebido, mas sim todo um cenário de vias de circulação, veículos e sinalização estrategicamente definido. É a aplicação de regras e procedimentos na via pública que está em causa, e não a eficácia ou segurança activa na condução. Para atingir o segundo objectivo, de carácter mais prático e dinâmico, é já preciso que o modelo implementado seja fiel aos princípios físicos descritos nos parágrafos anteriores.

Para a implementação de um modelo dinâmico fidedigno, é necessário que o sistema onde irá correr a simulação tenha *hardware* capaz de responder às elevadas necessidades de processamento. O desenvolvimento tecnológico imarcescível no mercado dos computadores pessoais tem-se feito sentir na crescente produção de programas de *software* de simulação de elevado desempenho ao nível dos modelos matemáticos e visuais. No mercado do grande consumo existem produtos de simulação *COTS* vendidos como *software* lúdico que incluem modelos dinâmicos eficazes. Veja-se o exemplo do *Need For Speed - Porsche 2000™* da empresa *Electronic Arts*, cujo modelo implementado contém cálculos ao nível da deslocação de massas – factor crítico, por exemplo, em veículos *Porsche* da série *911* com motor em posição traseira –, acelerações, aderência, subviragem e sobreviragem (Figura 13).



**Figura 13 –** *Jogo de simulação Need for Speed™: modelo dinâmico. Simulação de sobreviragem.*

Existem alguns simuladores de condução concebidos para utilização nas escolas de condução e centros de formação nacionais. Refira-se, a título de exemplo, dois simuladores nacionais, um utilizado em escolas de condução civis e outro pelos militares: o simulador utilizado pelo

ACP, da autoria de Amílcar Ventura (medalha de ouro pelo Salão de Inventos de Genebra); o simulador CAUT do Centro de Formação Militar e Técnica da Força Aérea (CFMTFA), na Ota. Ambos os simuladores se destinam a auxiliar a aprendizagem da condução automóvel e a sensibilizar os condutores para os perigos da estrada, criando hábitos de boas práticas. Ao nível de dispositivos periféricos, ambos dispõem de parte de uma consola de automóvel de tamanho real, com volante – modelos físicos precários –, enquadrando-se mais em género de simuladores de baixo custo, do que em simuladores *full-size* rigorosos (do ponto de vista dos modelos físico e dinâmico).

Um exemplo mais elaborado ao nível gráfico e dos factores externos ao modelo do veículo simulado é o *ARTT*<sup>TM</sup> implementado pela empresa *Adacel*. Este simulador baseado exclusivamente em *PC*, parametrizável, destina-se à formação de condutores de veículos aeroportuários (*ground crews*). Não possui um modelo físico realista da cabine – apenas volante do género *force feedback* e pedais *COTS*. Porém, a modelação do cenário visual e das condições atmosféricas está bastante desenvolvida. É, pois, possível simular, a partir do posto do instrutor, situações de tempestade, fogo, iluminação, aeronaves e veículos terrestres em movimentação no cenário virtual aeroportuário, entre outras.



Figura 14 – Simulador de cabine completa (*Smart*) e simulador com consola (*Ford Focus*).

Os simuladores mais elaborados podem compreender modelos físicos de simulação complexos, com cabines completas ou *interface* utilizador/máquina (modelo físico) complementadas por modelos dinâmicos (modelo matemático) muito realistas. A empresa alemã *Dr.-Ing. Reiner Foerst GmbH* comercializa simuladores de condução para diversas categorias de veículos, incluindo máquinas industriais. Os modelos dinâmicos são realistas e as condições exteriores envolventes são também complexas. É possível ver o *replay* das acções e aprender com os erros. Existem cabines completas e consolas parciais (Figura 14).

#### 2.2.7.4 Aplicação dos simuladores de condução no ensino

A utilização de simuladores de condução está prevista no Regime Jurídico do Ensino da Condução<sup>14</sup>. O Artigo 12.º (Equipamento) prevê a utilização deste género de equipamento como "material didático", devidamente aprovado pela DGV, e de soluções multimédia para substituir meios tradicionais. Assim, prevê, já, a utilização de TI para/e baseadas em PC.

O número de sessões em simulador está limitado a um máximo de ¼ das aulas práticas, o que, sem embargo às qualidades reconhecidas ao nível da percepção de algumas situações e perigos na estrada, reflecte as limitações dos sistemas actuais deste género ao nível da dinâmica da condução. Seria, pois, necessário a implementação de um modelo dinâmico realista, credível, para que um simulador pudesse substituir algumas horas de condução real.

Sem querer fugir ao problema, diga-se que, nos moldes actuais, o ensino prático da condução nas escolas em Portugal é muito débil. Os instruendos não são ensinados nem treinados a controlar um veículo em situações próximas ou para além dos seus limites. A elevada taxa de sinistralidade, qual guerra civil na sombra das civilizações desenvolvidas, deve-se, estatisticamente, em elevado número, a erro humano causado pela inabilidade e falta de preparação dos condutores. O clássico erro da sobreviragem descontrolada em curva, devido à desaceleração e conseqüente desequilíbrio com transferência de massas para a frente, continua a ser muito praticado na via pública, e resulta, muitas vezes, em trágicos acidentes.

Um estudo publicado no periódico *Human Factors* [Fisher *et al.*], do Verão de 2002, demonstrou, numa experiência prática, que, após um dado período de treino de condução em situações de risco, em PC, de um grupo de indivíduos pouco experimentados, os resultados obtidos num teste real foram claramente superiores aos do segundo grupo de indivíduos, pouco experimentados e sem treino prévio em PC, e aproximando-se, ainda, dos resultados obtidos pelo terceiro grupo de indivíduos, mais experimentados mas sem treino em PC. Embora tendo a experiência um âmbito comportamental defensivo, a pesquisa em causa sugere, de forma optimística, que um treino de condução em situações de risco, realizado em PC, poderia, no mínimo, ser responsável por uma diminuição da taxa de acidentes de viação, em grupos inexperientes.

---

<sup>14</sup> Decreto Regulamentar n.º 5/98 de 9 de Abril.

A utilização de simuladores com modelos dinâmicos eficazes – com ou sem movimento do modelo físico – poderia fazer por alterar os números arrepiantes de acidentes com consequências graves, ampliando e acelerando o processo de apreensão da dinâmica da condução que não somente da aprendizagem comportamental de base teórica e legal. Não substituindo necessariamente as aulas práticas, na opinião do autor, a adopção, pelos centros de formação, civis e militares, das redes viárias pública e aeroportuária, de simuladores para *PC* preparados para esse fim (com dispositivos periféricos adaptados, como modelo físico parcial) poderia ser um ponto de partida, funcionando ora numa fase inicial precoce à passagem à condução real, ora em conjunto.

## **2.2.8 Os simuladores na formação aeronáutica**

Tal como os simuladores de condução na sua área de aplicação, porém ainda muito mais generalizados e utilizados há mais tempo, os simuladores aplicados à aeronáutica têm grande utilidade na formação do pessoal ligado a esta actividade. Como referido, os simuladores são parte integrante e fundamental dos processos de aprendizagem, ao possibilitarem a formação, o treino e a manutenção de indivíduos, com baixos custos e total segurança. Passarei a introduzir os 3 principais géneros de simuladores inseridos neste âmbito.

### **2.2.8.1 Os Simuladores de Voo**

No contexto da formação aeronáutica, um simulador de voo é normalmente utilizado para treinar pilotos. Permite a simulação do voo em condições extremas, tais como: falhas, avarias, condições da aeronave específicas e atmosféricas adversas. Um treino completo, com custos reduzidos, e em ambiente de total segurança.

A segurança é, provavelmente, o factor mais importante na formação com simuladores de voo e dispositivos-de-treino-sintético em geral. Entre os académicos da aviação, são referidas as duas únicas situações fatais que ocorreram em simuladores de voo: numa, um indivíduo caiu do alto dos oito metros de altura de um *FS* e morreu; noutra, um idoso sofreu um ataque de coração e teve o mesmo fim. A segurança do treino é uma característica de máxima relevância que levou à grande aceitação e proliferação dos simuladores de voo na formação dos pilotos, com reconhecimento oficial por parte das autoridades aeronáuticas que passaram a certificar esses equipamentos.

A utilização de simuladores de voo na formação de pilotos teve início na primeira metade do século XX, mais precisamente nos anos 30 da depressão económica. O ensino prático de então, o chamado *on-the-job-training*, trazia grandes perigos para os jovens pilotos, sobretudo no voo em condições *IFR*<sup>15</sup> (de má visibilidade, sobretudo). Com vista a uma solução segura e barata para o treino, o americano Edward Link construiu um simulador de movimentos mecânicos, chamado *Link Trainer*, depois adaptado para treino de voo-por-instrumentos. Venderam-se milhares de exemplares por todo o mundo. Enquanto que o custo operacional num avião de treino *T-6 Texan* era de cerca de dez dólares/hora, num simulador destes rondava os quatro cêntimos. Houve várias versões subsequentes do *Link Trainer*, até meados dos anos 40, quando se começou a utilizar computadores analógicos para solucionar equações de voo, resultando nos primeiros simuladores electrónicos. Em 1948, a empresa *Curtiss-Wright* entregou à companhia *Pan American* o primeiro simulador completo do *Boeing 377*, com instrumentos, porém ainda sem sistema visual nem de movimento.

A simulação física do movimento foi introduzida um pouco mais tarde, em finais da década de 50. Surgiram, inicialmente, movimentos simples de *pitch*. Actualmente, um simulador profissional tem normalmente seis graus de liberdade (*pitch*, *roll*, *yaw*, vertical, lateral, longitudinal), e os simuladores de desorientação espacial têm, ainda, a possibilidade de efectuar *yaw* contínuo para simular situações de perda. As sessões em simuladores com movimento podem chamar-se *FFS*<sup>16</sup>. Nos anos 60 foram introduzidos simuladores digitais, baseados em computadores digitais, com imagem a cores e modelos dinâmicos de fidelidade.

A era digital veio revolucionar o mercado da simulação, e o desenvolvimento dos simuladores de voo desde aí tem crescido a um ritmo galopante, ainda que uma grande maioria dos sistemas continue a utilizar tecnologias de base já ultrapassadas. Muitos simuladores de voo complexos incorporam *hardware* e *software* de há década e meia. Há, não obstante, uma tendência para a adopção de tecnologia *PC*, mais actual.

São muitas as capacidades dos simuladores actuais, bem como o número de aplicações possíveis no treino/formação. Os factores segurança, custos de formação e tempo ditam a utilização dos simuladores pelos centros de formação.

---

<sup>15</sup> *Instrument Flight Rules*, ou regras de voo por instrumentos.

<sup>16</sup> *Full Flight Simulator (/Simulation)*.

Para além do treino técnico da aeronave específica de cada simulador, pode treinar-se, igualmente, procedimentos especiais existentes em determinados aeroportos do globo. Na aviação civil, alguns aeroportos têm procedimentos especiais devido ao congestionamento e à necessidade de redução do ruído sobre áreas urbanas (*KJFK, EGLL*), ou devido a obstáculos físicos e condições atmosféricas perigosas (*EGLC, LSZA, LOWI, LPMA* ou o já desactivado *VHHH*) ou a pistas curtas para determinado Tipo de aeronaves (*GCLA, LPHR*). Esses procedimentos podem, pois, ser treinados em simulador com toda a segurança, a qualquer altura e com as condições da aeronave e meteorológicas pretendidas.



**Figura 15 – Simulador de Voo (FS) de qualificação de Tipo de avião Airbus A320, Training Center/TAP.**

Na aviação comercial, os Simuladores de Voo (FS) de alto nível têm duas funções principais: treinar os pilotos, em curso de formação em qualificação de Tipo (*Type-Rating*) de aeronave, ou na conversão entre Tipos diferentes; examiná-los (no exame, ou *skill-test*, e nas verificações de proficiência periódicas de seis em seis meses para manter a licença válida). Actualmente, toda a conversão, treino, exame e verificação recorrente podem ser levados a cabo em simulador FS, de forma que um piloto de um Tipo de aeronave pode receber treino para um outro Tipo sem nunca ter voado, na realidade, a aeronave em causa. É o chamado *ZFTT (Zero Flight Time Training)*.

Para que uma sessão de simulação consiga transmitir uma sensação credível ao piloto, o simulador tem de ter um conjunto de características. Assim, o modelo físico dos simuladores de voo profissionais é constituído por três componentes principais: réplica da cabine física da aeronave simulada; sistema visual de projecção com espelho esférico de 150° a 180°; sistema de movimento de 6 graus de liberdade com actuação por macacos hidráulicos (ver Figura 15). O movimento, não sendo da maior importância, como se viu, também está presente para ajudar a tornar a simulação credível. A imersão é, pois, conseguida por uma mistura eficaz de modelo físico real com imagem virtual e um modelo dinâmico fidedigno.

Dentro de um simulador de voo de uma aeronave moderna, existem, pelo menos, três posições: “*CM1*” (piloto) e “*CM2*” (co-piloto), à frente, e Posto do Instrutor, atrás. Nesta posição, o Instrutor intervém, em “tempo real”, na simulação e procede à parametrização das condições da aeronave, visuais, atmosféricas, e à simulação de falhas e avarias.

Os simuladores são utilizados pela aviação civil e pela aviação militar. Um simulador de caças de combate tem uma configuração diferente dos de aviões de grandes dimensões. Geralmente, não tem sistema de movimento de cabine. Na aviação militar, situações há, contudo, impossíveis de simular satisfatoriamente. O voo a baixa altitude e as manobras de elevado índice de aceleração linear e angular são situações de treino que obrigam a uma prática real e à eventual substituição das funções do simulador por centrífugas. Não obstante estas limitações apontadas, a *RAF* desenvolveu o conceito de *FMS* (“*Full Mission Simulator*”), nos anos 70, com vista à criação de simuladores que simulassem uma larga variedade de operações.

Actualmente, o conceito *FMS*, utilizado nos âmbitos civil e militar, tem equivalência com o conceito *FFS* (“*Full Flight Simulator*”) ou com *DMS* (“*Dynamic Mission Simulator*”) ou mesmo com o *OFT* (“*Operational Flight Trainer*”). São todos vocábulos sinónimos que se referem a um simulador de voo, comercial ou militar, baseado num ambiente de realidade virtual complexo, normalmente com sistema de movimento, *cockpit* físico e sistema de imagem eficaz, com vista à criação de um ambiente de treino de voo realista.

Os simuladores de voo são dispositivos-de-treino-sintético, e têm uma moldura legal de certificação definida pela JAA. Segundo as suas normas oficiais *JAR*, os dispositivos-de-treino-sintético para avião (*STD*)<sup>17</sup> subdividem-se em:

- *Flight Simulator (FS)* – réplica *full size* do *cockpit* de um Tipo de avião; pressupõe sistema de movimento e sistema visual com visão *out of the flight deck (JAR-STD-1A)*;
- *Flight Training Device (FTD)* – réplica *full size* dos instrumentos, equipamento, painéis e controlos de um avião em configuração fechada ou aberta; não pressupõe necessariamente um sistema de movimento ou um sistema visual (*JAR-STD-2A*);

---

<sup>17</sup> Nos Anexos, pode ver-se as tabelas de requisitos mínimos para cada Dispositivo de Voo Sintético (*JAR-STD*).

- *Flight and Navigation Procedures Trainer (FNPT)* – dispositivo de treino com representação do ambiente do *cockpit*, incluindo o funcionamento dos sistemas da aeronave em condições de voo, e sistema visual (*JAR-STD-3A*);
- *Basic Instrument Training Device (BITD)* – dispositivo com representação dos instrumentos de uma classe de aviões (*JAR-STD-4A*).

Cada uma das categorias de *STD* tem sub-níveis diferentes de certificação, consoante as especificações e capacidades incluídas. Assim, segundo as *JAR*, os Simuladores de Voo, ou *Flight Simulators (FS)* têm características bem definidas e distinguem-se de outros *STD*. Contudo, para efeitos da presente Dissertação, o conceito utilizado de simulador de voo é mais abrangente e inclui também os outros dispositivos com sistema visual mas, contudo, menos complexos, sem movimento ou *cockpit* ou painel físicos: compreende, assim, os *FS* e *FNPT* (classificação *JAR*), mais os simuladores baseados em (e para) *PC*.

Em Portugal, ao nível dos simuladores de elevada robustez física, com cabine e sistema visual, certificados (*FS + FNPT*), refiram-se:

Aeronáutica civil:

1. Simulador para aeronaves da série *Airbus A320* (qualificação de Tipo de Aeronaves), do *Training Center* da *TAP Air Portugal*, (“*STD-1A-Level-D*”), da marca *Thomson Training & Simulation* (actual *Thales*);
2. Simulador para Tipo de aeronave *Beechcraft King Air B200/300 (FNPT II)* da escola de aviação *Academia Aeronáutica de Évora* (protocolo com a *CAE*);
3. Simulador para classe de aeronave, com *Multi-Crew Co-operation*, da escola de aviação *Aerocondor*, (*FNPT II*), modelo *Frasca 242R™*;

Aeronáutica militar:

1. Simulador de caça de combate *Lockheed-Martin F-16*, da BA-5, FAP;
2. Simulador do *Dassault/Dornier Alpha Jet*, Esquadra 103, Beja, FAP;
3. Simulador do *Epsilon* da Esquadra 101, Beja, FAP (*SEPST™*).

As *JAR* não são o único sistema de classificação. A autoridade aeronáutica norte-americana **FAA** utiliza uma classificação (*FAR*<sup>18</sup>) diferente para os *STD*:

- *Simulator* (equivalente aos *FS* definidos pela *JAR-STD-1A*, de quatro níveis);
- *Flight Training Device* (de sete níveis);
- *Personal Computer-Based Aviation Training Device* (baseado em *PC*).

A *FAA* prevê, já, a utilização de simuladores simples baseados em *PC*, com a devida certificação, na formação dos pilotos. Contrariamente às *JARs*, a terceira classificação *FAR* para *STDs*, referida em cima, distingue claramente e certifica dispositivos *PC*.

Os Simuladores de Voo (*FS*) de topo têm custos muito elevados. O valor da aquisição ronda os 15 - 25 milhões de Euros. Os custos de operação contínuos, incluindo peças, energia, pessoal técnico permanente e certificação periódica, aproximam-se dos da aviação real. E são, normalmente, necessários alguns anos para conseguir amortizar esses custos, o que leva, normalmente, os centros de formação de muitas companhias aéreas ao aluguer do simulador a outras entidades externas. O preço/hora de cada sessão em *FFS* ronda os 600 Euros. Podem, contudo, funcionar em modo *FBS*<sup>19</sup>, sem movimento e/ou sistema visual, tal como um *FTD* ou um *FNPT*, para instrução ou treino básicos, comportando custos inferiores.



Figura 16 – *Simulador de Voo* para qualificação de Tipo *A319-A320-A321* (“*JAR-STD-1A–Level-D*”), utilizado pelo *Training Center* da companhia de aviação *TAP*; à direita, a pista *03* do aeroporto de Lisboa.

<sup>18</sup> *Federal Aviation Regulations*.

<sup>19</sup> *Fixed-Base Simulator*.

### **2.2.8.2 Os Simuladores de Desorientação Espacial**

Como foi aflorado atrás, para existir orientação espacial, no ser-humano, é necessário que haja captação e interpretação correcta de determinadas referências. Antes de serem interpretadas no cérebro, elas são captadas por alguns sistemas. Eles são: o sistema vestibular, localizado no ouvido interno; o sistema visual; os receptores propioceptivos; a audição; o tacto. Em situação de voo, a ilusão, seja ela causada principalmente por acelerações lineares ou angulares da cabeça (sistema vestibular), ou por incorrecta interpretação visual, representa sempre um perigo potencial para o controlo da aeronave.

Para estudar as reacções dos pilotos em situação de desorientação espacial, treinar e evitar erros fatais na realidade, são também utilizados simuladores. Para criar as ilusões, os simuladores de desorientação espacial permitem estimular, sobretudo, o sistema vestibular (ilusões somatogravídicas, somatogirais, ilusão de Coriolis) e o sistema visual (ilusões de perspectiva e falta de iluminação). São, normalmente, constituídos por pequenas cabines montadas sobre plataformas móveis accionadas por macacos eléctricos e com possibilidade de efectuar rotações contínuas sobre o eixo vertical.

### **2.2.8.3 Os Simuladores na formação de CTA**

A outra vertente, onde são aplicados simuladores de voo na formação, é no pessoal do controlo de tráfego aéreo (CTA). Sem querer aprofundar muito, refira-se os dois géneros de simuladores para formação e treino de controladores: simuladores de radar e simuladores de torre de controlo. Os primeiros destinam-se ao treino em operações baseadas com radar. Os simuladores de torre de controlo são, normalmente, constituídos por uma sala com computadores e ecrãs de grande formato nos quais são projectadas imagens virtuais do exterior de uma torre de controlo. No sub-capítulo 2.2.6.1, foram mostrados dois exemplos de simuladores de radar (Figura 9) e de torre de controlo (Figura 8), utilizados não para a formação de CTA mas para testar diversas situações na pesquisa científica.

Tal como na formação de pilotos, a simulação é um precioso elemento na formação do pessoal CTA, pelos riscos envolvidos. Desta forma, situações de congestionamento, emergências e acidentes podem ser simulados em total segurança, de forma a bem preparar o pessoal técnico para uma resposta rápida e eficaz em situações reais inesperadas.

## 2.3 Argumentos sobre a utilização da Simulação e TI na formação

A introdução das TI veio dinamizar o ensino. A simulação será, certamente, uma das formas mais dinâmicas deste novo ensino tecnológico. A formação aeronáutica, pelo seu carácter prático, beneficia muito com o modelo de aprendizagem dinâmica, actualmente adoptado por diversos centros de formação por todo o Mundo.

Na esteira do que até agora tem sido dito sobre a simulação aplicada à formação, nomeadamente à formação de pilotos, saliente-se os benefícios de uma aprendizagem ou treino baseados na simulação, seja ela baseada em TI para *PC* ou em sistemas convencionais complexos ou fisicamente robustos.

A simulação é um método muito eficaz para formar e treinar pilotos. Estimula as estruturas cognitiva e psicomotora dos formandos, e consolida, com a actividade prática, os conceitos apreendidos nas aulas teóricas. Do ponto de vista da teoria pedagógica, a simulação interactiva, baseada numa mistura eficaz de um modelo físico – incluindo sistemas visual e/ou de movimento e dispositivos periféricos variados – com um modelo matemático dinâmico, ou seja, como realidade virtual, leva à participação do formando na sua própria formação. Já dizia Confúcio, filósofo chinês do séc. VI a.C.:

*Eu oiço e esqueço.*

*Eu vejo e lembro-me.*

*Eu faço e aprendo.*

Num trabalho sobre a simulação como forma de aprendizagem empírica [Menn, 1993], o autor aponta, em conclusão, que os estudantes retêm:

- 10% do que lêem;
- 20% do que ouvem;
- 30% se a componente visual está associada à explicação auditiva;
- 50% se vêem a realização da acção durante a explicação;
- 90% se participam na acção, mesmo que somente através da simulação.

Para efeitos práticos directos, diga-se que a sua utilização tem duas vertentes de aplicação: como complemento pedagógico, a simulação é uma mais-valia, pois possibilita uma aproximação superior ao objecto de estudo real, de forma prática ou empírica, através de habilidades práticas, ou *procedural skills*, face ao ensino tradicional em sala-de-aula baseado na descrição de conhecimento, ou *declarative knowledge* [O'Hare, 2001]; como substituição das operações com aeronaves reais na formação, a simulação possibilita, ainda, um treino em total segurança, com claros benefícios em custos de formação e de tempo.

Os simuladores de voo, como foi referido, baseiam-se no princípio da simulação interactiva “*human-in-the-loop*”. Através das inúmeras possibilidades da simulação, é possível a aplicação desses conceitos leccionados, num ambiente prático e interactivo.

Os simuladores de voo permitem recriar condições extremas, incluindo falhas e avarias, condições da aeronave específicas e atmosféricas adversas. Em suma: um treino completo, com tempo e custos reduzidos, e em ambiente de total segurança.

Ao longo dos anos ocorreram diversos acidentes de aviação em voos de formação com consequências fatais. Nuns casos, enquanto eram efectuados procedimentos normais, tais como o “*touch-and-go*” em aeroportos (como aconteceu com o *DC-9* da *Delta Airlines*, em Maio de 1972 em Fort Worth, Texas); noutros, em consequência do treino em manobras perigosas (exemplo do acidente do *Beechcraft 1900C* da *Business Express* em Abril de 1993, em Rhode Island). No decurso do inquérito a este último acidente, o *NTSB* recomendou à autoridade aeronáutica norte-americana *FAA* o encorajar da utilização de simuladores de voo no treino dos pilotos “*to the maximum extent feasible*”<sup>20</sup>. Pelo menos desde os anos 90, a *FAA* defende oficialmente a utilização de simuladores de voo e das TI na formação dos pilotos:

*“The use of flight simulators and flight training devices in lieu of aircraft has resulted in a reduction in air traffic congestion, noise and air pollution and training costs. The increase use of flight simulators is also consistent with national policy for fuel conservation. Flight simulators provide a safe flight-training environment. They may reduce the number of*

---

<sup>20</sup> *NTSB/AAR.93/O1/SUM.*

*training accidents by allowing training for emergency situations, such as fire, total loss of thrust, and systems failures, that cannot be safely conducted in flight.”<sup>21</sup>*

Embora o termo “*flight simulator*” referido no texto supra mencionado seja utilizado no seu sentido específico de simulador de voo de alto-nível, com sistema de movimento e sistema visual complexo, (*FAR-STD-FS* e *JAR-STD-IA*), também os restantes equipamentos de simulação de voo, nomeadamente outros dispositivos-de-treino-sintético ligados ou não a *PC*, estão integrados nesse mesmo sentido, ou seja, na simulação.

Já nos anos 80 uma “*taskforce*” formada sob a alçada da *FAA* recomendara “*expanded use of flight simulators in new and innovative training programs.*” Em Outubro de 1989, esse grupo, que um ano depois seria integrado no *Air Transportation Personnel Training and Qualifications Advisory Comitee*, chegaria mesmo a recomendar a estandardização do uso de simuladores de voo (*FS*) e dispositivos-de-treino-de-voo (*FTD*), numa altura em que os *training centers* não estavam ainda regulamentados.

A par dos acidentes de aviação, também a evolução tecnológica ajudaria a explicar a recomendação, por parte da autoridade norte-americana, da utilização dos simuladores:

*“(…) rapid technological advances have permitted and encouraged the expanded use of flight simulators in the training and checking of flight crewmembers. In addition, the complexity, operating costs, and operating environment of modern aircraft have lead to the increasing use of advanced simulator technology. Extensive experience has proven that modern simulators can provide more in-depth training than can be accomplished in the aircraft as well as provide a very high transfer of learning and behavior from the simulator to the aircraft. Their use, in lieu of aircraft, results in safer flight training and cost reductions for the operators, while achieving fuel conservation and a significant reduction in environmental impact.”<sup>22</sup>*

---

<sup>21</sup> *Federal Register: July 2, 1996 (Volume 61, Número 128) Págs. 34507-34509.*

<sup>22</sup> *FAA Advisory Circular AC 120-63 (1994)*

Não obstante, como foi dito, não foi só nos simuladores de alto-nível que a evolução tecnológica se fez sentir. No âmbito da formação de pilotos, também outros dispositivos-de-treino-sintético, tais como os *Flight Training Devices (FTD)*, comumente chamados de “simuladores de voo” ou de “simuladores de sistemas”, consoante as normas de certificação, são actualmente recomendados pela *FAA* no processo de formação:

*“The complexity, operating costs, and operating environment of modern airplanes, together with the technological advances made in flight simulation, have encouraged the expanded use of training devices and simulators in the training and checking of flight crewmembers. These devices provide more indepth training than can be accomplished in the airplane and provide a very high transfer of skills, knowledge, and behavior to the cockpit.”*<sup>23</sup>

Vejam-se, seguidamente, os quatro principais factores que justificam a aposta continuada e crescente na Simulação, e que proporciona o “*Return-On-Investment*” (*ROI*) para os centros de formação aeronáutica:

### **2.3.1 Factor “custo”**

Estima-se que o custo de operação dos simuladores de voo em *FFS* (com movimento) ronda os 5-20% do custo de operação das aeronaves reais [NTSA]. Mais económico, ainda, é um simulador de voo para *PC*, simples, em que praticamente quase não são contabilizados os custos de operação, mas somente os de aquisição.

### **2.3.2 Factor “tempo”**

A utilização de situações reais para treino pressupõe um consumo de tempo considerável, sobretudo se a variação dos cenários for grande, alongando assim, em consequência, o processo de aprendizagem e dificultando a sua dinâmica. Em simulação é possível a permuta de cenários diferentes de forma célere e dinâmica.

---

<sup>23</sup> *FAA Advisory Circular AC 120-45A (1992)*

### 2.3.3 Factor “eficácia”

Uma forma de medir a eficácia do treino em simulador é calculando a razão da poupança de tempo de treino real pelo tempo gasto na simulação. Este indicador pode ser designado por *Transfer Effectiveness Ratio (TER)*. Estima-se que a maioria das tarefas treinadas em simulador têm uma TER superior a 0,33, ou seja, que para cada 3 horas gastas em simulador, pelo menos 1 hora em voo real possa ser eliminada [NTSA].

Na aeronáutica civil, os simuladores de voo e outros dispositivos-de-treino-sintético substituem horas de voo real, em partes definidas pelas respectivas autoridades, numa razão de 1:1, ou seja, têm relação directa. Como foi dito, nos actuais simuladores usados para qualificação em Tipo de aeronave, é utilizado o *ZFTT*, de forma a que o treino de qualificação e o exame ou verificação sejam efectuados integralmente a bordo, sem necessidade de treino em voo real.

Para mais, quando está em causa o treino de perícia / habilidades psicomotoras, que não somente cognitivas, os simuladores tornam-se ferramentas preciosas, permitindo a introdução do elemento humano como parte da simulação (*human-in-the-loop simulation*).

Outra exploração eficaz das capacidades da Simulação baseia-se no treino em situações ou locais impossíveis de efectuar, como, por exemplo, na vertente aeroespacial, no treino de aterragem em Marte.

### 2.3.4 Factor “segurança”

A segurança na aviação tem sido, indiscutivelmente, uma questão fulcral. Para além das questões importantes do custo, tempo e eficácia no treino, a Simulação oferece, ainda, um plano de treino efectuado em total segurança. Uma das aplicações onde o factor “segurança” está mais patente é a do treino de aproximações/aterragens em navios porta-aviões, sobretudo à noite ou em condições de visibilidade reduzida. A *US-Navy* utiliza a simulação, de forma consistente, para replicar estas experiências críticas em treino real. A introdução da simulação, nestes casos, reduziu em 88% os desastres directamente relacionados.

## 2.4 Simuladores de média-robustez baseados em tecnologia PC

De entre os dispositivos-de-treino-sintético (*STD*), a um nível de complexidade mais baixo do que o patamar dos *FFS* de qualificação de Tipo, estão outros dispositivos igualmente viáveis, com ou sem certificação oficial das autoridades aeronáuticas, utilizados na formação e para o treino suplementar, tanto na fase inicial desses cursos de qualificação de Tipo como na passagem para os simuladores de topo.

A justificação destes dispositivos menos complexos deve-se ao importante factor custo. Assim, utilizando-se uma arquitectura-base *PC* como suporte tecnológico, nomeadamente o sistema operativo, ligados a periféricos específicos mais ou menos complexos, estes dispositivos apresentam custos de aquisição, de utilização e manutenção muito reduzidos.

Estes dispositivos de média-robustez física podem, ainda, obter a certificação para *Flight Training Device (FTD)*, *Flight Navigation and Procedures Trainer (FNPT)* ou *Basic Instrument Training Device (BITD)*, consoante as especificações previstas pelas diferentes autoridades aeronáuticas competentes, nomeadamente *JAA* e *FAA*, regidas, respectivamente, pelas normas *JAR* e *FAR*. Posicionam-se entre os *FFS* e os *PCs*, e, juntamente com aplicações para *PC*, programas *CBI*, são utilizados pelos centros de formação por todo o Globo nos processos de aprendizagem dos diferentes cursos de pilotagem.

### 2.4.1 Simuladores de voo com cabine

Existem, já, no mercado, simuladores de voo baseados em *PC* que incluem modelos físicos de complexidade média. A empresa norte-americana de *hardware* para simulação, *Precision Flight Controls, Inc.*, comercializa uma cabine de simulação de baixo-custo, composta por módulos diferentes consoante a classe de aeronave pretendida e a sua complexidade. Outro exemplar do mesmo género, da *Environmental Tectonics Corporation*, soma às funcionalidades genéricas do simulador a capacidade para treino em desorientação espacial, através de uma plataforma móvel acoplada à base da cabine. Ambos são certificados pela autoridade norte-americana *FAA*.

Este género de dispositivos são preferencialmente utilizados para formação inicial de voo básico e para treino em voo-por-instrumentos (*IFR*). Por não se destinar à formação em

curso de qualificação de Tipo, e, por conseguinte, a sua utilização não exigir uma réplica fiel da aeronave do Tipo específico, este género de simuladores de média-robustez física, normalmente, simula a operação de uma determinada Classe de Aeronave – monomotor e/ou multimotor. Assim, a configuração dos *cockpits* pode ser genérica ou específica. O *Cessna 172*, por ser uma aeronave bastante utilizada no treino real (sobretudo nos cursos de Piloto Particular de Avião, PPA), serve, em muitos casos, de modelo básico para simuladores monomotor. Há simuladores certificados que utilizam *software PC* como motor de simulação e um *cockpit* físico de configuração específica de um determinado Tipo de aeronave.



Figura 17 – 2 exemplos de simuladores com cabine física: total ou parcial / de ecrã exterior ou embutido.

#### 2.4.2 Simuladores de Sistemas: *ECAM/FMGS-Trainers*

Para além dos simuladores de voo com cabine e sistema visual, outros dispositivos há cuja principal função é simular diversos sistemas integrantes de um determinado Tipo de aeronave, tais como o *ECAM* e o *FMGS*. São constituídos pelos principais painéis da aeronave cujos sistemas pretendem simular a operação – geralmente à escala 1:1 –, e integram-se no processo de aprendizagem em qualificação de Tipo, numa fase anterior à passagem ao simulador final *FFS*. A aquisição e utilização destes simuladores pelos centros de treino prende-se com os baixos custos de aquisição, operação e manutenção.



Figura 18 – “A320 FMGS Trainer/Free-Play™” da TAP (esquerda) e A320 FTD da CAE (direita).

A empresa *Wicat* comercializa dispositivos deste género, sem sistema visual, para diversas aeronaves, incluindo a série A320. Desta forma, em alguns sistemas da aeronave, torna-se possível transferir o seu treino dispendioso efectuado em sessões de simulação de alto-nível, *FFS* e *FBS*, para estes dispositivos simuladores de sistemas de custo médio-baixo, encurtando, assim, o tempo de utilização (e de ocupação) desses outros simuladores dispendiosos, e reduzindo, por conseguinte, os custos totais do processo de aprendizagem.

## 2.5 TI para PC – sistemas simples

No nível de complexidade inferior posicionam-se as TI para PC propriamente ditas. Os dispositivos e programas que se inserem neste enfoque pedagógico-tecnológico, concebidos para PC – e que não somente baseados em tecnologia PC, tal como *chips* ou *CPUs*, a que se referia o ponto anterior –, são potencialmente eficazes no auxílio à formação aeronáutica.



Figura 19 – Espectro de complexidade dos dispositivos-de-treino-sintético: PC–FTD–FFS.

### 2.5.1 Dispositivos-de-Voo-Sintético

A simulação aplicada à formação aeronáutica é, como se viu, uma preciosa ferramenta nesse processo. A simulação de voo é, pois, uma vertente possível em ambiente PC. Assim, seguidamente, referirei as duas formas principais de dispositivos-de-voo-sintético para PC.

#### 2.5.1.1 Simuladores de Voo PC

A história da simulação de voo em PC remonta a meados da década de 70. A tese de Mestrado de Bruce Artwick [1975], da Universidade de Illinois, intitulada “*A versatile computer-generated dynamic flight display*”, apresentou um modelo de voo de uma aeronave num computador de uso pessoal, provando que o então microprocessador 6800 era capaz de resolver cálculos aritméticos e gráficos em simultâneo necessários para a simulação de voo

em computador. O seu estudo serviu de base para a subsequente elaboração de *software* de simulação de voo desenhado para correr em microprocessador.

Sob o nome da marca *SubLOGIC*, foi criado o primeiro simulador de voo para máquinas *Apple-II™* (1980): o *Flight Simulator 1.0™*, seguidamente adaptado à recém-criada empresa de desenvolvimento de *software* de seu nome *Microsoft* que mais tarde iria comprar o produto e desenvolvê-lo ainda mais num esforço imarcescível até aos dias de hoje.



Figura 20 – *Flight Simulator*: a evolução (1980, 1989 e 2003). Note-se os melhoramentos da parte gráfica.

Os gráficos das primeiras versões de simuladores eram basicamente vectoriais e de baixo nível de detalhe. As equações por detrás dos modelos matemáticos eram também muito simples. A última versão do *Microsoft Flight Simulator™* (*MSFS*) inclui grandes melhoramentos na parte gráfica: para além dos 24 mil aeroportos “*default*” espalhados pelo modelo do Globo Terrestre, é possível desenhar e instalar como “*add-on*” aeronaves e cenários 100% fotográficos, incluindo terreno e objectos; o motor gráfico pode também gerar vias de comunicação e objectos genéricos, tais como árvores, pontes, casas e outros edifícios, ao longo de todo o cenário, mediante a técnica chamada “*Autogen™*”; a simulação da meteorologia é mais eficaz, incluindo um modelo dinâmico de formação e dissipação de nuvens e ventos, de condições adversas tais como tempestades e turbulência, sendo já possível importar de uma base de dados da *Internet* informação actualizada da meteorologia *worldwide*; as rádio-ajudas são fornecidas pela reconhecida entidade aeronáutica, a *Jeppesen*, sendo possível simular voos por todo o globo, tanto em modo visual, *VFR*<sup>24</sup>, como em modo de voo-por-instrumentos, *IFR*, sendo ainda possível, para tal, usar o simulador de controlo de tráfego aéreo incluído.

<sup>24</sup> *Visual Flight Rules*, ou regras de voo visual.

A grande evolução verificada no *software* de simulação para *PC*, ao longo de mais de duas décadas, inevitavelmente acompanhada pela do *hardware*, permitiu atenuar um pouco mais a fronteira entre a virtualidade e a realidade. Paralelamente ao desenvolvimento do *MSFS™* surgiram outros produtos concorrentes. Alguns deles entraram no mercado mas não tiveram mais evolução (o caso do *Fly! 2™* da *Terminal Reality Inc.* e o *Flight Unlimited III™* da *Electronic Arts Inc.*); outros, continuaram a desenvolver-se e mantêm-se como concorrentes da *Microsoft* (como o *X-Plane 8™*, da *Laminar Research*).

Os diversos programas de *software* de simulação para *PC* do género do *MSFS™* têm sido desenvolvidos como plataformas lúdicas e generalistas, *COTS*, acessíveis, portanto, a toda a gente – os chamados jogos de simulação. Propósitos lúdicos e de acessibilidade impediram-nos, contudo, de focar os esforços do seu desenvolvimento no sentido da precisão técnica da simulação das aeronaves específicas que os pacotes incluem. Este detrimento estratégico que, antes, privilegiou os gráficos, o *interface*, a espectacularidade ou, até mesmo, o carácter enciclopédico, voltou-se para o grande público e para o incremento das vendas.

Há, pois, que fazer, já, uma distinção, do ponto de vista da utilização final, entre plataformas de carácter lúdico, *COTS*, e plataformas com propósitos específicos voltados, por definição e objectivo, para a formação aeronáutica real. Neste grupo de aplicações pedagógicas de simulação de voo para *PC*, destaque-se: *Elite 8.0™* (*Elite Simulation Solutions*), *FlitePro™* (*Jeppesen*), *On Top v8™* (*Aero Training Products*), *Virtual Wings Professional™* (*CAT III Systems GbR*). Estes exemplares são programas de simulação de voo profissionais, desenhados para o treino em qualificação de Voo-por-Instrumentos (*instrument rating*). São simuladores graficamente pobres em relação aos de carácter lúdico já referidos anteriormente, mas primam pela precisão do funcionamento dos sistemas simulados, nomeadamente os instrumentos de voo.

Alguns dos simuladores de voo para *PC* referidos chegam a servir de base – modelo de voo e modelo visual – para dispositivos-de-treino-sintético certificados pelas autoridades aeronáuticas. Segundo a *JAA*, podem ser aplicadas as seguintes qualificações: *JAR-STD-2A* (*FTD*); *JAR-STD-3A* (*FNPT*); *JAR-STD-4A* (*BITD*); quanto à *FAA*, as qualificações possíveis neste tipo de aplicação são: *FAR-STD-FTD*; *FAR-STD-PCATD*. Os simuladores profissionais de topo (*FFS*), extra-*PC*, utilizam modelos próprios, normalmente.



**Figura 21 – Painéis / visuais de simuladores de voo para PC para treino em qualificação em Voo por Instrumentos (Elite Simulation Solutions v8, à esquerda, e Jeppesen FlitePro, à direita).**

O referido *software* de simulação de voo para PC, *X-Plane™*, da *Laminar Research*, serve de modelo de voo à linha de simuladores *Motus™* (*Fidelity Flight Simulation*). O *X-Plane™* é um simulador PC muito avançado, especialmente desenvolvido para o desenho e teste de aeronaves e veículos aeroespaciais. O modelo de voo do *MSFS™* baseia-se em valores manualmente parametrizáveis de força e sustentação que actuam directamente nas equações matemáticas, obrigando a um *tuning* extremamente complexo e moroso sempre que se quer alterar o comportamento de uma qualquer aeronave, por comparação com a *performance* da congénere real. Contrariamente, o modelo dinâmico do *X-Plane™*, dado um determinado perfil aerodinâmico de aerofólio, calcula em tempo real as forças por ele geradas e o seu comportamento aerodinâmico numa determinada atmosfera. Essa versatilidade permite a simulação do comportamento em voo de protótipos sem que antes seja conhecida a sua real *performance*. Possui, ainda, particularidades na simulação do terreno – tais como pistas com inclinação – e de fenómenos atmosféricos, como seja o *microburst-windshear* ou as pistas de aterragem escorregadias. Pela sua melhor implementação técnica, o *X-Plane™* mais facilmente tem aplicação em dispositivos com certificação já referida.

### 2.5.1.2 PCATDs

Como foi anteriormente referido, os simuladores para PC de carácter profissional, destinados à formação de pilotos, estão otimizados e têm sido utilizados, sobretudo nos EUA, para o treino de formação em qualificação de Voo-por-Instrumentos, ou *instrument rating*. No entanto, para ser possível oficialmente contabilizar horas de treino em substituição de horas de voo real (*to log flight time*), é necessária aprovação (certificação) do dispositivo/simulador

por parte da autoridade aeronáutica competente. A norte-americana *FAA* certifica dispositivos de treino *PC*, chamados *Personal Computer-based Aviation Training Device (PCATD)* para 10 horas de instrução de voo-por-instrumentos, e um máximo de 2,5 horas nos cursos de *Private Pilot Licence* (equivalente ao nosso *PPA*).

Os *PCATDs* são constituídos por um *PC* com monitor policromático, ao qual são ligados dispositivos periféricos *I/O*. Assim, os *PCATDs* são simuladores de voo *PC* adaptados à prática pedagógica, utilizando, para tal, dispositivos periféricos específicos. Estes dispositivos são normalmente constituídos por um *flight yoke*, réplica do controlo da aeronave real, para comando dos ailerons e do leme de profundidade, pedais (*rudder*) para controlo do leme de direcção e trem dianteiro, comandos do motor, luzes e rádios, entre outros. Os instrumentos principais são mostrados no monitor (observe-se a figura 22, em baixo).

Os *PCATDs* correspondem, pois, à primeira tentativa com sucesso de certificação da utilização de *PCs* ligados a dispositivos periféricos convenientes, na formação de pilotos. Como também foi dito, este género de certificação/utilização de equipamento *PC* é apanágio norte-americano, uma vez que a europeia *JAA* não prevê qualquer certificação neste campo.



Figura 22 – *PCATD – Personal Computer-based Aviation Training Device.*

## 2.5.2 O conceito *CBI: Computer-Based Instruction*

A par da Simulação, o conceito *Computer-Based Instruction (CBI)* – também designado comumente por *Computer-Based Training (CBT)*, porquanto a instrução e o treino (após e durante a instrução) são, no ensino, duas fases que se complementam e integram num mesmo processo de aprendizagem – apresenta-se com uma das potencialidades dos sistemas *PC*, ou *TI para PC*. Actualmente, a maior parte dos centros de formação em pilotagem comercial, nomeadamente nos cursos de *Type-Rating*, investem em sistemas para *CBI*.

No sentido mais lato, o *CBI* inclui um amplo leque de sistemas de base tecnológica *PC*, aplicados ao ensino de actividades pedagógicas. Sem embargo, há quatro aspectos maiores que se entrecruzam na análise da implementação de sistemas *CBI*, suportados por *TI para PC*:

- ao nível do processo de aprendizagem, a evolução e progressão dos instruendos nas várias etapas dentro desse mesmo processo pode ou não ser monitorizada exteriormente à visualização das apresentações do programa (*CMI*);
- ao nível da apresentação da informação propriamente dita, ou média, o programa pode ou não recorrer à multimédia, nomeadamente à **multimédia digital**;
- ao nível da organização da informação, o programa pode ou não incluir uma estrutura complexa organizacional de conteúdos de acesso directo, mormente através de ligações entre páginas, ou **hipermédia**;
- ao nível da participação do utilizador da informação, as apresentações podem ser corridas com pouca ou quase nenhuma intervenção do utilizador, ou assentar numa **interactividade** constante, incluindo sessões de simulação e/ou de testes formativos, necessitando de intervenção do utilizador para prossecução dos capítulos ou módulos;

### 2.5.2.1 O *Computer-Managed Instruction* e a monitorização do ritmo de aprendizagem

O conceito *Computer-Manged Instruction (CMI)* descende do conceito anterior, *CBI*, e surge como resposta à necessidade de monitorização dos diferentes ritmos de aprendizagem dos instruendos de um determinado processo; é o entrecruzar da tecnologia com a pedagogia,

fazendo valer as potencialidades dos *PCs* ao nível da gestão de conteúdos. Uma prática inerente a este processo de monitorização é o chamado “*CBM*”, ou “*Curriculum-Based Measurement*”, na qual o computador é usado para guardar e processar medições relativas à progressão dos instruídos e, subsequentemente, fornecer informações ao instrutor/formador.

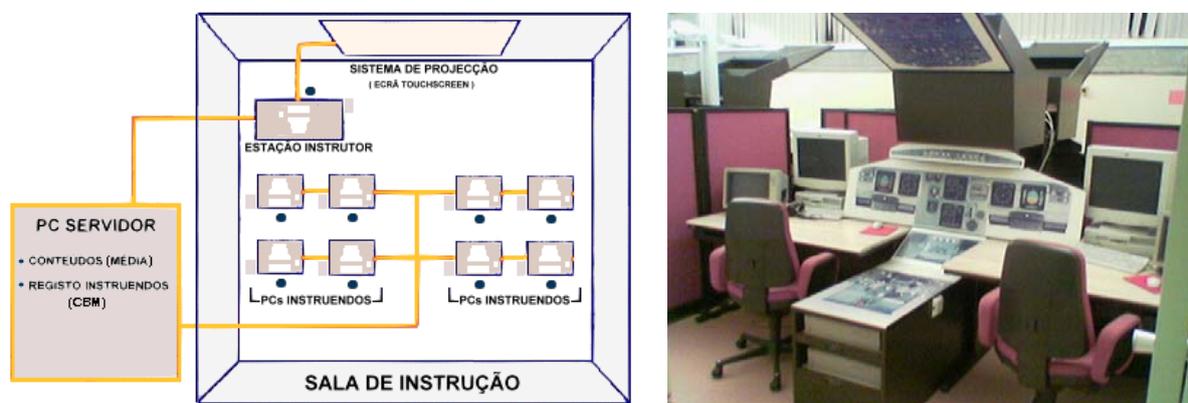


Figura 23 – Esquema de sala-arquétipo de instrução baseado em CMI. *Training Center (TAP)*, à direita.

A par dos “sistemas livres” (“*free-play*”) em que factores cognitivos como o tempo e a velocidade são controlados pelos instruídos, surgem também sistemas monitorizados que fazem jus do conceito *CMI*.

### 2.5.2.2 A multimédia digital

A multimédia digital é as apresentações controladas por computador, compostas por dois ou mais tipos de informação codificada no formato digital, em que pelo menos um é baseado no tempo. Assim, para além do texto, dos gráficos e das imagens estáticas, é utilizado também o som, o vídeo, a animação, as componentes baseadas no tempo, de forma a enriquecer as apresentações. As apresentações digitais podem ser realizadas em *slides* do género *Powerpoint*, apresentações dinâmicas baseadas em *DHTML* ou em qualquer outra ferramenta de programação. São, em muitos casos, projectadas através de dispositivos de projecção “*datashow*” – actualmente, um equipamento *standard* das salas de instrução.

Os projectores de imagem limitam-se a projectar, em ecrã de grandes dimensões, a imagem do que está, no momento, a ser processado pelo controlador gráfico do computador, de forma a que um grupo de indivíduos assistentes possam ver, em conjunto, as apresentações. Actualmente, já são utilizados ecrãs de projecção sensíveis do género *SMART Board*, que permitem já adicionar um pouco de interactividade e dinâmica à apresentação do instrutor.

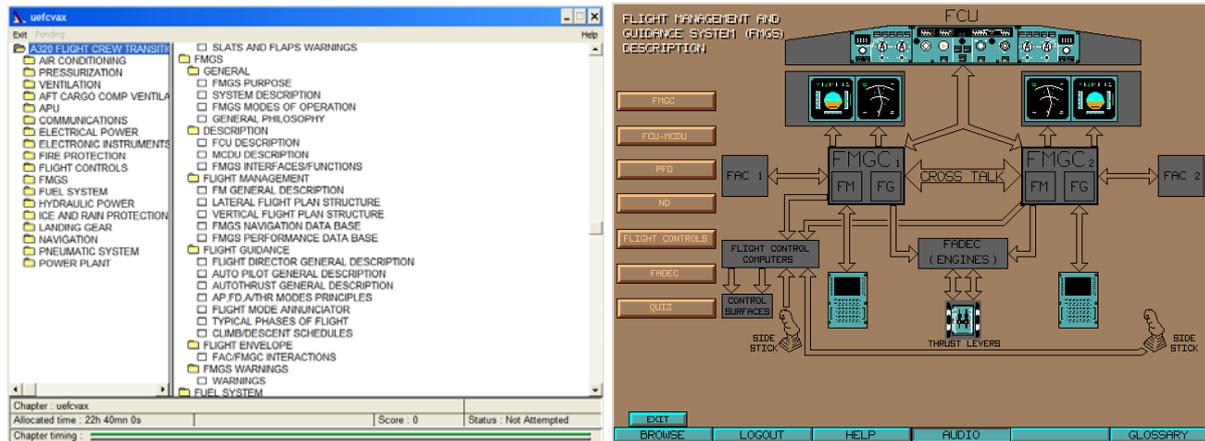


Figura 24 – VACBI Airbus A320 – estrutura de conteúdos de acesso directo e monitorização de progresso.

Por causa da forte componente multimédia, a empresa líder da aviação comercial europeia, Airbus, chamou “VACBI” aos seus primeiros programas deste género. “VACBI” significa “Video and Audio Computer-Based Instruction”.

Em conjunto com a multimédia digital, as apresentações dos actuais programas para CBI têm normalmente uma forte componente interactiva na qual o utilizador intervém sobretudo através do clique e manuseamento do mouse.



Figura 25 – Exemplos de CBI-CMI para Airbus A320: da Airbus (à esquerda), e Norwest Airlines (à direita)

Desta forma, recorrendo-se à monitorização do processo de aprendizagem, por um lado, e ao seu enriquecimento através da multimédia digital e da interactividade, por outro, é possível explorar as potencialidades contidas no CBI.

Em suma, este género de equipamento para *CBI* é composto por programas de *software* pedagógico baseados em multimédia digital, e correm em máquinas *PC* equipadas, para o efeito, com leitor de *CD* ou *DVD*, monitor policromático, *mouse* e teclado, e ainda auscultadores individuais e/ou colunas de som.

### 2.5.2.3 O Ensino-à-Distância (EAD) e o *Web-Based Training* (WBT)

O Ensino-à-Distância (EAD), nomeadamente através de redes de informação, é outra das vertentes possíveis da formação baseada em TI para *PC*. Os avanços tecnológicos nas comunicações, patentes na evolução positiva da largura de banda, têm facilitado a emergência de uma nova concepção de ensino.

Já não é pouco comum encontrar, no mercado de consumo, soluções de comunicação *WAN*, de acesso a redes de informação como a *Internet*, a velocidades de *downstream* próximas de 1MB/s<sup>25</sup>, suficiente para a transmissão satisfatória de informação em multimédia digital.

Assim, com tecnologia acessível e relativamente económica preparada para a transferência rápida da informação, é tão já possível assistir a uma sessão de formação à distância, tanto com o auxílio de equipamento para videoconferência (modo síncrono), bem como instruir e/ou treinar através da *Internet*, acedendo à informação localizada num servidor ligado à rede em qualquer parte do Globo, e descarregando-a para um computador local, utilizando, por exemplo, um *browser* com controlos *ActiveX*. É o chamado *Web-Based Training* (WBT), também designado por *eLearning*, uma forma de ensino não-presencial. É, também, possível associá-lo à simulação – o chamado “*simulation-based eLearning*” – de forma a explorar com eficácia os recursos cibernáuticos, numa prática que não somente baseada em visualização de páginas. No EAD, os formandos podem, no modo assíncrono, ditar o seu próprio ritmo de aprendizagem de acordo com as suas capacidades e/ou disponibilidade.

Esta prática tem, em certos casos, vantagens tanto para os centros de formação como para os formandos, poupando tempo de formação e dinheiro, a ambas as partes. Também é possível associar os benefícios do *WBT* com o *CMI*, já abordado nos pontos anteriores deste Capítulo, de forma a que seja possível controlar, à distância, o progresso pedagógico de cada formando.

---

<sup>25</sup> 1MB/s ou 8Mb/s // 1 Byte = 8 bits

### 2.5.3 Simuladores de Sistemas para PC

Para culminar a descrição de sistemas *PC* aplicados à formação aeronáutica, nomeadamente a pilotos de avião, resta referir os simuladores de sistemas para *PC*. Também inseridos no conceito de *Simulation-Based Training (SBT)*, são programas de *software* que simulam o funcionamento de diversos sistemas de uma determinada aeronave: electricidade, hidráulicos, motores, combustível, comunicações, sistemas de *backup* e de emergência, etc.

Os simuladores de sistemas podem servir eficazmente, ora como uma ferramenta de auxílio ao instrutor, na sala de aula com ligação a projector *datashow*, ora como um complemento, ao nível do treino, dos programas para *CBI*. São programas interactivos que fazem uso exclusivo da simulação para treinar procedimentos *standard* e de emergência, poupando horas nos dispositivos e simuladores mais dispendiosos. São outro exemplo da utilização eficaz das TI para *PC* na formação aeronáutica. Estudos comprovam, aliás, que a utilização da simulação em harmonia com o *CBI* aumenta a eficácia do treino [Sand e Karp (1999)].



Figura 26 – PC com *software* de simulação de sistemas. Na imagem, o *overhead panel* do Airbus A320.

Na fronteira entre as TI para *PC* e os dispositivos de média-robustez baseados em tecnologia *PC* ou extra-*PC*, estão os *Integrated Procedures Trainers™ (IPTs)* da CAE. São equipamentos compostos, basicamente, por ecrãs sensíveis ao tacto (“*touchscreen*”) dispostos de forma a representar os sistemas de um *cockpit* de uma aeronave. Através da imagem, é assim possível controlá-los pela digitação e/ou pelo *mouse*, com custos muito reduzidos, apanágio das TI para *PC*. Estão, pois, desenhados para o treino de procedimentos, e custam uma fracção do preço dos simuladores *FFS* ou de equipamentos fisicamente mais complexos.



Figura 27 – *Integrated Procedures Trainer™* – simulação digital de sistemas de *cockpit* de um *Airbus A320*.

#### 2.5.4 Simulação de cenários geográficos

Uma vertente com grandes potencialidades é a dos cenários geográficos sintéticos. A modelação de cenários com possibilidade de visualização 3D e animação pode ter grandes benefícios para a formação de pessoal aeronáutico, nomeadamente pilotos e pessoal aeroportuário. No Capítulo 4 será apresentado, para o Estudo de Caso, um exemplo de aplicação de cenários geográficos sintéticos na formação aeronáutica real.

### **3. A eficácia das TI para PC e a aplicação tecnológica nos processos de aprendizagem**

Feita a descrição dos sistemas e da parte tecnológica, segue-se a descrição detalhada do problema e a análise da aplicação prática das TI nos centros de formação aeronáutica, mas não sem antes introduzir alguns fundamentos teóricos do processo de aprendizagem e a sua relação com as TI.

#### **3.1 Fundamentos do Processo de Aprendizagem**

Em termos pedagógicos, a utilização das TI na aprendizagem tem, pelo menos, duas finalidades maiores. Do lado do aluno, visa a absorção de conhecimentos de forma mais célere, clara e dinâmica, através da estimulação do seu interesse e aumento da atenção durante o processo cognitivo; a consequência directa é um aumento da eficácia da cognição. Do lado do docente, tende a auxiliá-lo na transmissão dos conhecimentos aos sujeitos cognoscitivos, ou seja, aos discentes. As TI, consoante a aplicação e o molde pedagógico em que são elaboradas, com mais ou menos interactividade, podem, do lado do aluno, ampliar a absorção de conhecimentos.

Para Jean Piaget [1980], a interacção com alguma parte da realidade desencadeia um processo de assimilação. Lev Vygotsky defende, também, que a introdução e utilização de instrumentos "activa toda uma série de novas funções ligadas ao uso e controlo dos instrumentos seleccionados" [Vygotsky 1985]. Este autor defende a ideia da construção do conhecimento como uma interacção mediada por várias relações, incluindo os objectos ou sistemas que envolvem o indivíduo, sujeito cognoscitivo, e a intervenção e estímulo humanos nos processos de aprendizagem.

O papel das TI, nessa abordagem, e em relação à aplicação da matéria de estudo da presente Dissertação, é o de estimular o sujeito absorvente da informação. Os instrumentos e as partes da realidade referidos pelos autores podem ser materializados em modelos físicos ou, até, virtuais, com base nas TI. Um simulador de voo, composto por um modelo matemático e um modelo físico (simulação mista, quanto ao modelo), interactivo com o sujeito cognoscitivo (simulação *human-in-the-loop*, interactiva, quanto à intervenção humana), desencadeia um processo de assimilação cognitivo. Outros dispositivos de treino artificial e determinado

género de *software* para *CBI*, igualmente interactivo, em que está prevista a participação do indivíduo, também se enquadra nesta concepção.

Ao nível da intervenção do docente no processo de aprendizagem, a abordagem sobre a qual a Dissertação incide é a do ensino presencial. Actualmente, existem programas bem elaborados pedagogicamente que, por si só, permitem a apreensão correcta de conhecimentos. Porém, essa vertente não será aqui aprofundada. Sem embargo, e tal como foi sugerido pelos doutrinadores pedagógicos referidos, o ensino presencial não impede que o discente tenha parte activa no seu próprio processo de aprendizagem.

Outro conceito a relevar prende-se com a adaptação das matérias pedagógicas, seja unicamente através do docente ou fazendo uso de *software* e sistemas tecnológicos, aos ritmos de aprendizagem de cada indivíduo, que são, naturalmente, diferentes.

Na clássica perspectiva conducionista, o processo de ensino depende, essencialmente, do docente. Os conteúdos pedagógicos são por ele transmitidos aos indivíduos; os indivíduos, encarados de forma passiva, respondem ao estímulo que lhes foi dirigido; o docente analisa as respostas dadas e limita-se a fornecer informação referente aos resultados atingidos. Os indivíduos são, pois, meros receptáculos de informação, não se tendo em consideração os ritmos de aprendizagem, ou conhecimentos prévios.

Na perspectiva construtivista, o ensino baseia-se nos alunos. Estes são participantes activos. Eles modificam o processo de aprendizagem, adaptando-o ao seu ritmo. A aprendizagem varia consoante as estruturas cognitivas dos alunos por eles definidas. O professor actua como um mediador entre os conteúdos e os alunos.

### **3.2 A importância do *software* educativo na aprendizagem**

Fazendo jus à perspectiva construtivista da teoria de aprendizagem, as tecnologias de hoje permitem uma concepção do ensino de uma forma mais estimulante, através de instrumentos específicos que colocam os alunos no centro do processo de aprendizagem. O *software* construtivista pode ser aplicado em simulações de realidade virtual, nas quais alunos exercitam suas capacidades cognitivas em termos construtivos, detendo algum controlo sobre o funcionamento do programa, e construindo, assim, um modelo cognoscitivo próprio, ao seu

ritmo. A aprendizagem tende a ser mais eficaz quando o utilizador final participa, controla a execução e escolhe os passos no processo de aprendizagem [McAleese, 1994]; ou seja, define o seu próprio ritmo, constrói o seu processo de aprendizagem individual.

Recursos como a multimédia ou a realidade virtual podem oferecer flexibilidade, personalização e qualidade no ensino [Casas, 1996]. O *software* educativo faz, pois, uso destes e doutros benefícios e vantagens oferecidos pelas TI face aos métodos tradicionais não dinâmicos baseados no papel físico – o livro – ou em projecções de parede convencionais.

O ensino assistido por computador (EAC)<sup>26</sup> tem vantagens comprovadas em relação ao ensino tradicional. A vantagem final principal reside no aumento do ritmo de aprendizagem. O estudo de Capper & Copple [1985] mostra que a utilização de computadores no ensino pode acelerar até 40% a aprendizagem em comparação com a forma convencional de instrução direccionada para o professor-pessoa. Refiram-se algumas das características dos *PC*, que podem resultar em vantagens directas da sua utilização, e levar à motivação e ao referido aumento subsequente da velocidade de aprendizagem:

- Ensino individualizado / adaptativo;
- Controlo do utilizador sobre o processo de aprendizagem;
- Componente interactiva / lúdica;
- Objectividade / imparcialidade;
- Rigor / ausência de erros.

Diversas empresas têm apostado em *software* para *CBI* para auxiliar a formação de indivíduos, sobretudo em áreas técnicas, incluindo a aeronáutica, como é o caso da *Airbus* com os seus programas tradicionalmente denominados “*VACBI*”, muito utilizados pelos centros de formação, nomeadamente para qualificação em Tipo de aeronave.

### 3.3 Jogos de Computador

Tradicionalmente, os jogos de computador não são encarados como programas de *software* educativo, embora tenham algum potencial pedagógico, sobretudo os de última geração. Esse

---

<sup>26</sup> O mesmo que *Computer-Assisted Instruction (CAI)*.

potencial nem sempre é explorado pelas entidades que leccionam, seja na escola, na universidade ou em qualquer centro de formação.

A aplicação dos jogos de computador nos processos de aprendizagem, e como complemento do *software* educacional, pode melhorar a aprendizagem, estimulando as capacidades cognitivas dos indivíduos na formação. O jogo é uma actividade agradável e não dirigida intencionalmente para uma qualquer vertente específica, contrária, pois, aos programas educacionais e ao ensino tradicional em geral. Tem, segundo Tânia Fortuna [2000], o efeito de atrair os indivíduos, transmitindo-lhes os conteúdos sem que eles se apercebam. É, de certa forma, um processo involuntário de absorção de conhecimentos através de uma actividade lúdica. Por si só, o jogo exercita a função representativa da cognição como um todo, e brincar desenvolve a criatividade e a imaginação. Para Crawford [1982], os indivíduos não jogam somente por prazer, mas também pelo desejo inconsciente de aprender.

O Departamento da Defesa norte-americano tem encarado a utilização de jogos *PC* como “ferramentas de treino” [Pike, 2001]. O *US Army* tem, mesmo, apostado na utilização da vertente lúdica para estimular a retenção da memória nos seus soldados, como treino prévio à passagem ao treino em terreno físico. Brent Smith [2005], da *Engineering & Computer Simulations Inc. (ECS)*, reconhece as potencialidades da tecnologia actual em matéria de jogos de computador, referindo que o estado-da-arte ultrapassa, mesmo, as aplicações profissionais de *Modeling & Simulation (M&S)*.

Divertindo, os jogos podem, pois, estimular a memória e amplificar a apreensão dos conceitos e das aptidões inclusos. Os jogos de computador podem, também, ser desenvolvidos e explorados nas suas potencialidades como complemento do *CBI*.

### **3.3.1 Jogos de simulação e “realidade virtual”**

Existe uma grande quantidade de géneros diferentes de jogos de computador. Um deles é a simulação. Um jogo de simulação de avião (ou de automóvel) pode, consoante o grau de desenvolvimento e aplicação, empiricamente, conferir determinadas habilidades / perícia e a apreensão de conhecimentos importantes. Existem produtos comerciais que, embora sendo vendidos na categoria de “*software* lúdico”, têm características pedagógicas embutidas.

O aperfeiçoamento do *hardware* possibilitara o desenvolvimento de aplicações de *software* baseadas em ambientes tridimensionais. Em meados da década de 90, *chips* de processamento gráfico de elevada performance começaram a surgir em quantidades nunca antes vistas, levando a “guerra dos *chips*” de *CPU* – bipolarizada então entre *Intel* e *AMD* – para o departamento gráfico. Nomes como *Nvidia* ou *ATI*, entre muitos outros que entretanto ficaram pelo caminho, passaram a ser sinónimos de visuais de alta performance.

Um ambiente tridimensional sintético em *PC* pode conter várias centenas de milhar de polígonos. Para lidar com tanta informação gráfica, as placas gráficas começaram a incluir *GPUs*<sup>27</sup> que calculam as transformações e a iluminação geométricas, reduzindo a carga do *CPU* principal. Também as bases de dados visuais associadas às aplicações 3D foram sendo optimizadas com vista a reduzir a carga de processamento necessário para as correr. Esta arquitectura baseada em *GPU* marcou de forma profunda e indelével o caminho a seguir dos jogos para *PC*, abrindo novas portas aos criadores de *software* e estimulando a Indústria. O caminho do desenvolvimento e produção de *software* lúdico acompanhou e impulsionou, até, a evolução rápida do *hardware*.

A criação de ambientes virtuais tridimensionais eficazes trouxe um vocábulo novo aparentemente contraditório: a “realidade virtual”. A ideia subjacente a este conceito consiste na representação de um ambiente que se assemelha à realidade física mas que não passa de uma representação tendencialmente imersiva mais ou menos bem conseguida. A imagem tem um papel fundamental na criação de ambientes de “realidade virtual”.

A “realidade virtual” está ligada ao conceito atávico da simulação de voo, e aplica-se não só a esta actividade como também, por exemplo, a visitas guiadas interactivas a museus virtuais, no *design* industrial e na apresentação de modelos, na exploração de petróleo, na Medicina – incluindo em tratamentos clínicos do foro psicológico. A indústria cinematográfica faz uso abundante da simulação – o filme *Gladiator* incluía um modelo virtual da Roma Antiga. Há, inclusivamente, gabinetes de arquitectura que fazem os seus modelos em editores gráficos adaptados de jogos de simulação para *PC*, pela sua versatilidade, de forma a que os clientes possam “entrar” virtualmente nesses edifícios, quais modelos virtuais, como num jogo de computador.

---

<sup>27</sup> *Geometry-Processing Unit*.

“It is now possible to run astoundingly realistic simulations on computers that cost only a few hundred dollars.” [Kelly<sup>28</sup>, 2003].

O *Flight Simulator 2004*<sup>TM</sup> da empresa *Microsoft*, o *Need For Speed - Porsche 2000*<sup>TM</sup> da *Electronic Arts*, o *Colin McRae Rally 2005*<sup>TM</sup> da *Codemasters*, ou mesmo o avançado simulador de condução *Gran Turismo 4*<sup>TM</sup> para a *PlayStation 2*<sup>TM</sup> da *Sony*, são exemplos de destaque, de jogos de simulação que se podem inserir neste enfoque pedagógico. Incluem modelos matemáticos dinâmicos relativamente realistas e apresentam ambientes virtuais nos quais o jogador está inserido e é parte activa dessa realidade simulada, ou simulação.

Juntando a componente lúdica ao carácter sistemático do processo de aprendizagem, e consoante o objectivo e a fidelidade representativa de cada aplicação, o jogo de computador pode apresentar-se, ora como complemento lúdico e/ou educativo, ora fazendo parte integrante desse processo. Nesta última situação, normalmente, é necessária ou, no mínimo, recomendável uma adaptação paramétrica do conteúdo aos objectivos de cada aplicação.

Tal como foi enunciado no capítulo da Introdução, são estas potencialidades contidas no *software* educativo e no *software* lúdico para *PC* – incluindo os referidos jogos de simulação e de realidade virtual – que se tentará demonstrar no Capítulo 4, com a experiência do Estudo de Caso.

---

<sup>28</sup> Henry Kelly, PhD, é *Presidente da Federation of American Scientists* (<http://www.fas.org/>).

### **3.4 Anatomia de um curso de pilotagem – enquadramento legal**

Aproximemo-nos, agora, um pouco mais da área ligada à pilotagem de aeronaves e à formação de pilotos propriamente dita.

Não há um só curso para pilotos de aeronave. Tal como surge nas categorias de carta de condução para veículos terrestres, também os cursos de pilotagem aérea se destinam a categorias diferentes, consoante a experiência do piloto, as características da aeronave e o tipo de transporte. Essas especificações são, pois, averbadas na Licença, ou *brevet*, do piloto. Toda a formação é dada pelas Organizações de Formação Aeronáutica (OFA).

As OFA são centros de formação que se dividem em dois ramos: Organizações de Formação de Voo (*Flight Training Organization, FTOs*), vulgo escolas de aviação; Organizações de Formação de Qualificações de Tipo (*Type-Rating Training Organizations, TRTOs*).

Nos parágrafos seguintes, far-se-á uma breve introdução aos principais cursos de pilotagem e categorias, definidos pela europeia JAA, procurando encontrar-se rastros de potenciais aplicações de TI nesses cursos.

#### **3.4.1 O curso para a Licença de PPA (PPL-A)**

Não contando com a Licença de pilotagem de aeronaves ultraligeiras, a Licença de Piloto Particular de Avião (PPA) é o “*entry-level*” no licenciamento de pilotos de avião, a porta de entrada para qualquer aspirante a piloto-aviador. À exceção de alguns cursos integrados, todos os pilotos da aviação comercial têm de passar por este primeiro patamar de formação.

O plano<sup>29</sup> do curso, previsto pela autoridade aeronáutica europeia da aviação civil, – a JAA – inclui uma base teórica onde são leccionadas diversas matérias, desde legislação aérea ao voo propriamente dito, passando pelas considerações técnicas das componentes da aeronave e da meteorologia.

---

<sup>29</sup> JAR-FCL 1.125 (Section 1); AMC FCL 1.125 (Section 2).

A componente prática pressupõe um mínimo de 45 horas de voo<sup>30</sup> completadas antes do exame, ou *skill-test*. A única referência que é feita às TI como recurso pedagógico reside na autorização de um máximo de 5 horas de voo sintético em simulador – mais precisamente, em um *FNPT* ou um *FS* – do total mínimo de horas referido. Ou seja, somente 11% do tempo de experiência de voo pode ser oficialmente contabilizada, e, não obstante, o voo sintético só pode ser realizado nos referidos dispositivos-de-treino-sintético devidamente aprovados que, como foi abordado no Capítulo anterior, não são propriamente TI para *PC*, mas antes dispositivos de simulação fisicamente robustos e dispendiosos.

Em contraste, como foi dito, a norte-americana *FAA* prevê, já, a utilização de *PCATDs* num máximo de **2,5 horas**. Estes dispositivos de simulação de voo inserem-se no patamar das TI para *PC* e são, por conseguinte, mais viáveis do ponto de vista financeiro.

### 3.4.2 O curso para a Licença de PCA (*CPL-A*)

A Licença de Piloto Comercial de Avião (*PCA*) pode ser obtida de duas formas: como módulo separado (para os pilotos possuidores de *PPA*), ou como curso integrado que inclui a formação inicial ministrada no curso para a primeira Licença já referida. Nos dois casos, a experiência mínima exigida para ir a exame prático é de 200 e 150 horas, respectivamente. No curso para *PCA* está prevista a utilização das TI nas seguintes fases:

- Parte teórica do curso, que inclui: «*inter-active video, slide/tape presentation, (...) computer based training, and other media as approved by the Authority, in suitable proportions. Approved distance learning (...) courses may also be offered as part of the course at the discretion of the Authority.*»<sup>31</sup>;
- Na parte prática, de instrução de voo-por-instrumentos: 5 horas em *FNPT* (de nível I ou II) ou em *FS*, de um total de 10 horas, para os cursos modular e integrado; e 25 horas em *FNPT* (I) ou 40 horas em *FNPT* (II) ou em *FS*, de um total de 50 horas de instrução, no caso do curso modular com qualificação de voo-por-instrumentos;

---

<sup>30</sup> Para a Classe monomotor; para multimotores, o valor é de 70 horas (v. *JAR-FCL* 1.255 e 1.260).

<sup>31</sup> “*Theoretical knowledge*”, *Appendix 1 to JAR-FCL* 1.160 & 1.165(a)(3).

- No exame, ou *skill-test*, parágrafos “c” e “e” (IV) da “secção 2”, mais o total das secções “5” e “6” dos conteúdos do exame, e que incluem: manobras aéreas e voo por instrumentos (em número limitado), procedimentos anormais e de emergência, e simulação de voo assimétrico<sup>32</sup>.

### 3.4.3 O curso para a Licença de PLAA (ATPL-A)

A Licença de Piloto de Linha Aérea de Avião (PLAA) prevê a utilização dos mesmos meios mediáticos sugeridos no plano do curso para a Licença anterior, na sua componente teórica.

Quanto à parte prática, das 1500 horas de voo necessárias à passagem ao *skill-test*, 100 podem ser completadas em *FS*, das quais um máximo de 25 podem ser em *FNPT*.

No caso do curso integrado PLAA, está previsto: 25 horas de voo-por-instrumentos em *FNPT* (I) ou 40 horas em *FNPT* (II) ou em *FS*; 15 horas de cooperação em tripulação-múltipla, ou *Multi-Crew Co-operation (MCC)*, mediante a utilização de um *FNPT* (II).

### 3.4.4 Curso para qualificação em Tipo/Classe de avião (Type/Class-Rating)

Todas as aeronaves certificadas pela autoridade aeronáutica estão inseridas em um de dois grupos<sup>33</sup> maiores: Classes ou Tipos, e, como tal, requerem uma qualificação específica do piloto que as vai operar. Para obter uma qualificação de Classe ou de Tipo, exige-se que a instrução e treino prático sejam efectuados na respectiva Classe ou Tipo de aeronave.

Para os aviões terrestres (que não aquáticos), existem Classes monopiloto para: monomotor com motor de explosão (*Single-Engine Piston, SEP*); multi-motor com motor de explosão (*Multi-Engine Piston, MEP*); monomotor turbo-hélice, específicas para cada fabricante.

O outro grupo, Tipos, compreende as aeronaves, ou subgrupos de aeronaves de características idênticas, que requerem um curso de treino específico para o designado Tipo: monopiloto multi-motor turbo-hélice; monopiloto monomotor (de alta performance); monopiloto multi-

---

<sup>32</sup> “*Contents of the skill test for the issue of a CPL(A)*”, *Appendix 2 to JAR-FCL 1.170*.

<sup>33</sup> Veja-se a lista aprovada pela JAA das Classes e Tipos de aviões em *Appendix 1 to JAR-FCL 1.215 (Section 1)*.

motor turbo-jacto; multi-piloto (que compreende modelos específicos como, por exemplo, o *Boeing 747-400*, ou séries de modelos como a *Airbus A319-A320-A321*).

As condições para exame com qualificação em Classe de avião (multi-motores) são de 70 horas de experiência como Comandante, ou *Pilot-In-Command (PIC)*. Não há condições específicas para o exame com qualificação em Classe de avião monomotor, uma vez que esta está incluída na licença básica de PPA. Também não há qualquer referência ou regulamentação da *JAA*, específica, para a qualificação em Classe de avião no que toca à utilização de *STDs*, nem para o treino nem para o exame, uma vez que estas qualificações são geralmente efectuadas em concomitância com as outras Licenças.

As mesmas 70 horas são exigidas para a qualificação em Tipo de avião (monopiloto). Para multi-piloto, exige-se 100 horas de voo como *PIC*, uma qualificação em Voo-por-Instrumentos (*Instrument Rating, IR*) multimotor, e uma Certificação em Cooperação em Tripulação Múltipla (*Multi-Crew Co-operation, MCC*). A validade da qualificação é 6 meses.

Os conteúdos do treino/exame/verificação<sup>34</sup> especificam a utilização de *STDs*, nomeadamente *FTDs* e *FS*, como substituição da aeronave real, para a simulação de operações normais e de emergência, incluindo situações de voo de elevado risco, proibidas de realizar intencionalmente em voo real.

Uma vez mais, não é feita referência a qualquer género de dispositivo de treino artificial para *PC* (*PCATDs*, simuladores *PC* ou outro dispositivo afim), para a parte prática do curso.

Nos requisitos<sup>35</sup> para aprovação dos cursos de *Type-Rating* das *TRTOs*, é recomendada a utilização de dispositivos de treino (*FTDs* ou outros), para uma correcta compreensão das matérias de índole técnica (instrução teórica), sendo que, no caso da sua não-existência, deverá fazer-se o uso mais dispendioso de um *FS* ou de uma aeronave real. Os dispositivos de treino devem proporcionar “*realistic cockpit working environment*”<sup>36</sup>.

---

<sup>34</sup> *Appendix 2 to JAR-FCL 1.240 & 1.295.*

<sup>35</sup> “*Guidelines for Approval of an Aeroplane Type Rating Course*”, *AMC FCL 1.262(c)(2)* (Section 2).

<sup>36</sup> *Ibidem.*

A utilização de TI para PC só surge referida nos seguintes termos: “computadores”, como equipamento das salas de instrução, para explanação apropriada das matérias e demonstração da complexidade do avião relativo ao Tipo em questão; programas “*Computer Based Training*” (CBT) como “*training tool*”, sempre sob a supervisão de um instrutor qualificado.

#### **3.4.4.1 Zero Flight Time Training (ZFTT)**

Atrás, no Capítulo 2, no ponto sobre os Simuladores de Voo, foi referida a possibilidade de serem efectuados o treino, o exame e as verificações de proficiência, num FS de “*Level-D*”, de forma integral, ou seja, sem que o instruendo/examinando alguma vez tenha entrado na aeronave real em causa.

O chamado ZFTT está previsto e devidamente regulamentado pela autoridade<sup>37</sup>. Para que tal seja possível, o simulador de voo utilizado tem de ser do mesmo Tipo de aeronave da qualificação; deverá o simulador estar totalmente operacional durante o ZFTT; tem, ainda, de estar devidamente certificado e ter a sua certificação anual válida.

Os requisitos mínimos de um piloto, para o ZFTT, são: 1500 horas de voo num Tipo de avião relevante<sup>38</sup>, se o simulador a utilizar no treino tiver certificação de “Nível-C”; ou 500 horas se o simulador for de “Nível-D”.

#### **3.4.4.2 O modelo GECAT™: o standard em Type-Rating**

A GECAT, departamento de treino da empresa *General Electric – Capital Aviation Training*, utiliza um modelo *standard* actual de formação em qualificação de Tipo para aeronaves da série *Airbus A320*, aprovado pela JAA. O curso tem a duração de 23 dias úteis: 13 dias de “*ground school*”, incluindo 32 horas de CBT<sup>39</sup>, 9 horas em FTD, 9 horas em FMGS Trainer e 2 horas em FBS, e um exame final teórico de perguntas em PC e em papel; 10 dias de sessões

---

<sup>37</sup> “*Approval of Aeroplane Zero Flight Time Type Rating Training Courses*” Appendix 1 to JAR-FCL 1.261(c)(2)

<sup>38</sup> Considera-se relevante um avião turbo-jacto de transporte com mínimo de peso máximo à decolagem (MTOW) de 10 toneladas ou de configuração mínima para 20 passageiros. [Appendix 1 to JAR-FCL 1.261(c)(2)]

<sup>39</sup> *Computer-Based Training*. O mesmo que *Computer-Based Instruction* ou CBI.



Este conceito inovador visa explorar algumas das capacidades dos sistemas para *PC* – nomeadamente ao nível dos ambientes virtuais 3D – aplicados à formação aeronáutica. Assim, as TI para *PC* estão presentes desde o “*entry-level*” até à passagem aos *FTDs* e *FSs*, sistemas fisicamente robustos.



Figura 29 – CAE Simfinity™: esquema do processo de aprendizagem em *Type-Rating* para A320, da CAE.

### 3.4.5 A qualificação em voo-por-instrumentos (*IR-A*)

A qualificação em voo-por-instrumentos (*Instrument Rating, IR*) qualifica o piloto para o voo em condições *IFR*, situações de voo de visibilidade reduzida em que não são utilizadas referências visuais. Nestas condições, é imperativo a utilização dos instrumentos de navegação para orientação e pilotagem correcta da aeronave. Como foi abordado, o treino de navegação por instrumentos é uma das vertentes de aplicação dos dispositivos-de-treino-sintético mais utilizadas, incluindo simuladores para *PC*. Está visto que nos países aderentes à *JAA* os simuladores de voo para *PC* não têm uma grande aplicação em situações de treino oficial de voo, uma vez que aquela autoridade não certifica este tipo de dispositivos para treino. Não obstante, nos EUA, a *FAA* apoia e prevê a certificação de *PCATDs* para o treino de voo-por-instrumentos até um máximo de **10 horas**.

A qualificação em voo-por-instrumentos tem duas vertentes –monomotores e multi-motores – e prevê a utilização de simuladores de voo certificados para o treino, exame e verificações de

proficiência (*Instrument Proficiency Check*, ou *IPC*). A validade do certificado é de 1 ano. Os requisitos mínimos comportam uma licença PPA com qualificação em voo noturno, ou uma licença PCA, e 50 horas de voo “*cross-country*” como *PIC*. O curso para monomotores deverá incluir 50 horas de voo-por-instrumentos, das quais 20 podem ser realizadas em *FNPT* (I) ou 35 em *FNPT* (II); o curso para multi-motores deverá comportar 55 horas no total, das quais 25 são passíveis de serem realizadas em *FNPT* (I) ou 40 em *FNPT* (II).

Para além do treino de instrução, também partes do *skill-test* (exame) e da *proficiency check* (verificação de proficiência) podem (e devem) ser realizados em simulador de voo (*FS* e *FNPT* II), por questões de segurança. Compreendem: situações de falha de motor, aproximação e aterragem assimétricas e recuperação de perda em aproximação.

Sem embargo ao que foi apresentado, dir-se-á que parece evidente a afirmação de que não poderia haver referência a dispositivos para o treino ou para exame que não fossem reconhecidos e devidamente certificados pela autoridade aeronáutica em questão. Ora, como *STDs*, os *PCs* e as TI para *PC* não têm qualquer espécie de qualificação prevista nem são certificados pelas autoridades dos países aderentes à *JAA*. Só para a instrução teórica lhes é reconhecida alguma viabilidade, como se viu. Diferentemente, a norte-americana *FAA* certifica *PCATDs*, sistemas de simulação para *PC*, para 10 horas em voo-por-instrumentos, metade do tempo mínimo que a europeia certifica para *FNPT* (nível I).

Imbuídos no imarcescível avanço tecnológico, os dispositivos de treino artificial para *PC* têm evoluído e continuam consideravelmente a marcar pontos. Vistos desta perspectiva, dir-se-á que a tendência para o futuro será, pois, a de uma crescente aceitação destes e de outros dispositivos/sistemas para *PC*, se não para exame/verificação, pelo menos para o treino de voo-por-instrumentos.

### **3.5 Aplicação dos simuladores de voo e TI para PC no ensino da aviação: exemplos de referência**

Feita a descrição das TI relevantes para o presente estudo, e a análise à moldura legal da sua aplicação, para encerrar este Capítulo, resta verificar a aplicação das mesmas nos centros de formação aeronáutica, a nível nacional e *worldwide*. Mais uma vez, fazendo jus à área de estudo da Dissertação, incidirei com principal destaque a análise nas TI para PC, e, dentro desta, nos simuladores para PC.

#### **3.5.1 A nível mundial**

Começarei por verificar o que se passa “lá fora”, para, depois, comparar com o que é seguido “cá dentro”.

Um estudo realizado pela *Embry-Riddle Aeronautical University* [Wiggins, 2002] sobre a utilização de dispositivos de treino artificial (*STDs*) em universidades e escolas de aviação concluiu que um grande número de instituições fazem uso de programas de computador *COTS*, disponíveis ao grande público, sem que lhes seja reconhecidas horas de voo sintético como substituição de horas de voo real. Foram declarados, no total, 704 *STDs*; destes, 381 são *FTDs*, 224 *PCATDs* e 99 “*OTA*”<sup>40</sup>, nomeadamente simuladores PC. Dentro deste último grupo, o jogo de simulação *Microsoft Flight Simulator*<sup>TM</sup> é o mais utilizado.

No estudo supra referido, é feita a consideração de que (pelo menos nos EUA) os centros de formação começaram a utilizar os *PCATDs* – após a autoridade norte-americana *FAA* os ter aprovado – em conjunto com simuladores PC simples, considerados “jogos”, e reconhece que, não obstante essa alusão a *software* lúdico, esses simuladores *COTS* podem ser utilizados informalmente com eficácia para treino de voo. Para mais, o número de dispositivos utilizados é bastante elucidativo quanto à adesão por parte dos centros de formação deste género de simuladores de baixo-custo.

---

<sup>40</sup> “*Other Training Aids*”.

### 3.5.1.1 US-Navy

O exemplo mais marcante de utilização oficial de simuladores *PC* na formação aeronáutica, nomeadamente piloto-aviadores, é, provavelmente, o da *US-Navy*. Os *Naval Reserve Officer Training Courses* incluem nos currículos a utilização de plataformas *PC* complementadas com *software COTS* para o treino do pessoal aviador. O *software* de simulação é o *Flight Simulator™* da empresa *Microsoft*.

O simulador de voo está adaptado, através de um “*add-on*” ao pacote comercial (aeronave + cenário), desenhado para o efeito, à prática de voo da *US-Navy*. Assim, a configuração do sistema simula o *T-34C*, aeronave utilizada para o treino de voo real. Os cenários sintéticos de terreno estão desenhados em adaptação às bases reais: Corpus Christi (Texas), Pensacola (Florida). Como dispositivos periféricos de *PC*, são adicionados, basicamente, pedais para simulação de voo e *flight yokes*, para controlo.

A utilização deste género de TI para *PC* passou a ser um *standard*, parte integrante do ensino da aviação leccionado pela entidade militar norte-americana. Integra-se no processo de aprendizagem numa fase anterior à passagem à aeronave real congénere, e serve para os formandos apreenderem algumas noções de voo e praticarem procedimentos básicos, através de um ambiente sintético virtual em *PC*, ou simulação. Segundo a *US-Navy*, o treino inicial de voo em plataformas de simulação *PC* proporciona resultados positivos concretos, obtendo-se melhores resultados do que sem esse treino. Verifica-se, ainda, uma grande aceitação e familiaridade, por parte dos cadetes, para com o jogo de simulação de *PC*.



Figura 30 – *US-Navy*: utilização de plataformas *PC* de simulação (*software MSFS™*), *COTS*, nos cursos de formação em pilotagem de aeronaves; à direita, o painel da aeronave de treino *T-34C*.

### 3.5.1.2 *Aerospace Industry Training Centre, Kangan Batman TAFE*

Tal como no exemplo anterior da militar *US-Navy*, também o curso civil de pilotagem do centro de formação aeronáutica australiano, *Kangan Batman TAFE (Tertiary And Further Education)*, faz uso de simuladores *PC*. Mais uma vez, o *Flight Simulator™* da *Microsoft corp.*, *software* lúdico, é utilizado num estágio intermediário do processo de aprendizagem do curso da Licença PPA, entre instrução teórica e prática de pilotagem real. Isto acontece de forma a que os instruendos tomem contacto com a aeronave, seus instrumentos e seu comportamento em voo, virtualmente, em ambiente de total segurança e com custos muito reduzidos ou quase nulos.

Em conjunto com o pacote original, é adicionado um “*add-on*” com o modelo da aeronave real utilizada no treino pelo centro de formação: o *Cessna 172*. Assim, foi feita uma parametrização do modelo de voo original de forma a alterar o comportamento da aeronave para níveis de realismo superiores aos do pacote original.



Figura 31 – Modelo de aeronave *C172* para o *MSFS* utilizado no curso de pilotagem.

### 3.5.2 A nível nacional

No âmbito da Dissertação, realizou-se um inquérito às Organizações de Treino de Voo (*FTO*) certificadas, vulgo escolas de aviação, em Portugal. Das seis que responderam, metade utilizam *software* para *CBI*; quatro delas ( $\frac{2}{3}$ ), simuladores de voo *PC* simples (não são utilizados *PCATDs*, pois não são certificados pelo *INAC/JAA*). Quanto aos manuais didáticos, só metade delas utiliza o formato digital. Não obstante, cinco em seis já utilizam projecções multimédia/“*datashow*”. As três que leccionam cursos para a Licença *PLAA*, utilizam simuladores certificados *FNPT*.

Uma das perguntas do questionário residia no interesse das escolas pelos simuladores de voo para *PC*. Das quatro que os utilizam, três mostraram interesse nestes dispositivos como auxiliar no treino de voo-por-instrumentos, para demonstração de situações; somente uma referiu interesse na utilização destes dispositivos numa perspectiva prática para assimilação de conhecimentos transmitidos na teoria, através de uma prática simulada, constando, no seu currículo de curso para Licença de PPA, 5 missões em simulador *PC*, à imagem da escola de pilotagem australiana referida na página anterior. Das quatro escolas que utilizam simuladores *PC*, metade utiliza o profissional *Jeppesen FlitePro*, vocacionado para o voo-por-instrumentos; as restantes duas, o *Microsoft Flight Simulator*, *software* lúdico.

Em suma, pode, pois, dizer-se que as *FTO* portuguesas já começaram a aderir à evolução tecnológica ao nível das TI para *PC*. Essa aderência tem-se verificado ao nível do *CBI*, das projecções multimédia/“*datashow*”, de manuais e outro *software* didáctico em formato digital. O facto de haver já uma *FTO* que prevê a passagem por simuladores *PC*, inclusive *software* de base lúdica e sem certificação que permita qualquer espécie de substituição de horas de voo real, indicia, por si só, uma percepção das qualidades pedagógicas implementadas em programas de *software* para *PC* deste género e da excelente relação custo/benefício como é apanágio das TI para *PC*.

### 3.5.2.1 Lic. Eng.<sup>a</sup> Aeronáutica (Universidade da Beira Interior)

A Licenciatura em Engenharia Aeronáutica, da responsabilidade do Departamento de Ciências Aeroespaciais, da Universidade da Beira Interior (Covilhã), inclui a disciplina de “Instrumentos e Sistemas de Aeronaves” (4º e 5º anos). Para melhor compreensão dos conteúdos, foi adquirido e instalado no Laboratório de Aviónica e Controlo um simulador de voo, mais especificamente, um *PCATD* com *software* da *Elite*. O dispositivo-de-voo-sintético em causa possibilita uma simulação do funcionamento dos principais instrumentos de uma aeronave. A visualização interactiva em tempo real amplifica esse processo cognitivo.



Figura 32 – *PCATD* do Laboratório de Aviónica e Controlo (UBI). Inclui posto de instrutor (à direita).

### 3.5.2.2 ANA – Aeroportos de Portugal

Já foi feita referência, atrás, à possibilidade de utilização de cenários geográficos sintéticos na formação. A ANA utiliza cenários desenhados para simulador de voo PC, nos cursos de formação de OPA. O programa de *software* lúdico, *Microsoft Flight Simulator™*, é usado para demonstrar partes específicas do aeroporto de Ponta Delgada, através da visualização 3D. O objectivo não é a simulação do voo propriamente dito, mas antes a simulação de um determinado cenário geográfico desenhado para o efeito, num ambiente de realidade virtual.



Figura 33 – Aeroporto de Ponta Delgada desenhado para o *MSFS™*. Utilizado pela ANA nos cursos OPA

### 3.5.2.3 Força Aérea Portuguesa

No plano de análise nacional, também a vertente militar faz uso de TI na formação do seu pessoal aeronáutico.

Fazendo jus à relação de proximidade que mantém com as Oficinas Gerais de Material Aeronáutico (OGMA), a Força Aérea Portuguesa (FAP) adquiriu equipamentos para formação, desenvolvidos pelo Departamento de Engenharia de Desenvolvimento (DED), e integrou-os nos seus centros formativos.

#### AFA – Licenciatura em Piloto Aviador (PILAV)

A Academia da Força Aérea (AFA), sediada na BA-1 (Sintra) ministra diversos cursos superiores de formação aeronáutica. O Curso de Pilotagem Aeronáutica, na sua componente académica, tem uma estrutura repartida em 4 anos lectivos de formação essencialmente teórica, mais 1 ano correspondente ao tirocínio.

Os primeiros 2 anos têm uma vertente científica geral em comum com outras Licenciaturas como a *Engenharia de Aeronáutica*, onde se incluem cadeiras de Matemática, Física e Química, Ciências Sociais e Humanas, entre outras; o 3º ano envereda, já, por uma abordagem temática mais técnica, por cadeiras como a *Aerodinâmica* e a *Propulsão*.

Como material de suporte das aulas, são utilizados projectores *datashow* ligados a *PC*, através dos quais são mostradas aos alunos, inclusivamente, projecções de multimédia digital que incluem animações e vídeos. Este género de equipamento, já bastante divulgado actualmente pelos demais centros de formação académica superior do País, serve de suporte às aulas, ajudando o docente na explanação das matérias e na captação da atenção dos discentes e (também consequente) superior apreensão dos conteúdos por parte destes.

Durante a sua formação, os alunos da Licenciatura PILAV têm, para além da componente académica que engloba as vertentes científica, técnica, social e humanística – complementadas pela formação militar e física –, a Actividade Aérea Curricular (AAC) ministrada em aeronave *Chipmunk DHC-1*, o seu primeiro contacto real com aeronaves.

Finalmente, no 4º ano é incluída, no Plano Curricular, a cadeira de *Aviónica*. Destaca-se, aqui, a utilização de um sistema desenvolvido pelas OGMA chamado *SIMAVIO™ – CBT-Avionics + Flight Simulator*. Tal como o nome deixa antever, trata-se de um programa de *CBT* de treino destinado à aprendizagem da teoria e operação de sistemas de aviónicos militares e civis, ao qual está acoplado um simulador de voo.

O *SIMAVIO™* é um sistema multimédia (inclui: texto, gráficos, imagens, animações e vídeos), composto por 3 *PCs*: 1 para as apresentações do docente com ligação (*output*) a um projector *datashow*; outros 2 ligados em rede sobre o sistema operativo *Windows2000™* para avaliação e testes dos examinandos, e ainda para simulação dos sistemas previamente apresentados em projecção multimédia digital, através de um simulador de voo sintético.

Na vertente de simulação do *SIMAVIO™*, um *PC* funciona como posto do instrutor, no qual este controla, em "tempo real", a situação de voo, incluindo condições atmosféricas, visibilidade, sistemas e avarias; o outro mais não é do que um simulador de voo desenvolvido, não para o ensino da pilotagem, mas antes para a compreensão do funcionamento dos sistemas de *Aviónica* leccionados na cadeira com o mesmo nome.



**Figura 34 – SIMAVIO™: CBT + Simulador de Voo (PC) utilizado pela Academia da Força Aérea (Sintra)**

O simulador de voo tem o painel e modelo de voo baseados na aeronave *Aerospatiale TB-30 "Epsilon"*, aeronave essa que é utilizada, mais tarde, no 5º ano do curso PILAV, ou Tirocínio, para lições de voo real. O PC no qual é mostrado o simulador de voo tem, como dispositivos periféricos, um *joystick*, uma manete de potência e uns pedais para simular a acção horizontal dos lemes de direcção (*yaw*) e do trem de aterragem, para além de colunas de som e monitor para completar o sistema multimédia digital.

A utilização deste sistema nas aulas funciona da seguinte forma: os alunos sentam-se, em número não superior a 20 para não prejudicar a dinâmica da relação docente-aluno, e observam a lição com o auxílio do projector de parede; podem, de seguida, experimentar, uma simulação do funcionamento de um sistema apresentado na aula, como seja uma aproximação *ILS*<sup>41</sup> a uma pista de aterragem; aqui, o instrutor pode introduzir as condições que pretende para aquele voo; no final da lição, os alunos podem, também, rever a lição e realizar, individualmente, testes formativos; no final de cada unidade pedagógica, existe, ainda, um exame que põe à prova os conhecimentos adquiridos ao longo das aulas.

Este sistema de *CBT* funciona nos Modos "Livre" e "Monitorizado"; tem 4 Módulos principais: "Teórico", "Específico", "Prático" e "Exame". Tem, também, 2 Interfaces possíveis: "Planificador", que permite gerir os capítulos das diversas classes predefinidas que os alunos têm acesso, monitorizar as lições efectuadas e os resultados da componente de avaliação no final de cada lição, de acordo com a sua categoria técnica ou especialidade e capacidade de absorção dos conteúdos de aprendizagem, através de um programa de treino específico para cada aluno; o *Interface* "Investigador" permite, ainda, a parametrização e configuração da geometria da aeronave do simulador de voo, porventura mais interessante para disciplinas como a Aerodinâmica.

---

<sup>41</sup> *Instrument Landing System.*

Em suma, o *SIMAVIO*<sup>TM</sup>, como sistema *CBT*, serve os propósitos que presidiram à sua concepção. Tendo como alvo os cursos de Engenharia e de Pilotagem Aeronáutica, apresenta-se como um sistema dinâmico que se adapta aos diferentes ritmos de aprendizagem dos diferentes discentes, através de uma gestão global, e que tanto serve a explanação das matérias pedagógicas, precioso auxiliar do docente, como a componente de avaliação formativa e exame ou, até, a prática (sintética) através de um simulador de voo *PC* acoplado.

Findos os 4 anos da base teórica, segue-se o ano do Tirocínio (5º ano), em que os alunos da AFA se deslocam à BA-11 em Beja para integrarem a "Esquadra 101" de treino onde são submetidos a uma formação elementar em pilotagem nas aeronaves "*Epsilon*". Não obstante, antes ainda da passagem à aeronave real, os alunos candidatos a PILAV recebem um treino em simulador de voo "*full-size*", o *SEPS*<sup>TM</sup>, de cabine real, portanto, também desenvolvido pelas OGMA. Para a adaptação à aeronave (e ao próprio simulador), contribui o contacto prévio (do 4º ano) com o simulador incluído no programa de *CBT* já referido, *SIMAVIO*<sup>TM</sup>, uma vez que este simula digitalmente o painel de instrumentos e o modelo de voo daquela aeronave, dando ênfase à utilização de recursos pedagógicos directamente compatíveis entre si nas diversas fases do processo de aprendizagem, num sistema de unidades pedagógicas complementares.



**Figura 35 – *SEPS*<sup>TM</sup>: simulador “full-size” do “*Epsilon*” (sediado em Beja). Sistema fisicamente robusto.**

Após conclusão satisfatória do Tirocínio, os licenciandos finalistas passam a uma nova fase: a integração na "Esquadra 103 - Caracóis", designada de Esquadra de Instrução Complementar de Pilotagem de Aviões de Combate (EICPAC), para frequentarem o Curso de Pilotagem Complementar em Aviões a Reacção (CPCAR) com cerca de 70 horas de voo e após o qual obtêm as "Asas" de Piloto Aviador.

O lema da "Esquadra 103 - Caracóis" – "...se vai ao longe" – (que ministra actualmente 5 cursos) faz também juz a uma filosofia de aprendizagem lenta e dividida em etapas, que, aliás, é apanágio do curso em PILAV da FAP. Nesta nova fase, antes da passagem à aeronave real – neste caso, o *Dassault/Dornier "AlphaJet"* –, os alunos tomam contacto com o simulador de voo da aeronave na qual, mais tarde, irão ser "largados". Um simulador, também de cabine completa, de maior complexidade funcional do que a maior parte dos simuladores baseados em *PC*.

A adopção deste género de simuladores complexos "*full-size*" explica-se pela incapacidade de simulação em *PC* de determinados procedimentos mecânicos que só podem ser eficazmente efectuados numa cabine física. A instrução em simulador para o "*AlphaJet*" passou a estar integrada na estrutura dos cursos, desde 1993.

Os pilotos recém-licenciados podem, no seguimento do seu longo processo de formação, e de acordo com a sua vocação, robustez física, vontade própria e/ou necessidades logísticas superiores, continuar o percurso até ingressarem numa esquadra de combate – passando pelo Curso de Conversão de Pilotagem em Aviões de Combate (CCPAC) – ou mudarem a rota dos seus voos para as aeronaves com rotor.

Os pilotos que se destinam à integração na "Esquadra 201 - Falcões", de combate, são deslocados até à BA-5 em Monte Real para receberem formação na aeronave *Lockheed-Martin F-16 "Falcon"*. Lá, têm de assimilar uma grande quantidade de matéria teórica relativa a performances, sistemas, armas e voo. Em complemento da parte teórica, está a prática cuja primeira etapa é passada num simulador de cabine completa.

O simulador de *F-16* é composto por um posto instrutor onde são introduzidas as condições da aeronave e do voo, e onde é possível, também em tempo real, monitorizar o voo e, ainda, interagir exteriormente à aeronave em simulação (no caso de um "*dogfight*" simulado entre instrutor e instruendo); noutra sala que servira outrora para albergar a cabine do simulador do obsoleto *Vought A-7 "Corsair"*, encontra-se uma réplica do *cockpit* do *F-16*, de base fixa, com *canopy* móvel que permite ao piloto estar fechado e contactar através de equipamento de comunicação com o posto do instrutor na sala contígua. Em frente à cabine, está montada uma tela de concavidade onde é projectada a imagem do cenário através de 3 projectores.

Pela altura da visita ao simulador, somente um canal estava operacional (frontal) e com muito baixa qualidade gráfica; tratava-se de um problema gráfico cuja resolução exigia um investimento de grandes proporções se comparado com o reduzido custo e não inferior qualidade gráfica dos sistemas de imagem de computadores do género *PC*. Em todo o caso, nessa fase do processo de aprendizagem, de pouco serve a parte gráfica do simulador, uma vez que a sua missão principal limita-se a familiarizar o piloto-instruendo com a panóplia de botões, instrumentos e a treinar as operações de "*checklist*" da aeronave. Numa fase posterior do processo, o sistema serve para simular avarias e procedimentos de emergência que, naturalmente, não podem ser treinados em voo real.



**Figura 36 – Simulador robusto extra-PC da aeronave *F-16* (sediado na BA de Monte-Real).**

### ***CFMTFA – Centro de Formação Militar e Técnica da Força Aérea***

Localizado nas instalações da antiga Base Aérea n.º 2 da Ota, o Centro de Formação Militar e Técnica da Força Aérea (CFMTFA) tem, como missão, a formação militar, física, humanística, sócio-cultural, técnica e científica do pessoal especializado, ou Especialistas, da Força Aérea. Também este centro de formação está equipado com tecnologia e sistemas baseados em computadores de uso pessoal e faz uso dessa mais-valia para enriquecer e tornar os seus cursos tecnológicos mais eficazes.

Em 2004, o DED das OGMA entregou ao CFMTFA um simulador destinado ao apoio à formação de técnicos de manutenção e mecânicos de material aéreo na área de manutenção de sistemas de aviónicos de navegação e tiro. De seu nome *SIMIAV™*, ou *Simulador Integrado de Aviónicos™*, apresenta-se como um protótipo inédito neste género de sistema *CBT*, sendo um desenvolvimento de um conceito da *Lockheed-Martin*. O simulador é constituído por 3 postos: "Posto do Operador", "Posto de Manutenção" e "Posto do Instrutor".

O "Posto do Operador" é uma réplica semi-digital do *cockpit* da aeronave *F-16A* e inclui sistemas de aviónicos simulados. O facto de ser aquela aeronave simulada prende-se com a aposta da FAP na actualização, ou seja, embora os formandos que passam pelo *SIMIAV™* não se destinem necessariamente a técnicos de manutenção dessa aeronave específica, treinam, em todo o caso, num sistema actual que simula uma aeronave actual e operacional da FAP, podendo, mais tarde, vir a receber formação adicional naquela aeronave; é, mais uma vez, a questão das unidades pedagógicas complementares que é tida em conta, algo a que as tecnologias *PC* – pelo seu reduzido custo (e superior rapidez) de implementação, parametrização e actualização – estão à altura.

O *cockpit* replicado é baseado em ecrãs com tecnologia "touchscreen" nos quais são apresentados todos os sistemas visíveis do *cockpit* da aeronave. Um ecrã convencional TFT-LCD, na parte frontal, serve de "front-view" para o cenário sintético exterior, e de "Head-Up-Display" (*HUD*), por forma a possibilitar que sejam efectuados voos – embora o *SIMIAV™* não seja um simulador de voo por excelência nem se destine a treinar pilotos de *F-16*.

É, ainda, fisicamente composto por um "joystick" para controlo das superfícies móveis do aparelho simulado, de uma manete de controlo de potência do motor e de uns pedais de baixo preço, equipamento que se pode encontrar facilmente numa loja de material informático, a um preço não superior a 500€ (joystick + manete) e 100€ (pedais). Está bem patente o conceito de implementação simples e de baixo custo, apanágio do sistema *PC*.

Seguindo a filosofia de concepção dos sistemas da aeronave – "*LRU*" (*Load and Replace Unit*) – o "Posto de Manutenção" deste sistema *CBT* apresenta uma réplica das "*bays*" da aeronave projectadas em ecrã sensível "*SMART Board*", possibilitando uma interacção lógica e directa; ali, através de uma caneta de contacto, o aluno procede à tentativa de substituição da unidade avariada correcta previamente escolhida pelo instrutor no seu respectivo posto. Tem, ainda, a possibilidade de interagir com o "Posto do Operador". O "Posto do Instrutor" tem, como indicado, o objectivo de planeamento e controlo dos exercícios; lá, o instrutor comanda a selecção de avarias e as condições da aeronave, e também pode ter acesso a um *report* final impresso da prestação do aluno.



**Figura 37 – Simulador de Manutenção Integrada de Aviônicos™. Sistema robusto baseado em PC.**

O CFMTFA dispõe, ainda, de uma réplica do, já descrito, sistema CBT de nome SIMAVIO™, mas sem o módulo do simulador de voo que está instalado no sistema da AFA na BA-1 em Sintra. Destina-se a auxiliar a formação de pessoal técnico, nomeadamente *Mecânicos de Electricidade e Instrumentos de Avião* (MELIAV). Existe um posto do instrutor ligado a uma projecção “datashow”. Nos terminais de computador, os alunos podem, individualmente, fazer os seus testes de avaliação de conhecimentos. Utilizam, para o efeito, auscultadores, de forma a usufruírem da componente auditiva, parte integrante de um sistema multimédia completo.



**Figura 38 – Sistema CBT de auxílio aos cursos MELIAV.**

### ***ISFA/CMA – Secção de Treino Fisiológico (STF)***

Na *Secção de Treino Fisiológico* do *Centro de Medicina Aeronáutica*, ministra-se o treino fisiológico ao pessoal navegante e recolhem-se dados relativos ao factor humano. Para essa importante actividade, a FAP encomendou, mais uma vez às OGMA, um simulador de desorientação espacial. O GYROGMA™ é um sistema que faz uso de PCs para simulação. É, pois, um sistema PC robusto, composto por uma cabine construída em fibra de carbono e montada sobre uma plataforma móvel accionada por actuadores eléctricos.

Dentro da cabine, encontra-se um conjunto de *hardware* de controlo composto por *joystick*, manete de motor e pedais semelhante ao que está instalado no *SIMIAV™* na Ota. Uma armação de 3 ecrãs *TFT-LCD* permite uma visão de cenário sintético frontal e frente-lateral; noutro ecrã situado ao centro em baixo oferece a instrumentação disponível da aeronave simulada. Mais uma vez, o modelo de voo utilizado é o mesmo do *SIMAVIO™*: o do "*Epsilon*". Trata-se, portanto, de uma adaptação do Simulador do *CBT* da AFA, sem o módulo de instrução teórica de aviónicos. Também aqui, um aproveitamento e adaptação do sistema *PC* comum ao mesmo processo de aprendizagem mas repartido em fases diferentes.

O sistema de movimento do *GYROGMA™*, de 6 graus de liberdade, possibilita a simulação de situações de desorientação em voo. Com a particularidade de permitir o *yaw* completo ou rotação infinita para os dois lados, pode simular-se uma "entrada em perda" ("*stall*") e, pois, criar-se a sensação fisiológica de desorientação e enjoo em consequência da estimulação do aparelho vestibular. O objectivo é criar ilusões vestibulares, do sistema proprioceptivo e visuais. Ilusões visuais podem ser introduzidas à distância pelo instrutor que está no seu posto a monitorizar activa e passivamente o treino, podendo daí parametrizar a condição da aeronave e dos sistemas, condições atmosféricas, de iluminação de cenário e de visibilidade.



**Figura 39 – GYROGMA™: simulador de desorientação espacial baseado em arquitectura *PC*.**

Em suma, é possível compreender que a FAP, como instituição militar que dá formação, apostou nas "TI baseadas em *PC*", aproveitando as vantagens da sua utilização, incluindo o baixo custo, manutenção, parametrização, replicação e adaptação aos conteúdos pedagógicos e às variadas necessidades dos diversos processos de aprendizagem, adaptando-os em complementariedade com outros sistemas. Em alguns casos, "TI para *PC*", sistemas simples (como o *SIMAVIO™* / *CBT* Aviónicos); noutros casos, simplesmente "TI baseadas em *PC*", sistemas robustos (*SIMIAV™* e *GYROGMA™*).

Sem embargo, a FAP também não deixou, contudo, de fazer uso de sistemas extra-PC, de grande complexidade – como são exemplo disso os 3 simuladores "full-size" actualmente activos (do *Epsilon*, do *Alpha-Jet* e do *F-16*) – pelas razões apontadas, nomeadamente a incapacidade de simulação eficaz em PC de determinados procedimentos mecânicos.

Não obstante, tentou a FAP harmonizar a utilização dos simuladores extra-PC com as tecnologias disponíveis para (e baseadas em) PC, na perspectiva das unidades pedagógicas complementares. Observe-se, para comparação, a tabela seguinte que apresenta os diversos sistemas baseados em TI de géneros diferentes com as aeronaves simuladas e as entidades.

| <b>Sistema</b>       | <b>Entidade</b> | <b>Aeronave</b>  | <b>Género de sistema</b>          |
|----------------------|-----------------|------------------|-----------------------------------|
| <i>CBT-Aviónicos</i> | CFMTFA          | /                | <b>TI para PC</b> (sist. simples) |
| <i>SIMAVIO™</i>      | AFA             | <i>Epsilon</i>   | <b>TI para PC</b> (sist. simples) |
| <i>GYROGMA™</i>      | CMA             | <i>Epsilon</i>   | TI baseadas em PC (sist. robusto) |
| <i>SEPS™</i>         | Esq. 101        | <i>Epsilon</i>   | TI extra-PC (sist. robusto)       |
| <i>Sim Alpha-Jet</i> | Esq. 103        | <i>Alpha-Jet</i> | TI extra-PC (sist. robusto)       |
| <i>SIMIAV™</i>       | CFMTFA          | <i>F-16</i>      | TI baseadas em PC (sist. robusto) |
| <i>Sim F-16</i>      | Esq. 201        | <i>F-16</i>      | TI extra-PC (sist. robusto)       |

**Tabela 1 – Sistemas utilizados pela FAP comparados.**

### 3.6 Argumentos sobre a utilização específica das TI para PC

Já se mostrou em como as TI e a simulação – parte integrante das TI – podem ser uma mais-valia, em diversas actividades, no ensino e, em particular, na formação aeronáutica; na Indústria, uma valiosa ferramenta aceleradora de processos e resolutive de problemas; na Investigação, uma impulsionadora de conhecimento; pedagogicamente, um recurso estimulador e dinâmico ante as práticas rígidas e pouco adaptáveis do ensino tradicional.

Dentro do amplo mundo das TI, as TI para PC apresentam, por sua vez, vantagens em relação às TI extra-PC e, mesmo, aos dispositivos de média ou grande robustez baseados em PC. Para se evidenciar os argumentos em favor das TI para PC puras, perante equipamentos complexos e dispendiosos, seja na área da simulação ou em qualquer outro departamento tecnológico, torna-se necessário recuar aos princípios abordados no início do Capítulo Segundo, quando se definiram as características fundamentais de um computador de uso pessoal (PC). Neste sentido, identificam-se, de imediato, 4 características:

- **Custo** baixo;
- **Transporte** rápido;
- **Utilização** fácil;
- **Programação/parametrização** acessível.

Como foi abordado, do ponto de vista da formação aeronáutica, e fazendo jus às características-chave enunciadas, sem prejuízo das demais formas pedagógicas deste género, merece destaque preferencial, como TI para PC, a simulação. Com baixos custos, a simulação PC oferece grande versatilidade ao nível do transporte, facilidade de utilização, acessibilidade de parametrização de condições, incluindo a interrupção e revisão de sessões práticas de instrução em simulação, quando e sempre que necessário, de forma a que o instrutor e o instruendo possam discutir e rever as acções efectuadas e a efectuar. Na vertente prática, a aplicação directa de conceitos teóricos em ambiente de total segurança e numa plataforma versátil e de baixo custo, pode, na generalidade das situações, justificar a aquisição das TI para PC.

A simulação, como se viu, não é o único instrumento das TI ao serviço do ensino da aeronáutica. O *software* educativo – incluindo os programas para CBI –, os manuais

electrónicos, juntamente com as apresentações “*datashow*”, todos auxiliam no processo de formação, tanto do lado do formador como do lado do formando. A multimédia, quando aplicada convenientemente às modalidades acima referidas, sob o formato digital, tem um grande potencial pedagógico. O vídeo, a animação e o som, componentes multimédia baseados no tempo, desde que utilizados na medida certa para evitar o “ruído informativo” em excesso, podem facilmente amplificar a eficácia pedagógica de um determinado programa baseado em texto e/ou imagem. Najjar [1996] constatara, num estudo, que “a aprendizagem era superior quando a informação era apresentada via sistemas multimédia baseados em computador do que as preleções de sala de aula tradicionais”. A multimédia digital tem a particularidade de ser interactiva, mas também flexível e adaptativa, o que resulta numa maior eficácia do processo cognitivo individual.

Steven Hick [1997], Professor da Carleton University, defende mesmo a utilização dos cursos de *CBI* baseados na multimédia, em detrimento das apresentações de vídeo puro, uma vez que este último recurso traz desvantagens ao nível da interactividade e da condução individual dos cursos, devido à linearidade excessiva e falta de adaptabilidade do vídeo puro. Antes, um sistema de aprendizagem com base em *CBI*, interactivo, onde o vídeo intervém em doses certas, parecerá, nesta perspectiva, ser a forma eficaz de aprendizagem.

Merril Karp [1996, 1999] propõe um modelo especial que destaca a utilização de simuladores *PC* “*to bridge the gap between the classroom and the flight time*”, em conjunto com o *CBI*. A perspectiva de uma “ponte pedagógica entre o ensino básico tradicional da sala de aula e o ambiente tecnológico e avançado” é reforçada, de forma a proporcionar componentes pedagógicas em estilos de aprendizagem diferentes, de forma mais eficaz do que o ensino tradicional descritivo. Este plano de utilização de simuladores *PC* não pressupõe uma redução obrigatória do tempo de treino total, mas uma aplicação prática imediata a seguir aos conceitos teóricos, facilitando a compreensão e aumentando a retenção de memória.

Ainda numa outra perspectiva, também a substituição do espaço físico pelo “espaço electrónico”, virtual, portátil, poderá ser sempre um argumento válido no caso da utilização dos extensos manuais de cursos de pilotagem e dos manuais técnicos de avião, chamados *Aircraft Operating Manual (AOM)* – a *Airbus* fornece os *Flight Crew Operating Manual (FCOM)* em edição electrónica. Para mais, a versatilidade das comunicações actuais através das redes *WAN*, nomeadamente a *Internet*, permite a sua utilização para a prática pedagógica:

o *eLearning*. João Marques [2004], na sua Dissertação de Mestrado, propõe um modelo alternativo para o Curso de Promoção a Sargento-Chefe (CPSCH) da FAP, baseado num modelo misto, composto por uma componente presencial baseada em TI para *PC* e por uma componente à-distância; em adição, o *feedback* que obtivera da experiência-piloto do seu Estudo de Caso, acerca da aceitação, por parte dos indivíduos, das Tecnologias da Informação e da Comunicação (TIC) implementadas – baseadas, portanto, em computadores de uso pessoal – foi positivo.

Como é compreensível, os *PCs* apresentam-se como suporte tecnológico de grande interesse, procurando ora satisfazer ora estimular alguns dos requisitos pedagógicos já abordados. Tanto contribuem na área da simulação como no panorama pedagógico-tecnológico geral. Nos pontos seguintes, apresentar-se-á com maior rigor a questão fundamental da Dissertação: a eficácia das TI para *PC* na formação, dentro das quais a simulação tem especial relevância.

### **3.6.1 Os custos comparados dos sistemas de simulação**

Um dos principais argumentos em favor da utilização das TI para *PC*, nomeadamente da simulação, encontra-se, tal como foi referido, ligado ao factor custo. De facto, ao comparar-se os custos dos diversos sistemas de simulação, verifica-se uma enorme discrepância entre os sistemas complexos convencionais e as TI para *PC* propriamente ditas.

Um simulador *PC* totalmente equipado com *software* e dispositivos periféricos (com ou sem certificação *PCATD*) pode ter um custo de aquisição de aproximadamente 4.500 Euros; o orçamento para um *cockpit* de simulação com certificação *FTD* ou *FNPT* ronda próximo de 1.500.000 Euros (mais de trezentas vezes o preço do sistema *PC*); por fim, um simulador de topo com certificação *FS* de “Nível-D” dificilmente pode ser adquirido por menos de 15.000.000 Euros (mais de três mil vezes o preço do primeiro). No gráfico comparativo que se segue, a barra referente ao preço dos simuladores *PC* mal surge ao pé das representativas dos sistemas robustos com certificação.

Ao nível dos preços de aquisição, no caso das dos simuladores robustos (*FTD/FNPT + FS*) há, ainda, que se lhes adicionar todos os custos de manutenção e de consumo energético inerentes, incluindo a mão-de-obra de técnicos qualificados em serviço permanente. Nas TI para *PC*, todos estes custos são praticamente irrelevantes ou, por vezes, até inexistentes.



Figura 40 – Gráfico comparativo do preço dos principais sistemas de simulação.

### 3.6.2 Eficácia do Treino vs Fidelidade da Simulação

Convirá começar este ponto alertando para a necessidade de não confundir o conceito “fidelidade” da simulação com a “eficácia” no treino, embora estando interligados. Do ponto de vista da máquina, o primeiro conceito tem validade, *per si*, pelo que, estaticamente, um sistema pode ter mais ou menos fidelidade consoante a representação dos sistemas e de todos os parâmetros (incluindo modelos matemático e físico); já o segundo conceito, “eficácia”, só tem aplicação no decurso de uma sessão prática de treino, em que há uma dinâmica da sua utilização, em harmonia com os requisitos a preencher.

Defina-se, para efeitos do presente estudo, a eficácia da simulação como a transmissão positiva de conceitos cognitivos e de perícia / habilidades psico-motoras, na relação directa com o preenchimento dos requisitos pretendidos para o treino.

Para que a simulação e/ou simulador sejam eficazes no treino é necessário que os três elementos fundamentais envolvidos no treino – simulador, formador e formando – interajam correcta e equilibradamente. E tal só acontece se houver uma harmonia entre eles. A fidelidade do simulador é importante, mas não é o único factor. A competência do formador e a sua aptidão pedagógica é deveras relevante. A receptibilidade e a resposta do formando às solicitações do formador e da máquina são factores igualmente a ter em conta.

De facto, é sempre necessária alguma fidelidade em simulação por forma a conferir alguma eficácia ao treino que faz uso dessa simulação; não obstante, a fidelidade do sistema, *per si*, não é suficiente para definir a sua eficácia no treino.

Uma vez que a forma como o treino é conduzido tem especial relevância, sistemas de simulação menos fidedignos podem, em algumas situações, conferir níveis de eficácia elevados. Ou seja, um treino bem conduzido num sistema de menor fidelidade poderá ter resultados francamente mais positivos do que um treino menos bem conduzido mas em plataformas de alta-fidelidade.

A fidelidade em simulação assenta na representação precisa e credível das múltiplas componentes do sistema ou simulador: seja do modelo físico, do modelo visual ou do modelo dinâmico. Mas a precisão e a credibilidade são, também, aspectos que se interligam mas que podem variar independentemente. Assim, uma simulação pode ser muito precisa ao nível do funcionamento dos sistemas, mas, por deficiência ou ausência do modelo físico e/ou do modelo visual, ser incapaz de transmitir uma sensação realista de “estar lá”, de “realidade virtual”, ao indivíduo. O factor “credibilidade”, na simulação, tem de ser analisada num espectro mais amplo de uma sessão de simulação completa como acontece, aliás, em *FFS*. Neste âmbito alargado, os simuladores *PC* têm uma dificuldade acrescida na transmissão da credibilidade da experiência, pois, como foi já dito, falta-lhes o modelo físico completo e os factores somáticos induzidos pelo movimento, inerentes à experiência em *FFS*.

Sem embargo, os simuladores devem ser analisados e criticados consoante o fim a que se destinam. E a sua eficácia está directamente ligada aos requisitos pedagógicos que pretendem preencher em treino sintético, tal como foi dito. Genericamente, os quatro (4) grupos de requisitos pedagógicos (práticos) identificados, relevantes para o presente estudo, são:

- Treino com os sistemas da aeronave, incluindo procedimentos de emergência;
- Treino em navegação e voo-por-instrumentos;
- Treino no controlo da aeronave em modo manual, através do desenvolvimento de perícia / habilidades psico-motoras;
- Treino em cooperação de tripulação múltipla (*MCC*).

Ora, há, pois, sessões de simulação que não têm como fim último a simulação do voo propriamente dito, mas antes o funcionamento dos sistemas da aeronave, sendo, nos referidos casos, irrelevante a sensação de “estar lá”; outras, destinam-se à prática do voo-por-instrumentos, exigindo uma precisão relativa, ou mesmo reduzida, ao nível das características

do voo propriamente dito, mas antes a fidelidade da representação dos instrumentos e a simulação do funcionamento das rádio-ajudas; outras há que se destinam ao treino do voo em modo manual, em que se exige a implementação de modelos matemáticos dinâmicos precisos; outras ainda, ao treino de Cooperação em Tripulação Múltipla (*MCC*), preterindo um modelo dinâmico e/ou visual bom em favor de um modelo físico completo.

Um simulador *FS* de “Nível-D”, expoente máximo em matéria de simulação de voo, conglomera, pelo seu objectivo estratégico, as diversas características e finalidades referidas, num só sistema. Como foi já abordado, o treino prático para *Type-Rating* pode ser nele realizado integralmente. Neste caso, e fazendo fé na decisão das autoridades, de certificar estes cursos em modo *ZFTT*, dir-se-á que um simulador complexo deste género é de alta-fidelidade e transmite uma sensação muito credível. A sua eficácia no treino poder ser de tal ordem que o voo real é legalmente prescindível. Mas este género de equipamento é muito dispendioso, e as necessidades da formação nem sempre justificam custos tão elevados. Não é necessário utilizar toda a fidelidade geral destes simuladores em todas as partes específicas do treino.

Não pode, portanto, ser linear o raciocínio de que todo o treino em equipamentos onerosos pode conferir, na proporção directa, um aumento de eficácia. Ora, tudo depende dos diferentes objectivos a atingir com a simulação. E a menor credibilidade transmitida pelo simulador *PC*, pela ausência de modelo físico (incluindo a visão realista “*out-of-the-window*”) pode não significar obrigatoriamente uma diminuição de fidelidade ou de eficácia no treino. A sua utilização pode, pois, não ser uma desvantagem em grande parte das tarefas: as que não exijam um modelo físico complexo.

Assim sendo, em contraste com os equipamentos dispendiosos certificados – em que se incluem, na definição da *JAA*: *FS*, *FTD*, *FNPT* e *BITD* –, os simuladores *PC* custam uma fracção ínfima daqueles, e, não obstante as suas próprias limitações, podem simular, com a mesma fidelidade, o funcionamento dos sistemas de uma aeronave, o modelo dinâmico e, melhor, a qualidade gráfica dos visuais. Recorrendo à definição adoptada para a eficácia dos equipamentos no treino, saliente-se que os *PCs* proporcionam um treino eficaz no preenchimento dos requisitos pedagógicos, dentro, claro está, das referidas e inevitáveis limitações. Seguidamente, serão apresentados os estudos relevantes efectuados que comprovam esta linha de ideias.

Não obstante o que foi dito, fica, ainda, uma questão por esclarecer: será possível obter boa eficácia no treino com custos reduzidos?

### 3.6.3 A eficácia dos simuladores *PC* no treino de pilotos

Identificadas as potencialidades pedagógicas, a fidelidade em simulação e os requisitos tecnológicos–pedagógicos, resta debruçar, agora, sobre a questão fundamental da Dissertação que se sustenta no Estudo de Caso a apresentar no Capítulo seguinte: a eficácia dos simuladores de voo *PC* no treino de pilotos. Para responder preliminarmente à questão, procederei a uma revisão da literatura existente sobre esta matéria, procurando analisar com maior destaque os estudos mais relevantes realizados até à data do presente estudo.

Os estudos conhecidos relevantes, sobre a eficácia dos simuladores para computadores (*PC*) no treino de pilotos, são oriundos dos EUA, nomeadamente da *University of Illinois* e da *Embry-Riddle Aeronautical University*, ambas comissionadas pela *FAA*. Isto deve-se, em larga medida, ao facto de ser permitida a atribuição de certificação, da parte da autoridade norte-americana para a aeronáutica civil, a plataformas específicas *PC* que preenchem os requisitos por ela predeterminados, podendo mesmo substituir horas de voo real, contrariamente à conjunta europeia que não prevê a utilização deste género de dispositivos na formação, como, aliás, se disse.

Distingam-se, para já, duas modalidades em simuladores *PC*: os *commercial off-the-shelf (COTS)* e os desenhados especificamente para uma determinada aplicação.

Os *COTS* são plataformas generalistas, são os mais divulgados e populares. São comercializados a preços de mercado reduzidos, mas têm geralmente uma falha importante em aplicações profissionais específicas: a impossibilidade de acesso ao código-fonte (*source code*) para manipular as variáveis, restringindo a intervenção do utilizador / técnico de manutenção, na maior parte dos casos, a uma parametrização restritiva (normalmente, nos modelos de voo e nos cenários geográficos). Não obstante as limitações, um estudo [Beringer, 1996] refere que as evidências preliminares acerca dos simuladores *COTS*, em efeitos experimentais, apontam para ferramentas úteis e económicas, com nota positiva para a fidelidade dos sistemas e instrumentos simulados em relação ao custo muito reduzido.

### 3.6.3.1 Para o treino do voo-por-instrumentos (IFR)

Em 2001, a *FAA* apercebe-se da necessidade de certificar equipamento de simulação *PC*, de baixo-custo, para o treino de pilotos nas qualificações de voo-por-instrumentos, e assim surge a “*Qualification and Approval of Personal Computer-based Aviation Training Devices*”, definida na *Advisory Circular (AC)* “61-126”.

Os importantes avanços tecnológicos registados na indústria informática, nomeadamente nos computadores de uso pessoal, que possibilitaram o aumento das suas potencialidades e um decréscimo nos custos de fabrico (e conseqüente baixa dos preços praticados), tornaram-nos potenciais ferramentas ao serviço de diversas empresas e centros ligados à formação aeronáutica. Para além do já referido *CBI* e do *EAC* em geral, a simulação é uma das vertentes com mais potencial, muito do qual ainda por explorar.

O aspecto da simulação para *PC* cuja aplicação é mais utilizada, na formação de pilotos, é o do voo-por-instrumentos. Pela sua tecnologia, os *PCs* tornaram-se ferramentas viáveis para representação sintética de instrumentos de avião, de alta-qualidade e precisão.

Os estudos de Taylor *et al.* [1996-2005], realizados no *Institute of Aviation* da *University of Illinois*, apontam para uma eficácia no ensino de tarefas relacionadas com a instrumentação, nos cursos *PPL* e, mais particularmente, no treino do voo-por-instrumentos para a respectiva qualificação. E a demonstração dessa eficácia chega mesmo a ser estendida a verificações de proficiência, ou *Instrument Proficiency Checks (IPCs)*, que, mesmo no contexto mais permissor da *FAA*, ainda não prevê a utilização de *PCs* [2004, 2005] para esse fim.

Num dos referidos estudos [2003], chegou-se à conclusão de que, no que concerne ao voo-por-instrumentos, a prática em *PCATD* resulta num maior sucesso no *IPC*, do que sem treino prévio, e verificou-se, ainda, que a prática do voo-por-instrumentos neste género de dispositivos sintéticos era, “no mínimo, tão eficaz quanto a efectuada a bordo de uma aeronave real” [2003: 16]. Já na primeira metade da década de 90, os estudos de Philips [1993], Dennis [1994] e Ortiz [1994] apontaram para uma aplicação eficaz dos computadores no treino do voo-por-instrumentos.

Um estudo [Taylor *et al.*, 2000] deveras interessante acerca da eficácia de plataformas de simulação para *PC*, no treino do voo-por-instrumentos, comparara a prestação de três diferentes grupos de pilotos treinados de três formas diferentes consoante o grupo (em *PCATD*, em *FTD* e em aeronave) num determinado perfil de voo. As manobras efectuadas incluíam aproximações *ILS* (de precisão) e *VOR* (aproximações de não-precisão).

No final do estudo supra referido, um *IPC* em aeronave real determinaria a aprovação ou reprovação, após efectuadas as sessões de treino. Os resultados obtidos são, no mínimo, curiosos: dos 89 candidatos submetidos à verificação final, obtiveram aprovação 10 (grupo “Aeronave”), 16 (grupo “*FTD*”) e 15 (grupo “*PCATD*”); houve mais 50% de aprovações no grupo em cujo treino fôra baseado em *PC* do que no grupo exclusivamente treinado em aeronave. Registaram-se, inclusivamente, mais reprovações em relação às aprovações, no grupo “Aeronave” do que no grupo “*PCATD*”. Observe-se o seguinte quadro:

| Group    | Pass | Fail | Total |
|----------|------|------|-------|
| Airplane | 10   | 11   | 21    |
| FTD      | 16   | 7    | 23    |
| PCATD    | 15   | 9    | 24    |
| Control  | 8    | 13   | 21    |
| Total    | 49   | 40   | 89    |

Figura 41 – Resultados de aprovação/reprovação no *IPC*. Estudo do *ARL/IAV* (Universidade de Illinois).

Embora pareça um pouco prematuro afirmar que o treino com modelo sintético, nomeadamente em plataformas *PC*, possa ser mais eficaz do que com a aeronave real, fica, contudo, registada uma tendência para uma eficácia daquelas plataformas, sendo talvez mais prudente afirmar que um treino sintético correcto pode, no mínimo, ser tão eficaz quanto o treino real.

Não obstante o que foi dito com relevância em abono das capacidades ou eficácia dos *PCs* no treino do voo-por-instrumentos, diga-se que os actuais simuladores para *PC*, onde se incluem, no sentido mais alargado, os referidos *PCATDs* – certificação atribuída pela norte-americana *FAA* para simuladores *PC* com consola própria e outros periféricos para controlo do voo (*flight controls*) –, podem conter modelos dinâmicos de simulação tão eficazes quanto os implementados em *FTDs* e em outros dispositivos-de-treino-de-voo mais dispendiosos e

robustos. Para mais, os resultados após treino são, no mínimo, muito semelhantes em qualquer dos casos [Taylor *et al.*, 2003]. Na confirmação desta afirmação parecem estar as evidências do estudo anterior de Hampton [1994] que aponta para resultados semelhantes na replicação de procedimentos de voo-por-instrumentos, após um treino prévio, em *PCATD* e em *FTD*.

### 3.6.3.2 No treino do voo visual (*VFR*), voo manual e dos sistemas

*“Personal Computers (PCs) have been with us for the past 20 years or so but their impact on the task of flying in General Aviation (GA) or on the training of pilots has not been particularly significant.”* [O’Hare, 2001]. É ante este postulado que surge a necessidade de descortinar e exaltar as potencialidades dos *PCs* com vista a saber se a exploração dessas suas pressupostas qualidades pode ou não ser uma mais-valia para a prática pedagógica de formação de pilotos.

No mesmo documento, o autor da afirmação anterior elucida que: *“We are beginning to see the enormous potential of virtual environments created on ordinary PCs to transform basic aeronautical training”* [2001]. A referência é feita tendo em mente o desenvolvimento pericial (*procedural skills*), na estrutura psicomotora, como aplicação prática do “conhecimento descritivo” (*declarative knowledge*) residente na estrutura cognitiva e fornecido previamente de forma teórica.

Na esteira do que foi dito, e sem embargo à utilização clássica dos *PCs* no treino de voo-por-instrumentos, importa referir que, no actual estado-da-arte tecnológico, os *PCs* permitem uma implementação precisa da simulação das características do voo, dos visuais, e, também, como se disse, dos sistemas integrantes de aeronave. Como já foi abordado, as equações matemáticas que servem de base para a simulação de modelos aerodinâmicos, com as forças físicas inerentes ao voo (*lift, weight, thrust, drag*), a sua massa e as reacções resultantes dos momentos de inércia (*roll, pitch, yaw*), incluindo os factores externos atmosféricos, mais o desenho de cenários geográficos para simuladores, podem ser implementadas com relativa facilidade em *software* para *PC*.

O pressuposto da capacidade de implementação em *PC* das condições do voo real, por si só, tende a alargar o espectro de efectividade da simulação *PC*, abrindo uma nova porta para um

outro tipo de aplicações igualmente eficazes que não somente o treino do voo-por-instrumentos, e que incluem o voo manual, o voo em condições *VFR* – incluindo a orientação espacial –, e o treino em proficiência dos sistemas de aeronave.

Um estudo da *Embry-Riddle Aeronautical University*, Flórida, [Wiggins 2003], na continuação de um outro anterior, revelou que, no tocante à formação de pilotos através do uso de *PCATDs*, não obstante a sua utilização preferencial clássica reduzida praticamente ao treino do voo-por-instrumentos (*IFR*), os centros de formação estão já receptivos a uma utilização mais alargada destes dispositivos. Essa utilização, já praticada por alguns alunos, estende-se, por exemplo, ao treino de voo manual de circuitos rectangulares em regras de voo visual, ou *VFR*.

Nesta lógica, resta saber se, para além do treino do voo-por-instrumentos, os actuais simuladores de voo para *PC* disponíveis possibilitam um treino eficaz no que toca ao desenvolvimento de perícia / habilidades psicomotoras, por um lado, e ao processo cognitivo do funcionamento dos sistemas de aeronave. Isto será analisado no Capítulo seguinte, no Estudo de Caso.

### **3.6.3.3 O treino de cooperação em tripulação múltipla (*MCC*)**

Sem embargo às potencialidades abordadas, *a priori*, pode identificar-se um requisito do treino geral em que os simuladores *PC* não proporcionam grande eficácia. Ele é o treino em *MCC*, em que é necessário um modelo físico directamente manuseável e sistemas duplicados, algo difícil de simular correctamente em equipamentos *PC*.

Outra situação crítica para os *PCs* poderia prender-se com factores psico-somáticos na transmissão das sensações do voo real, em que o modelo físico (incluindo o movimento) poderia ter mais importância, sobretudo na formação em *ZFTT*. Contudo, já aqui foram apresentados estudos que desprezam a importância do movimento físico no treino. A visão “*out-of-the-window*” também não existe em *PC*, mas, todavia, já é possível conectar 3 ou mais monitores para representação dos diferentes ângulos de visão exterior, sendo actualmente, pois, uma questão menor; resta, portanto, o modelo físico. Embora os *PCATDs* possuam modelo físico, ele é muito simples, resumindo-se a uma consola e a pedais, como dispositivos periféricos, sendo a maior parte da representação realizada virtualmente no ecrã.

## **4. Estudo de Caso: a eficácia dos simuladores de voo para PC na formação de pilotos**

Como apresentado no Capítulo Primeiro, ponto 1.2, a solução adoptada para solucionar o Problema cerne da presente Dissertação – a eficácia das TI para PC na formação aeronáutica – será aqui abordada de forma pormenorizada.

Este Capítulo, ou Estudo de Caso, visa demonstrar o pressuposto de que as TI para PC são eficazes na formação de pessoal aeronáutico. Dos possíveis ramos de análise ligados à actividade aeronáutica, foi escolhido o da formação de piloto-aviadores.

Nestes trâmites, o Estudo de Caso consiste em uma experiência na qual cinco indivíduos, sem qualquer espécie de certificação oficial em pilotagem de aeronaves, integram um programa de treino e verificação subsequente de proficiência em pilotagem, em simulador, com vista à avaliação da eficácia das TI para PC na formação possível de pilotos. A experiência visa colher, no terreno, informação sobre as potencialidades dos simuladores PC, nomeadamente nos factores cognitivos e psicomotores.

### **4.1 Justificação**

A impraticabilidade de uma abordagem (prática) de Estudo de Caso, que englobasse todos os ramos de análise, materializada na falta de tempo, meios humanos e verbas financeiras, obrigou à adopção selectiva de um único ramo – o da pilotagem de aeronaves. Dentro deste, foi, por sua vez, escolhida a vertente da qualificação em Tipo (*Type-rating*) “A319/A320/A321”. Isto deveu-se a: por um lado, a necessidade de obter um objecto/meio de comparação credível da *performance* dos indivíduos submetidos à experiência, com os requisitos da realidade extra-simulação; por outro, a proximidade de um laboratório de alta-tecnologia, objecto de comparação da referida *performance*, um simulador de qualificação máxima (“JAR-STD-1A” – “Level-D”).

O *Training Center* da companhia de aviação TAP Air Portugal, tem certificação TRTO e desenvolve cursos de *Type-rating* para a aeronave Airbus A320, e utiliza, para tal, um FS de “Level-D” que serve os requisitos do já referido ZFTT, sendo utilizado tanto em sessões de treino como em exames (*skill-tests*) finais e nas verificações periódicas de seis em seis meses.

Como também foi apontado, este simulador utilizado proporciona um ambiente de “realidade virtual” muito complexo, incluindo a simulação do funcionamento dos sistemas da aeronave, o modelo dinâmico de voo e a indução eficaz das sensações fisiológicas inerentes ao voo real. Ou seja, o *FS* é o cúmulo da aproximação possível às operações e voo reais para aquele Tipo de aeronave e para qualquer outro Tipo ou Classe de aeronaves.

Com o objectivo de viabilizar o Estudo de Caso, foi feito um pedido oficial de colaboração do *Training Center* da companhia de aviação nacional com o ISCTE, no sentido de ceder as suas instalações, nomeadamente o *FS*, ao qual a mesma anuiu, permitindo, assim, toda a preparação a montante da passagem a esse laboratório *high-tech*, e que será descrita a seguir.

## **4.2 Ferramentas e considerações técnicas**

Antes de avançar para a parte processual do Estudo de Caso, farei referência aqui à preparação das ferramentas importantes para a correcta realização das tarefas a realizar em simulador.

### **4.2.1 *Software* de simulação *COTS* e plataformas de carácter lúdico**

Importa tecer algumas considerações sobre o facto de, no presente Estudo, se utilizar, para formação/treino inicial dos indivíduos, equipamento *COTS*. Esta opção técnica deve-se, sobretudo, à ponderação de cinco factores importantes. Do lado do projecto: o custo, a disponibilidade e a versatilidade; do lado do utilizador: a facilidade de utilização e a familiaridade com o equipamento.

Sem embargo, os sistemas do tipo *COTS* têm do ponto de vista do investigador/técnico, normalmente, uma desvantagem em relação aos sistemas de raiz: a dificuldade ou impossibilidade de acesso ao código-fonte (*source-code*), através do programa, para manipular variáveis. Não obstante, em termos de simulação *PC*, programas há que permitem a parametrização de constantes (nos modelos de voo) e no desenho/implementação de cenários adicionais (nos cenários geográficos de simulação).

O *software* de simulação escolhido para ser utilizado na primeira parte das operações do Estudo de Caso está identificado como jogo de simulação de voo, *COTS*, vendido como

*software* lúdico, portanto, mas com algum potencial incluso na sua concepção de simulador de voo parametrizável e, assim, adaptável a diversos fins. Este programa foi já referido no Capítulo 2: o *Microsoft Flight Simulator 2004™*.

As qualidades do *software* lúdico e dos jogos de simulação foram já abordadas no Capítulo anterior, sendo, agora, altura para as evidenciar, através da sua aplicação na experiência em causa, na estimulação das estruturas cognitiva e psicomotora.

Sem embargo às considerações feitas, no caso de poder haver alguma divergência em termos de eficácia potencial, entre equipamentos *COTS* e equipamentos desenhados especificamente para o mesmo efeito, essa discrepância será tendencialmente penalizante do lado da opção *COTS*, uma vez que uma plataforma generalista tende a ser mais imperfeita do que uma específica feita de raiz. Esta visão hipotética, por si só, não parece trazer qualquer descredibilização ou demérito ao presente estudo, mas, antes, um evidenciar das potencialidades das TI para *PC*, porquanto, se, com sistemas *COTS* for verificada alguma eficácia, ela tenderá, no mínimo, a ser igual ou superior em sistemas de raiz.

#### **4.2.2 “Project Lisbon Photoreal” – modelo de aplicação de cenários sintéticos em ambientes virtuais *PC* para a prática pedagógica**

Como foi visto, uma aplicação possível das TI para *PC* na formação aeronáutica, com grande potencial, é a dos cenários virtuais. As possibilidades actuais que existem ao nível da modelagem e da visualização 3D de objectos e superfícies permitem a criação de cenários geográficos sintéticos em ambiente virtual subordinados às especificações e aos requisitos aeronáuticos.

Ao nível da aplicação técnica, os cenários sintéticos para *PC* podem ser utilizados como base para programas de simulação de voo ou em aplicações simples de visualização 3D. Na vertente aeronáutica, podem identificar-se duas grandes possibilidades de aplicação:

- Na formação/manutenção de pessoal aeronáutico, evidenciando a configuração do aeroporto e zona envolvente de uma área geográfica, incluindo o reconhecimento visual nas aterragens simuladas, virtualmente, em 3D e com animação, a pilotos e controladores de tráfego, ou a Oficiais de Operações Aeroportuárias;

- Na projecção de aeroportos, aeródromos, pistas de aviação e respectivas infra-estruturas, pela engenharia da construção aeronáutica.

Neste âmbito, como exemplo demonstrativo, por um lado, e como ferramenta de Estudo de Caso, por outro, decidiu-se elaborar, ao longo de oito meses, um cenário sintético de uma área geográfica conhecida, com o duplo objectivo: de demonstrar algumas das potencialidades referidas; de servir de base geográfica de treino sintético para a experimentação do Estudo de Caso.

A secção “Anexos” contém descrição e imagens do projecto. Com mais de nove centenas de horas de trabalho solitário investido, realizou-se um cenário sintético detalhado do aeroporto e da cidade de Lisboa com objectos 3D detalhados, com dimensões à escala e de textura fotográfica, sobrepostos a uma fotografia aplicada ao terreno com uma resolução superior a 4,7 metros/pixel. O projecto chama-se *Project Lisbon Photoreal*<sup>42</sup> (PLP). O *software*-base de aplicação utilizado foi, pois, o *Microsoft Flight Simulator 2004*<sup>TM</sup> que pode ser utilizado como “*front-end*” para outras aplicações, ora para visualizar tridimensionalmente e com animação o/(s) cenário/(s), ora para correr, sobre ele, uma sessão de simulação em *PC*.



**Figura 42 – Particularidade do cenário (aspecto aéreo da aproximação ao aeroporto).**

Os aspectos particulares do cenário permitem a demonstração de determinadas partes do aeroporto, da cidade em si, de alguns edifícios ou objectos relacionados com a actividade aeronáutica – tal como acontece com as aproximações das aeronaves às pistas do aeroporto –, de marcos visuais, obstáculos, de aspectos do chão do aeroporto. Todos estes aspectos

---

<sup>42</sup> Está disponível no arquivo do servidor do site AVSIM (<http://www.avsim.com/>).

interessam tanto aos Oficiais de Operações Aeroportuárias como ao pessoal da segurança e manutenção do aeroporto ou aos pilotos de avião que utilizam esse mesmo aeroporto.

Os objectos constituintes do cenário são réplicas dos originais, principais *landmarks* avistados nas aproximações ao aeroporto de Lisboa. Ajudam a identificar geograficamente a zona da cidade também ela retratada fotograficamente pela aplicação de fotografia aérea.

A justificação da modelagem do cenário se confinar à área de Lisboa prende-se com as operações a efectuar no treino e na verificação, em *PC* e em *FS*, respectivamente, em que uma grande parte delas é lá realizada sinteticamente.

Houve um especial cuidado em representar, no *PLP*, os objectos, as texturas e os polígonos componentes do cenário de Lisboa em consonância com os visuais do sistema gráfico do *FS* do *Training Center* da TAP. O grafismo permitido pela plataforma *PC* é consideravelmente superior ao do *FS*, com mais detalhe e maior qualidade cromática, permitindo uma representação mais fidedigna do cenário geográfico que se pretende implementar.

As principais componentes gráficas e *landmarks*, específicos, que o *FS* contém foram replicados com um detalhe ainda maior em *PC*. Eles são:

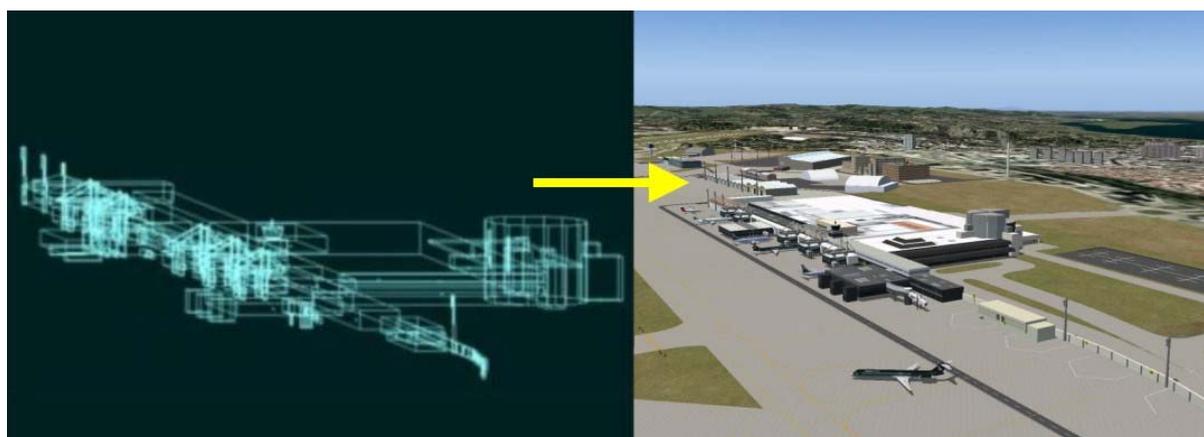
- Chão da cidade de Lisboa e arredores com a bacia do Rio Tejo e margem Sul (com detalhe fotográfico de 4,7m/*pixel* em *PC*);
- Malha de terreno (*mesh*) com elevação da Serra de Sintra;
- Ponte 25 de Abril;
- Monumento do Cristo-Rei;
- Ponte Vasco da Gama;
- Aeroporto de Lisboa (*LPPT*) detalhado, com chão e edifícios específicos (fotográficos em *PC*), entre os quais: terminal, hangar n.º 6, radares e torre de controlo.

Na figura 43 estão representados alguns exemplos de *landmarks* principais do cenário desenhado em *PC*, mais pormenorizado do que no simulador robusto de certificação máxima. Estão presentes os principais edifícios da cidade de Lisboa.



**Figura 43 – Objectos 3D – marcos visuais (réplicas das construções reais da cidade de Lisboa).**

O aeroporto, por razões óbvias, foi alvo de uma maior atenção. Foram desenhadas as duas pistas do aeroporto (03/21 e 35/17), todos os *taxiways* actuais, estradas para veículos, placas e *gates* com as dimensões e designações correctas. Ao nível dos objectos, o terminal do aeroporto, hangares, postes de iluminação, torre, radar e edifícios constituintes, todos retratados fotograficamente e com grande precisão. Para o desenho das superfícies e objectos recorreu-se a ferramentas do género *CAD* aplicadas às especificações do programa-base.



**Figura 44 – Aeroporto de Lisboa (LPPT) – projecção 3D.**

A projecção foi desenvolvida em diversas fases: edição e colocação do “Bitmap” fotográfico da cidade; desenho do chão do aeroporto (bidimensional); desenho dos objectos (tridimensional) e colocação das texturas fotográficas; colocação dos objectos no chão com recurso a coordenadas de precisão obtidas com *GPS*.

Uma vez feita a construção do cenário, é necessário compilar e instalá-lo como “*add-on*” ao programa-base de forma a que o motor gráfico da aplicação, otimizado no presente caso para *Direct3D*, possa fazer o *rendering* da informação gráfica contida no cenário sintético, juntamente com todas as componentes adicionais possíveis que incluem condições atmosféricas variadas, veículos, aviões dinâmicos controlados pelo motor da simulação, etc.

O resultado final surge bastante positivo. Após todo o trabalho de desenho e implementação do cenário, chegou-se à conclusão de que o resultado poderia, ainda, ser melhor, bastando, para tal, mais tempo de desenvolvimento. Para o Estudo de Caso, o nível de detalhe conseguido superou os requisitos após comparação com os visuais do *FS* que são, como se disse, inferiores em termos de detalhe e de qualidade gráfica em geral. Não obstante, ficou também evidente que, para correr o cenário em simulação *PC* com boa qualidade e boa fluidez de imagem, era necessário um sistema com uma placa gráfica de elevado desempenho. Na figura 45, uma comparação entre a realidade e o cenário sintético para *PC*.



Figura 45 – Apresentação do cenário *PLP* em comparação com uma imagem da realidade.

#### 4.2.3 “Project A320” – parametrização de um modelo de voo para A320

Também no âmbito do Estudo de Caso, para a experiência em causa, foi elaborado um trabalho<sup>43</sup> aturado de parametrização do modelo de voo do *software* de simulação para *PC* utilizado. Esse trabalho consistiu na parametrização de diversos aspectos, incluindo factores de multiplicação que actuam nas equações do modelo, de forma a que o “*output*” ou comportamento da aeronave em voo simulado resultasse próximo do congénere *Airbus A320* real.

<sup>43</sup> Disponível no arquivo do servidor do site AVSIM (<http://www.avsim.com/>).

Algumas das principais alterações incluem a revisão de parâmetros aerodinâmicos, tais como a sustentação em função do ângulo de ataque e em função da altura relativa (para simular o “efeito de solo”), ou a revisão das curvas de potência dos motores em função da percentagem de compressão dos motores (compressores N1, de baixa pressão) e da altitude. Outras alterações incidem sobre aspectos mecânicos do trem de aterragem, da suspensão, para simular o comportamento da aeronave no solo.

#### 4.2.3.1 O “*Fly-By-Wire*” e os ajustes dos momentos de inércia

A correcta parametrização dos momentos de inércia foi outra preocupação constante. O A320 real inclui um sistema complexo de computadores que protegem a aeronave de erros e excessos de *performance* da aeronave da parte do *Pilot Flying (PF)*. Esse sistema, chamado *Fly-By-Wire (FBW)*, composto por três tipos de computadores diferentes – *ELAC*, *SEC* e *FAC* – controla as superfícies móveis do aparelho (*aileron*s + *elevator*s + *rudder*), de forma a impedir, por exemplo, uma resposta brusca dos *aileron*s induzido por um movimento accidental do *sidestick* que controla manualmente a aeronave (em voo manual); ou a impedir uma *pitch attitude* (inclinação vertical segundo o eixo lateral) ou *banking* (segundo o eixo longitudinal) superior a um determinado limite de graus; ou, até, evitar a ultrapassagem do nível crítico do ângulo de ataque (“*alpha-floor*”).

Em modo normal de funcionamento (“*Normal Law*”), todo e qualquer *input* induzido nas superfícies de controlo é filtrado e amortecido pelo *FBW*. Neste modo, a resposta aos *inputs* do *sidestick* é, por conseguinte, atenuada.

O modo de controlo utilizado na experiência do Estudo de Caso foi o “*Normal Law*”, pelo que era necessário que, em simulador *PC*, a resposta da aeronave aos *inputs* do *joystick* fosse suave. Assim, em termos de implementação, lógica maior seria parametrizar o modelo de voo em modo “*Direct Law*”, ou seja, puramente mecânico, sem interferência de qualquer sistema de controlo de voo; e depois, sobrepor-se-lhe um sistema de controlo que simulasse correctamente o *FBW*, para obter a resposta suave e progressiva característica do voo em “*Normal Law*”.

Acontece que o painel de *cockpit* virtual de A320 em PC que continha uma simulação parcial desse sistema, utilizado em conjunto com o simulador de voo básico COTS para PC, não simulava a acção dos computadores ELAC do FBW, pelo que os movimentos de *roll* e de *pitch* saíam demasiado bruscos. Para ultrapassar essa questão, teve de se ajustar os momentos de inércia no próprio modelo de voo, de forma a suavizar o seu comportamento em voo.

No PC, o correcto ajuste dos momentos de inércia e, por conseguinte, da reacção da aeronave às solicitações do *joystick* controlador, em voo manual, era fundamental para permitir uma aproximação correcta ao *feeling* dos controlos manuais da aeronave em FS de “Level-D”, ou seja, no passo seguinte, na passagem ao simulador para a verificação prevista que continha operações em voo manual, incluindo aproximações e aterragens. Essa proximidade ao nível do *feeling* dos controlos tem grande importância para o desenvolvimento pericial (psicomotor) já referido, necessário às operações em voo manual.

### 4.3 Ressalva metodológica preliminar

Antes de passar à descrição metodológica das operações realizadas no Estudo de Caso, pela complexidade e, ao mesmo tempo, delicadeza de âmbito, não é, de todo, despendendo tecer algumas considerações sobre o seu intuito final.

A segunda parte da experiência do Estudo de Caso, de verificação em FS de “Level-D”, não pretende ser um teste de Qualificação oficial para o Tipo de aeronave em causa: *Airbus A320*. Pretende, sim, ser uma demonstração de aplicação de conhecimentos, procedimentos e experiência adquiridos previamente através das tecnologias de informação para PC, nomeadamente um simulador de voo COTS com aplicativos específicos desenhados especialmente para o efeito.

Como não se trata de um exame oficial de Qualificação, alguns dos procedimentos não foram tidos em conta, sobretudo nos que dificilmente podem ser simulados em PC, tais como a parte do capítulo “*Crew Resource Management*” (CRM) – importante em Linha Aérea em aviões multipiloto – ou a simulação das comunicações com o “*ground*”, a torre de controle ou os controladores do espaço aéreo virtual. Os procedimentos previstos a executar para aquela aeronave seguiram a orientação geral das recomendações da *Airbus*, nomeadamente expressas no manual “*Flight Crew Operations Manual*” (FCOM).

É importante voltar a referir que o objectivo prático primordial, tal como foi apresentado, residiu na replicação de procedimentos, mais do que a correcta execução segundo um determinado *standard*, requisito legal, ou, mesmo, o próprio manual da aeronave. Houve, de facto, preocupação em reproduzir, com a fidelidade possível para as limitações da experiência, os procedimentos oficiais. Porém, para o estudo em questão, era, sobretudo, importante a aplicação fidedigna de conhecimentos e de perícia/habilidades do foro psicomotor adquiridos com o treino prévio em *PC*, ainda que algum desvio das normas oficiais pudesse existir, por defeito.

Assim, sem embargo aos procedimentos oficiais recomendados, foi dada alguma autonomia aos participantes da experiência, no âmbito da escolha de determinadas configurações da aeronave em voo, consoante as situações. Foi, pois, efectuado, como linha directora, um Perfil de Voo a seguir em ambos os simuladores (*PC + FS*), adaptado à experiência em causa e aos seus objectivos. A referida autonomia residiu em: escolha das velocidades durante o voo, incluindo nas aproximações iniciais; escolha da configuração de aproximação intermédia e final (*FLAPS + L/G*<sup>44</sup>); utilização dos *SPD BRK*<sup>45</sup>.

## 4.4 Método

Passarei, agora, à descrição da experiência do Estudo de Caso.

### 4.4.1 Sujeitos participantes

Os sujeitos participantes recrutados para o presente estudo, em número de cinco (5), tinham idades compreendidas entre os 27 e os 55 anos de idade. No tocante à experiência aeronáutica anterior ao presente estudo, nenhum dos sujeitos tinha experiência real relevante em pilotagem de aeronaves, mas somente alguma prática prévia, de carácter lúdico, em simulador de voo para *PC*, nomeadamente o popular *COTS: Microsoft Flight Simulator™*.

Foi estipulada, no início do projecto, como condição *sine qua non*, a impossibilidade dos participantes terem algum tipo de qualificação oficial em pilotagem de aeronaves, incluindo

---

<sup>44</sup> *Landing Gear* (trem de aterragem).

<sup>45</sup> *Speed Brakes* (travões aerodinâmicos, ou *spoilers* de voo).

as emitidas por autoridades de países não-pertencentes à JAA. O objectivo deste requisito visava a formação de um grupo de indivíduos em estado “puro”, ou seja, de *ab-initio* no tocante a experiência de pilotagem real. A justificação desta condicionante prende-se com a necessidade de evitar qualquer interferência em termos psico-motores que pudesse beneficiar, relativamente, de forma significativa algum elemento, na verificação da perícia / habilidades motoras, e, dessa forma, pudesse pôr em causa a credibilidade do estudo.

Para os efeitos pedagógicos da experiência, todos os sujeitos foram tratados da mesma forma, não obstante os diferentes grupos etários: 27 anos (“piloto 1”); 47 anos (“piloto 2”); 45 anos (“piloto 3”); 55 anos (“piloto 4”); 32 anos (“piloto 5”).

Os graus de familiaridade com os equipamentos de simulação para PC eram sensivelmente idênticos em todos os candidatos.

#### **4.4.2 Apparatus**

Foram utilizados, no estudo, dois géneros de simuladores diferentes: um simulador de voo para PC, sem certificação mas devidamente parametrizado e adaptado à experiência em causa com *software* e *hardware* específicos; um simulador de qualificação FS (“JAR-STD-1A–Level-D”). Em ambos os casos, foram utilizados modelos dinâmicos de voo da aeronave *Airbus A320*, e cenários geográficos para as áreas de Lisboa, Porto-Santo, Madeira e Açores.

##### **4.4.2.1 Simulador PC**

A nível do *hardware*, configurou-se um sistema PC para obter um elevado desempenho com boa estabilidade de funcionamento e a custos reduzidos:

- Monitor: *LG L2010P TFT-LCD* de 20” (1600x1200)
- Placa gráfica: *ATI Radeon™ 9800XT* (256MB)
- RAM: 512MB *OCZ* (PC3500 EL)
- CPU: *AMD Athlon64™ 3400+*
- Motherboard: *Asus K8V Deluxe*
- Disco: *Western Digital Raptor™ 74GB* (10k rpm)
- DVD: *Pioneer 107D*

À data da aquisição do material, o preço do conjunto rondava os 3.200 Euros. O preço do mesmo equipamento, mas com três monitores, em vez de um, ascendia aos 5.600 Euros. Os monitores adicionais poderiam ter algum interesse para auxílio à simulação das visões laterais do *cockpit* virtual, uma vez que o *software* utilizado suporta múltiplos *displays*. Ainda dentro do *hardware*, falta referir os dispositivos periféricos que foram utilizados:

- *Joystick*: *Thrustmaster Hotas Cougar™* (450 Euros);
- Pedais: *Flight Link* com amortecedores hidráulicos (500 Euros).

A nível de *software*:

- SO: *Microsoft Windows XP™ + SPI* (170 Euros);
- Simulador *COTS*: *Microsoft Flight Simulator 2004™* (70 Euros).

Para a primeira fase da experiência que serviu de base de treino para as operações, foram adicionados, ao jogo de simulação de voo, seis pacotes de “*add-on*”, com vista a enriquecer a experiência, proporcionando um treino mais eficaz do que seria se fosse utilizado somente o *software*-base de simulação “*as is*”, “*out-of-the-box*”.



**Figura 46 – LPMA: cenário da ilha da Madeira utilizado nas operações: real, à esquerda; PC, à direita.**

Dos seis pacotes de “*add-on*”, dois já foram apresentados e incluem o cenário geográfico da área de Lisboa e o modelo de voo para *Airbus A320*. Os restantes quatro adicionais, *COTS*, incluem: dois *cockpits* virtuais com a simulação bidimensional e tridimensional dos painéis e sistemas de *Airbus A320*; dois cenários geográficos regionais para as áreas de Madeira e Porto Santo (incluindo os aeroportos, *LPMA* e *LPPS*) e dos Açores (incluindo Lajes-*LPLA* e Horta-*LPHR*). No cenário “*add-on*” para a Madeira foram melhorados e acrescentados alguns marcos visuais importantes para a correcta simulação da aproximação visual à pista “05”,

incluída no Perfil de Voo que será apresentado mais à frente, tais como: a fábrica do ponto referencial “Gelo” na aproximação, ou a estrada junto ao aeroporto, entre outros.



Figura 47 – Airbus A320 – cockpit utilizado nas operações: FS (real), à esquerda; PC (virtual), à direita.

Se, na qualidade gráfica dos visuais, o *software* de simulação para PC leva uma clara vantagem sobre o FS – não obstante a ausência de visão “*out-of-the-window*” impossível de simular em PC, sem modelo físico –, o mesmo não pode ser dito acerca dos painéis do cockpit, onde o modelo físico 100% fidedigno do FS é uma mais-valia, sobretudo para treino em MCC. Sem embargo a esta vantagem importante, o *software* PC utilizado, mesmo em estado “*out-of-the-box*” e sendo COTS, permite uma replicação razoável dos principais sistemas da aeronave. Não simula, contudo, algumas falhas ou emergências, nem operações mais complexas relacionadas com o sistema hidráulico ou com particularidades do MCDU<sup>46</sup>, entre outras coisas de menor relevância para o âmbito da experiência deste Estudo de Caso. Na figura 48, pode observar-se três diferentes painéis de Airbus A320, simulados em PC.



Figura 48 – Painéis de Airbus A320 simulados em PC: “overhead”, “pedestal” e “MCDU”.

<sup>46</sup> “Multifunction Control Display Unit”.

#### 4.4.2.2 Simulador FS (“Level-D”)

O simulador utilizado para a verificação das operações treinadas em PC tinha a qualificação “JAR-STD-1A–Level-D” certificada pelo INAC. O seu funcionamento foi em FBS, tendo-se instalado uma câmara de filmar *Digital-8™* para gravar as sessões a bordo, na verificação.



Figura 49 – FS: aproximação à Madeira (esquerda), e no aeroporto de Lisboa. Em FS de “Level-D”.

#### 4.4.3 Procedimento

Antes de me debruçar sobre a execução prática da experiência propriamente dita, passarei a apresentar o plano das operações efectuadas, através de um Perfil de Voo elaborado especificamente para o efeito prático.

##### 4.4.3.1 Perfil de Voo

Pretendeu-se, com a elaboração do Perfil de Voo, a obtenção de um plano director das operações a efectuar nas duas fases da experiência: no treino inicial e na verificação subsequente. Assim, todos os sujeitos participantes foram submetidos ao mesmo plano, recebendo, desta forma, o mesmo treino. Nos Apêndices (I), está exposto o Perfil de Voo tal como foi elaborado e apresentado aos sujeitos, incluindo, pois, todos os detalhes relevantes.

O Perfil de Voo foi elaborado para a duração prevista de duas (2) horas, aproximadamente. Inclui, desde as operações mais simples, como sejam os procedimentos no solo ao nível dos sistemas, até às manobras mais complicadas, tais como aproximações de baixa visibilidade com vento lateral ou, mesmo, aterragem em pista curta. A grande diversidade de operações, contidas no plano, teve em vista o teste à eficácia dos simuladores PC nos seus diversos aspectos.

O Perfil de Voo é composto por cinco (5) condições em que são introduzidos parâmetros diferentes de forma a que os sujeitos tenham de lidar com novas variáveis, num crescendo de complexidade, e, por conseguinte, de dificuldade. Todos os procedimentos estão descritos, incluindo o *checklist* adaptado à experiência. São utilizadas cinco bases para as operações, ou aeroportos: Lisboa (*LPPT*), Porto-Santo (*LPPS*), Madeira (*LPMA*), Lajes (*LPLA*) e Horta (*LPHR*), cada qual com suas características específicas em termos de largura e comprimento da pista, e de dificuldade de aproximação.

Não é por demais referir que, para os objectivos pretendidos, foram incluídos, no Perfil de Voo, os procedimentos de *checklist* de forma adequada às possibilidades de treino oferecidas pelo *software* de simulação *PC*. Situações houve em que foram omitidos certos procedimentos específicos, por impossibilidade de simulação eficaz em *PC*. Tal se deveu, pois, às limitações de implementação do *software COTS* utilizado.

Segundo o Perfil de Voo, na primeira condição, os sujeitos são colocados no aeroporto de Lisboa (*LPPT*), estacionados na “*gate A-17*”. Os visuais predefinidos são: noite e boa visibilidade. A meteorologia é de ausência de vento ou de turbulência, e a aeronave encontra-se em estado “*cold and dark*” com os motores e sistemas em “*off*”. A primeira condição é o “*entry-level*” na escala de dificuldade do Perfil de Voo completo que também inclui, como se disse, operações bem mais complexas.

Os procedimentos para a primeira condição começam com a preparação preliminar do *cockpit*, incluindo a ligação do *APU* e a configuração do *MCDU*; segue-se o “*pushback*”, a ligação dos motores, e, depois, o “*taxing*” que é feito até à cabeceira da pista “03” por mera orientação espacial no solo treinada em *PC*, e sem demoras – uma vez que, em *FS*, cada minuto é contabilizado e vale dinheiro que não pode ser desaproveitado. Nessa sequência, segue-se a descolagem e a subida para os 4.000 pés, para realizarem um circuito de tráfego pela direita, em segmentos de 90° cada; a aproximação final é feita após volta pela direita sobre a Caparica (“*CP*”) com o modo de aproximação automática activada no *FCU*. De seguida, já bem alinhados na ladeira de aproximação, com a aeronave estabilizada na descida, ainda em modo automático e com o auxílio do *ILS*, é-lhes solicitado que desliguem o piloto-automático a uma altitude estabelecida. A final-curta da aproximação-de-precisão é realizada em modo manual mas mantendo o “*autothrust*” ligado. A primeira condição termina, assim, com a aterragem e a imobilização da aeronave, após saída da pista por um *taxiway* à escolha.

A segunda condição tem início na cabeceira da pista “03” do mesmo aeroporto, igualmente de noite, em configuração de descolagem. Porém, está interdita a utilização do piloto automático, e o circuito de tráfego é mais apertado, desta vez, sendo as voltas para a “*base leg*” e para a aproximação final realizadas, ambas, sobre o Rio Tejo. É, ainda, adicionado vento de Oeste de 25 nós. A aproximação é também de precisão mas é realizada em voo manual. O objectivo desta segunda condição é o de testar um nível diferente de habilidades psico-motoras adquiridas com o treino em simulador *PC*, num grau de dificuldade maior.

A terceira condição impõe um nível de dificuldade ainda maior, em que a habilidade motora e a precisão dos movimentos são ainda mais evidenciados. Todo o voo, incluindo descolagem, subida, nível de cruzeiro, descida e aterragem, é realizado em modo manual e sem a ajuda dos “*flight directors*” (*FDs*). Não é, pois, permitido qualquer intervenção auxiliadora do piloto-automático nem do “*autothrust*”. Sem embargo, o *FBW* continua activo, proporcionando ao sidestick todo o controlo direcciona e de atitude normais. Esta condição adiciona, ainda, um outro factor exploratório importante: a orientação espacial no ar. Contrariamente às anteriores, agora a orientação é sugerida por toponímia – tal como “*turn towards Serra de Sintra...*” – e não por um *heading* específico ditado pelo verificador. Também não é permitida a utilização de rádio-ajudas, sendo a aproximação final à pista 35, no final desta condição, realizada somente por orientação visual, sem a utilização do *VOR* “*LIS*” para alinhamento lateral com a pista nem dos *PAPIS* que se encontravam desligados.

A quarta condição prevê a utilização correcta dos instrumentos, em condições *IFR*. A descolagem da pista “01” de Porto Santo (*LPPS*), seguida da intersecção da radial 213° para o *VOR* “*FUN*” e a aproximação visual para a pista “05” (*LPMA*) com volta para a direita a “D6.0” de “*FUN*”. Para além da simulação do voo-por-instrumentos, esta condição obriga, também, à aplicação de perícia / habilidades psico-motoras adquiridas em treino *PC*, mormente na aproximação visual à pista “05” da Madeira, tão conhecida pela sua dificuldade acrescida do segmento final ser realizado em volta.

*The last but not the least*, a quinta e última condição acentua ainda mais a dificuldade, exigindo um bom domínio em termos de navegação e uso dos instrumentos. Com visibilidade reduzida, 95% do tempo de voo desta condição é realizado através do auxílio dos instrumentos, sendo a orientação visual somente utilizada para a aproximação final e para a aterragem. A parte final do voo *LPLA-LPHR*, na aproximação à Horta, é realizada em

“*circling Lctr-DME*” para a pista 28, e apresenta um grau de dificuldade ainda maior. Uma boa parte desse acréscimo de dificuldade incide, por um lado, sobre a aproximação visual com fraca visibilidade, em que a pista só é avistada após o *FAF*<sup>47</sup>, já próximo do *MAP*<sup>48</sup>, tendo de se realizar uma manobra relativamente apertada para a direita, seguida do alinhamento imediato com a pista, para a esquerda, e com vento de Noroeste; por outro lado, a pista é bastante curta para a dimensão e o peso da aeronave em causa – somente 5.233 pés de comprimento – numa aterragem com peso máximo de 64,7 toneladas (mesmo em cima do limite), o que implica mais velocidade e um maior comprimento de pista utilizável. Nesta última condição, a margem para erros é ainda menor do que nas anteriores.

#### 4.4.3.2 Operações

Todos os sujeitos participantes do estudo receberam o Perfil de Voo<sup>49</sup> pré-elaborado e foram submetidos a um plano de treino com base nas operações descritas no Perfil de Voo. O treino, com a duração de 1 mês, consistiu na simulação de manobras e procedimentos, tal como está descrito. Estas sessões iniciais foram todas realizadas em simulador *PC* devidamente adaptado aos requisitos da experiência, com a parametrização adequada já apresentada. Nesta fase, houve intervenção de um *Type-Rating Instructor (TRI)* de *A320*, em sessões técnicas de esclarecimento, para elucidação acerca de realização das manobras mais complexas. Também um Comandante do mesmo Tipo de aeronave acompanhou a preparação dos candidatos antes da passagem às verificações.

No seguimento do primeiro mês de treino, os sujeitos foram confrontados com a 1ª Verificação efectuada também em simulador *PC*. O objectivo desta verificação preliminar à passagem à Verificação Final em *FS* residiu em dois aspectos: por um lado, pretendeu ser um “*checkup*” à condição dos sujeitos após o estágio mensal, e, por outro, na obtenção de resultados práticos comparativos das suas *performances* em *PC*, objecto principal do Estudo de Caso, e em *FS*, dispositivo certificado e objecto verificador da pressuposta eficácia.

---

<sup>47</sup> *Final Approach Fix*.

<sup>48</sup> *Missed Approach Point*.

<sup>49</sup> V. Perfil de Voo, Apêndice 1.

Como apresentado, o passo seguinte foi a Verificação Final, que foi realizada no mesmo dia da 1ª Verificação, com um intervalo de 4 horas.

| <i>Sujeitos</i> | <i>1 mês de Treino</i> | <i>1ª Verificação</i>  | <i>Verificação Final</i>        |
|-----------------|------------------------|------------------------|---------------------------------|
| 1               | Em simulador <i>PC</i> | Em simulador <i>PC</i> | Em <i>FS</i> “ <i>Level-D</i> ” |
| 2               | Em simulador <i>PC</i> | Em simulador <i>PC</i> | Em <i>FS</i> “ <i>Level-D</i> ” |
| 3               | Em simulador <i>PC</i> | Em simulador <i>PC</i> | Em <i>FS</i> “ <i>Level-D</i> ” |
| 4               | Em simulador <i>PC</i> | Em simulador <i>PC</i> | Em <i>FS</i> “ <i>Level-D</i> ” |
| 5               | Em simulador <i>PC</i> | Em simulador <i>PC</i> | Em <i>FS</i> “ <i>Level-D</i> ” |

**Tabela 2 – *Design* experimental.**

## 5. Apresentação e discussão de resultados

Todos os sujeitos participantes concluíram o estudo. Preliminarmente, pode adiantar-se, já, que, para o objectivo do presente, os resultados obtidos foram muito positivos, sobretudo para indivíduos sem experiência de voo real (aos comandos) nem qualquer tipo de qualificação ou instrução oficiais. Aliás, esta é uma aproximação aparentemente inédita, uma vez que os estudos realizados no mesmo âmbito geral, até à data, utilizaram pilotos reais, e não indivíduos sem qualificação alguma.

Sem prejuízo do optimismo dos resultados gerais alcançados, torna-se, não obstante, necessário apresentar em pormenor as operações efectuadas, de forma a estudar as falhas e os sucessos, para se retirarem conclusões mais elucidativas, que não somente perfunctórias, acerca da eficácia dos simuladores *PC* no treino de pilotos.

Nos Apêndices (II) estão incluídos cinco quadros em grelha de verificação comparativa do desempenho dos sujeitos, para cada fase do perfil de voo, em *PC* e em *FS*. Sem embargo, antes de se proceder a uma descrição mais pormenorizada, comece-se por apontar algumas impressões e dificuldades que os candidatos sentiram na passagem à Verificação Final em *FS*

As principais dificuldades iniciais referem-se a pequenos problemas de adaptação à máquina, por um lado, devido a factores psico-motores ligados à orientação espacial dentro do próprio *cockpit* físico perante os sistemas complexos dispostos em três dimensões reais; por outro, devido a algumas diferenças no funcionamento e operação de alguns sistemas simulados, entre *PC* e *FS* – limitações do *software COTS* utilizado – como aconteceu na tentativa de operação do *MCDU* que difere do que serviu para o estágio de treino antes da Verificação Final. Porém, serão estes problemas de somenos, perfeitamente naturais em qualquer transição, e facilmente ultrapassados após um primeiro momento de adaptação.

Segundo as impressões dos candidatos, finda a Verificação Final em *FS*, as principais dificuldades com que se depararam, em comparação com o que tiveram treinado em *PC*, incidiram, sobretudo, nos factores supra referidos. Falta, ainda, referir o aspecto psicológico. A esse nível, todos os sujeitos estavam motivados mas também algo tensos, sobretudo na Verificação Final, em que iam, pela primeira vez, sentar-se no lugar de *CMI* da aeronave para a qual tiveram treinado intensivamente por um mês. Assim, foi registada alguma tensão

inicial, pela novidade, mas também por se tratar de um exame em que iriam ser postas à prova as capacidades cognitivas e psico-motoras dos candidatos, ou seja: as aptidões individuais. No final das sessões, todos os candidatos apresentaram sinais visíveis de transpiração, não obstante a temperatura baixa registada dentro do simulador com ar-condicionado, o que prova que houve um grande esforço de concentração da parte deles.

Passarei, então, à descrição dos resultados obtidos. À 1ª Verificação, que teve lugar no final do período de treino, compareceram todos os candidatos. O já apresentado Perfil de Voo foi utilizado sem alterações, tanto nessa primeira etapa probatória como na final subsequente. Os resultados da 1ª Verificação são muito satisfatórios, na medida em que todos os sujeitos, tal como treinaram, mostraram também proficiência suficiente em simulador *PC* e cumpriram em pleno os objectivos pretendidos – tanto no voo-por-instrumentos, como nas operações mais difíceis de voo manual.

Estes resultados satisfatórios preliminares apenas comprovam que o treino das operações, baseado em simulador *PC*, na fase anterior à verificação, foi eficaz. Sem embargo, para que fique comprovada alguma eficácia potencial desses dispositivos no treino de pilotos reais, torna-se necessário ultrapassar mais uma última barreira, ou teste: a Verificação Final em *FS*. Já foi dito que este simulador tem certificação oficial e é o modelo mais fidedigno da aeronave real na qual se baseia, pelo que, desprezando alguns factores psicológicos que não são aqui relevantes<sup>50</sup>, o que é realizado em *FS* de “*Level-D*” é o mesmo que seria realizado na congénere real. Nesta lógica, não deverá ser esquecido que as ferramentas de treino (simulador *PC*), utilizadas na primeira fase e na fase imediatamente subsequente, foram as mesmas, o que terá facilitado, por ventura, o desempenho dos sujeitos na 1ª Verificação.

Para a análise dos resultados obtidos na Verificação Final, procederei, seguidamente, a uma descrição pormenorizada, para cada operação, das falhas registadas.

Como previsto no Perfil de Voo, as primeiras operações incidiram sobre os sistemas da aeronave, desde a preparação da cabine ao início dos motores. Nesta fase inicial, não se registaram falhas, tendo os sujeitos demonstrado proficiência na utilização dos sistemas – incluindo a configuração do *MCDU* que diferia em certos aspectos do *PC* para o *FS*, e da

---

<sup>50</sup> Uma vez que também o treino para *ZFTT*, que os despreza, tem toda a credibilidade e é utilizado *worldwide*.

correcta interpretação das indicações do *ECAM*. As operações seguiram as recomendações *standard* da *Airbus*. As diferenças encontradas pelos sujeitos no funcionamento do *MCDU* foram detectadas e ultrapassadas após breves momentos de adaptação.

Seguiu-se o “*taxing*” até à pista “03” via “*Mikes*” (“*taxiways*” “*M1*”, “*M2*” e “*M3*” na antiga configuração do aeroporto de Lisboa). Este processo requereu alguma orientação espacial no solo por parte dos candidatos. Todos superaram.

O processo seguinte de descolagem e circuito pela direita e aproximação de precisão à pista “03” resultou sem grandes problemas a apontar, à excepção de um dos sujeitos (“piloto 3”) que, por ansiedade, resolveu voltar para a aproximação final demasiado cedo (a cerca de 3nm de “*CP*”), o que resultou numa falha de intercepção do “*glideslope*”, tendo, contudo, efectuado o procedimento correcto de “*Go-Around*” e nova tentativa que ocorreu com sucesso. Na fase final da aproximação realizada em modo manual, somente o “piloto 4” desceu demasiado cedo, num gradiente superior ao normal de “*glidepath*” de 3°, por distração, não tendo utilizado a informação em bruto para a aproximação (“*raw data approach*”) fornecida por desvio do “*localizer*” e “*glideslope*” tanto no *PFD* como no *ND*.

Em 4/5 dos sujeitos, a primeira aterragem, que se seguiu à aproximação supra descrita, ocorreu de forma correcta, com suavidade e na zona normalmente utilizada para “*touchdown*”. Na situação referida do sujeito que efectuou uma aproximação final demasiado baixa, registou-se também uma aterragem um pouco mais brusca mas sem danificação do trem-de-aterragem: não efectuou o “*flare*” devidamente e, somente o efeito de solo final conseguiu reduzir alguma da velocidade vertical negativa, evitando algum dano no material (virtualmente); o “*touchdown*” do trem principal foi realizado muito cedo, mesmo em cima do “*threshold*” e com alguma instabilidade em “*pitch*”. Em suma, para primeira aterragem, só 1 dos candidatos não conseguiu superar a prova com sucesso, não tendo, contudo, provocado qualquer incidente, em termos de danos, à aeronave simulada.

Refira-se que a utilização dos *THR REV* na travagem foi efectuada correctamente, até aos 70 kts, ajudada com a aplicação de força nos pedais. Somente em um dos candidatos (“piloto 2”) se verificou uma adaptação difícil na aplicação de força nos pedais, na travagem, na generalidade das situações de travagem manual, provocando alguma instabilidade horizontal por falta de coordenação motora, mas sem desquite.

A segunda condição foi superada por todos os indivíduos, à excepção da situação de aproximação de precisão, manual, na qual o “piloto 3” desceu abaixo do limite mínimo do “*glideslope*”. A introdução do factor “vento lateral”, na 2ª condição, não provocou, na generalidade das situações, uma diminuição do desempenho em termos qualitativos.

A terceira condição tinha um nível de dificuldade maior. Contudo, os resultados foram muito positivos. A aproximação final à pista “35”, consideravelmente mais curta do que a anterior, para além de ser efectuada sem rádio-ajudas<sup>51</sup>, também não apresentava o auxiliar importante na final-curta para a pista: o *PAPI*, que estava desligado. Em resultado desta condição, 4/5 das aproximações foram realizadas num gradiente de descida reduzido, provocando uma passagem perigosamente baixa sobre a cidade de Lisboa. Esta falha na aproximação final à pista “35” pode também estar ligada a factores psicológicos, uma vez que em pista curta há uma preocupação acrescida de pousar logo no início da pista. Aliás, registou-se uma precipitação do “piloto 4” que efectuou o “*touchdown*” no espaço não reservado à aterragem<sup>52</sup> imediatamente antes do “*threshold*”. Certamente que os resultados das aproximações visuais (e da aterragem do quarto sujeito) teriam sido melhores se o sistema *PAPI* estivesse operacional; foi, portanto, uma dificuldade acrescida. Não obstante, as aproximações foram todas efectuadas com a aeronave estabilizada a 500 pés *R/A* (ou *AGL*).

Na quarta condição, os sujeitos provaram saber navegar com vento e fraca visibilidade, e utilizaram com sucesso os instrumentos e as rádio-ajudas (voo-por-instrumentos), e demonstraram saber ler e utilizar as cartas de navegação da *Jeppesen* fornecidas, nomeadamente a “13-1” (“*Circling VOR DME Rwy 05*”) e a “13-1A” (“*VOR Visual Approach Rwy 05*”). Até ao *VOR* “*FUN*”, traçaram correctamente a radial 213°, com início de descida a “D7.0” (*FAF*) para “*FUN*”. Após sobrevoarem o rádio-farol, a aproximação visual e aterragem foram efectuadas correctamente por 3/5 dos sujeitos. O “piloto 4” distraiu-se e falhou as altitudes de passagem nos pontos referenciais “*GELO*” e “*ROSARIO*”, a 1100 e a 750 pés<sup>53</sup> (*ALT*), respectivamente, tendo tentado a aterragem forçada com alto gradiente de descida e obtido um resultado obnóxico para a integridade do aparelho simulado: resultou na

---

<sup>51</sup> Na aproximação real de não-precisão à pista “35” de *LPPT*, o rádio-farol “*LIS*” (114.80 MHz) costuma ser utilizado na orientação lateral; na final-curta, o sistema visual *PAPI* indica o “*glidepath*” correcto.

<sup>52</sup> “*Displaced-threshold*”, espaço reservado à descolagem e rolagem (aterragem interdita).

<sup>53</sup> As altitudes correctas de passagem são: “*GELO*” at 850 *ft*; “*ROSARIO*” at 460 *ft*.

destruição de uma das asas que, numa situação real, poderia ter resultado num incêndio imediato com consequências desastrosas<sup>54</sup>. O “piloto 3” passou no “GELO” a 740 pés (ALT), tendo falhado a altitude de passagem, por 110 pés, mas sobrevoou o segundo ponto à altitude correcta e efectuou a aterragem com precisão.

Na última condição exigente, os sujeitos obtiveram bons resultados. A navegação foi efectuada correctamente segundo o Perfil de Voo, e a aproximação inicial com “circling” para a pista “28” de LPHR e a aterragem foram, também, superadas por todos os candidatos. A registar, fica, somente, o “touchdown” assimétrico realizado pelo “piloto 3” mas sem qualquer danificação material ou perigosidade. Devido ao curto comprimento da pista do aeroporto da Horta, foi utilizada toda a sua extensão na aterragem, durante a travagem.

Feita a apresentação dos resultados da experiência do Estudo de Caso, após uma análise mais aturada à performance dos sujeitos participantes nas diversas componentes do Perfil de Voo, é altura de discutir os resultados obtidos. O Comandante Paulo Soares que analisou as operações do Perfil de Voo em FS, não teve dúvidas em afirmar que, para a dificuldade do Perfil de Voo, os resultados foram positivos, sobretudo para indivíduos sem qualificação de Tipo A320 nem experiência de voo real. Em números, a prestação global dos candidatos:

| PILOTOS  | FASES SUPERADAS DO PERFIL DE VOO |      | TOTAL DE FASES DO PERFIL DE VOO |      | TAXA DE SUCESSO |        |
|----------|----------------------------------|------|---------------------------------|------|-----------------|--------|
|          | (PC)                             | (FS) | (PC)                            | (FS) | (PC)            | (FS)   |
| 1        | 37                               | 37   | 37                              | 37   | 100%            | 100%   |
| 2        | 37                               | 36   | 37                              | 37   | 100%            | 97,3%  |
| 3        | 37                               | 34   | 37                              | 37   | 100%            | 91,9%  |
| 4        | 37                               | 31   | 37                              | 37   | 100%            | 83,8%  |
| 5        | 37                               | 36   | 37                              | 37   | 100%            | 97,3%  |
| $\Sigma$ | 185                              | 174  | 185                             | 185  |                 |        |
| Moda     | 37                               | 36   |                                 |      |                 |        |
| Média    | 37                               | 34,8 |                                 |      | 100%            | 94%    |
| Var      | 0                                | 5,7  |                                 |      | 0%              | 16,4%* |
| DP       | 0                                | 2,4  |                                 |      | 0%              | 6,8%*  |

Tabela 3 – Resultados Finais da experiência do Estudo de Caso.

<sup>54</sup> O procedimento obrigatório, salvo excepções de emergência, em falha de aproximação, é o “Go-Around”.

\* Em percentagem da média.

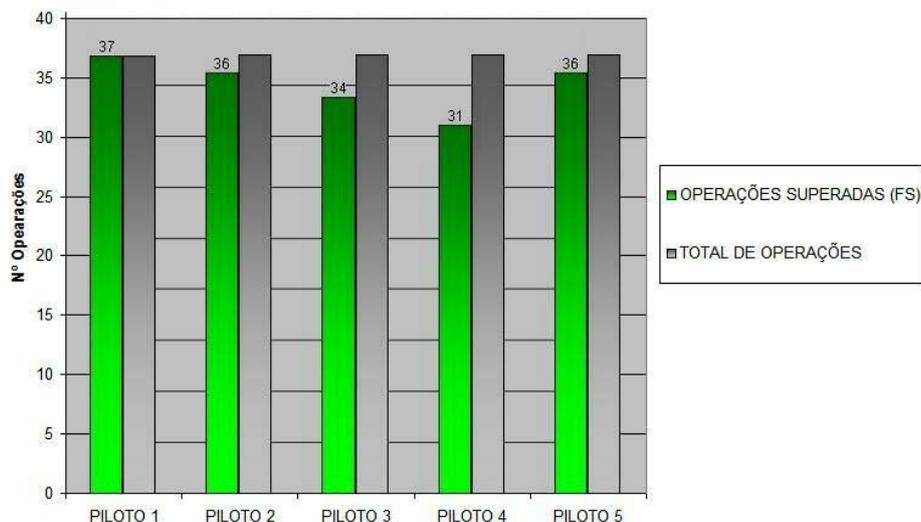
$$\text{MÉDIA} = \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$\text{VARIÂNCIA} = s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

$$\text{DESVIO-PADRÃO} = \sigma = \sqrt{s^2}$$

**Equação 2 – Fórmulas utilizadas: Média, Variância e Desvio-Padrão.**

Num total de 185<sup>55</sup> fases de operações efectuadas em *FS*, somente não foram superadas 11. Um dos candidatos teve uma taxa de sucesso em *FS* de 100%, sendo o pior desempenho de 83,8%. Com taxas de sucesso elevadas, a média situa-se nos 94%, o que é muito positivo, e a consistência dos resultados é confirmada pela variância que é de, somente, 16,4% da média.



**Figura 50 – Gráfico dos resultados finais em *FS*.**

Os resultados obtidos indicam que, após as sessões de treino em *PC*, os sujeitos foram capazes de replicar os procedimentos em *FS*. O sucesso dessa replicação assenta, por um lado, no desenvolvimento da estrutura cognitiva, em que se insere a aprendizagem e o funcionamento dos sistemas da aeronave, a navegação e o voo-por-instrumentos; por outro lado, resulta do desenvolvimento da estrutura psicomotora, em que se insere o treino pericial necessário ao controlo da aeronave em voo manual, e, também, a orientação espacial.

<sup>55</sup> 37 fases de operações/candidato x 5 candidato = 185 fases de operações.

A principal causa das falhas detectadas na verificação em *FS* deveu-se à distração por parte dos sujeitos em manobras mais complexas em que os tempos de reacção são menores. Nas aproximações finais, já em linha de vista com a pista de aterragem, a tendência registada, na generalidade dos sujeitos, foi a de negligenciar parcialmente as informações dos instrumentos primários – como o indicador de *IAS*, o indicador de *V/S* ou o horizonte artificial – mostrados no *PFD*, e fixar a visão no exterior. Este fenómeno resultou em alguma dificuldade de realização de algumas aproximações, provocando ora descidas abaixo do nível normal do “*glideslope*” (na aproximação ao aeroporto de Lisboa) com conseqüente aviso sonoro, ora em falhas nas passagem sobre os pontos referenciais (na aproximação visual à Madeira) ora, até, “*touchdowns*” com assimetria ligeira. A complexidade do modelo físico e do ecrã de projecção, e a maior distância de *scanning* visual aos instrumentos requerida pode estar na base da explicação do fenómeno.

Também, nas aterragens, registaram-se tentativas precipitadas de fazer o “*touchdown*” logo no início da pista, pela generalidade dos candidatos, o que pode ter resultado de factores psicológicos relacionados com o medo de falhar e de não ter tempo nem espaço de pista para corrigir eventuais erros, mesmo na longa pista “03” do aeroporto Lisboa.

A componente do treino que gerara mais expectativa, quanto aos resultados finais em *FS*, foi a da perícia / habilidades psicomotoras e a da orientação espacial, uma vez que se já tinha demonstrado oficialmente, através de estudos comissionados pela norte-americana *FAA*, e outrora referidos amiúde, a eficácia dos simuladores *PC* – nomeadamente *PCATDs* – no treino do voo-por-instrumentos. A orientação espacial foi demonstrada em duas fases: no solo, durante a fase de “*taxing*”, da “*gate*” para a pista do aeroporto, e, no ar, na 3ª condição, em voo manual, em que não foi permitida a utilização de rádio-ajudas. As habilidades mecânicas foram demonstradas, sobretudo, durante a 2ª e 3ª condições, e, nas aproximações finais visuais às pistas “05” (Madeira) e à “28” (Horta), muito técnicas.

O jogo de simulação, utilizado para o treino preliminar, apresentou algumas limitações, nomeadamente na simulação dos sistemas da aeronave: alguns sistemas não eram simulados e outros apresentavam diferenças de funcionamento em comparação com os da congénere real e com os do *FS* de “*Nível-D*”. Esta discrepância resultou em algum tempo de adaptação, por parte dos sujeitos, não tendo, contudo, causado algum impedimento à prossecução das operações. Ficou também evidente que a utilização de *software* de simulação, de raiz,

específico, adaptado ao mesmo fim, possibilitaria uma preparação ainda melhor dos sujeitos submetidos ao teste, reduzindo os tempos de adaptação aos sistemas reais.

Após a experiência, em entrevista aos sujeitos examinados, ficou em todos clara a noção de que um *FS* de “*Nível-D*” é uma máquina muito complexa, e que, para efeitos de treino em *MCC* (ou *CRM*, no conceito da *Airbus*) torna-se imperativo a existência de um modelo físico de simulação (*cockpit*) complexo e robusto. Para mais, o *software* utilizado em *PC* não simulava de forma correcta a duplicação dos sistemas.

Ao nível da qualidade gráfica, constatou-se o maior detalhe do cenário e seus objectos em *PC*, uma vez que, no *FS*, somente os detalhes aeronáuticos mais relevantes, incluindo os declives das pistas de aterragem, estavam retratados, não obstante a visão mais realista “*out-of-the-window*” projectada em ecrã redondo, de 180°, do simulador “*full-size*”.

De resto, com *software* de simulação *PC*, é possível transmitir conhecimentos importantes ao nível dos sistemas e desenvolver perícia imprescindível para o treino. Reconhecendo algumas limitações da experiência, não deixaria, contudo, de ter interesse a realização de uma nova experiência com uma amostra de indivíduos maior, incluindo elementos do sexo feminino nos quais factores relacionados com a psicomotricidade e a orientação espacial poderiam fazer variar alguns dos resultados obtidos. Também a utilização de *software* de simulação mais bem adaptado, que não *COTS*, traria benefícios no desempenho dos sujeitos.

Não parece ser despicienda a constatação de o melhor resultado da experiência ter sido obtido pelo elemento de menor idade (“piloto 1”), e, opostamente, o “piloto 4” ser o elemento de maior idade e também o que pior resultado alcançou. A maior familiaridade para com a tecnologia adoptada e capacidade de absorção de conhecimentos, apanágio das populações mais jovens, poderia, aparentemente, explicar a discrepância dos resultados. De facto, em ambiente de treino real, o *feedback* do instrutor/examinador Alexandre Matias corroborou esta tendência, na medida em que, habitualmente, os seus instruendos mais jovens em treino de qualificação de Tipo “*A319/320/321*”, mais habituados à tecnologia digital, aos computadores e aos jogos de simulação para *PC*, aprendem mais rapidamente o funcionamento dos sistemas digitais e mais facilidade têm em se adaptar às exigências do treino a nível psicomotor. Todavia, para se traçar uma linha tendencial mais precisa, seria necessário alargar a amostra de indivíduos, como se disse.

## 6. Conclusões e recomendações

O objectivo da Dissertação consiste na demonstração das potencialidades das TI para *PC* na formação do pessoal aeronáutico. Como postulado, foi evidenciada a importância da simulação como TI para *PC* na formação de piloto-aviadores.

Face ao ensino tradicional, a simulação permite um treino seguro, eficaz, com custos reduzidos e com optimização do tempo. Estimula as estruturas cognitiva e psicomotora dos formandos, e consolida os conceitos apreendidos nas aulas teóricas. Do ponto de vista da teoria pedagógica, a simulação interactiva, baseada numa mistura eficaz de um modelo físico – incluindo sistemas visual e/ou de movimento e dispositivos periféricos variados – com um modelo matemático dinâmico, leva à participação do formando na sua própria formação. Como complemento pedagógico, a simulação é uma mais-valia, pois possibilita uma aproximação superior ao objecto de estudo real, empiricamente, através de perícia / habilidades práticas, ou *procedural skills*, face ao ensino em sala-de-aula baseado na descrição de conhecimento, ou *declarative knowledge*.

A simulação de voo, como hoje a conhecemos, é possível graças ao avanço tecnológico que permitiu a criação de ambientes complexos de realidade virtual, com interacção humana, ou simulações “*human-in-the-loop*”. Os simuladores de voo para *PC*, não obstante o seu modelo físico reduzido, apresentam-se como instrumentos de treino eficazes e com potencial ainda por explorar. O Estudo de Caso elaborado foi desenvolvido no sentido da demonstração da sua pressuposta eficácia. Assim, com a experiência do Estudo de Caso, ficou demonstrado que o treino baseado em simuladores *PC* tem eficácia:

1. na assimilação de conhecimentos teóricos em indivíduos (processo cognitivo), nomeadamente no funcionamento dos sistemas da aeronave e de procedimentos específicos durante o voo, através da simulação de *cockpits* virtuais com painéis de instrumentos fidedignos, incluindo a interpretação da situação e da instrumentação necessários à navegação e ao voo-por-instrumentos;
2. no desenvolvimento pericial / habilidades motoras, ou *skills*, (processo psicomotor percepção–acção), nomeadamente: no controlo da aeronave em voo manual, através do treino sintético em modelo de voo preciso, onde se inclui, da parte do indivíduo, a

precisão e a coordenação dos movimentos, e, da parte da máquina, a correcta parametrização dos dispositivos de controlo;

3. no reconhecimento geográfico e no treino em orientação espacial, através da utilização de cenários geográficos bem elaborados.

Definiu-se a eficácia da simulação como a transmissão positiva de conceitos cognitivos e de perícia / habilidades psico-motoras, na relação directa com o preenchimento dos requisitos pretendidos para o treino. Tenha-se, como parâmetro comparativo geral, os requisitos pedagógicos gerais, ou grupos de requisitos, de um treino prático avançado de pilotos, que são, no sentido mais lato: o treino com os sistemas da aeronave, incluindo procedimentos de emergência; o treino em navegação e voo-por-instrumentos; o treino no controlo da aeronave em modo manual, através do desenvolvimento pericial; finalmente, o treino em cooperação de tripulação múltipla (*MCC*). Assentando nos quatro grupos de requisitos maiores supra referidos, diga-se que, com custos baixos, os simuladores *PC* conseguem preencher até  $\frac{3}{4}$  desses grupos de requisitos.

Aparentemente, apenas o treino em *MCC* não é passível de ser eficazmente simulado em ambiente *PC*, uma vez que implica a existência de um modelo físico complexo ou de sistemas duplicados de funcionamento independente para os dois tripulantes, CM1 e CM2. Não obstante, o contínuo desenvolvimento de tecnologias e equipamento de realidade virtual perspectiva, já, uma utilização futura possível de ambientes 100% virtuais como substituição dos dispendiosos modelos de *cockpit* físicos utilizados actualmente para a formação de pilotos em qualificação de Tipo de aeronave. A este nível, é já possível distinguir alguns materiais com relevância, tais como: capacetes para realidade virtual (binoculares estereoscópicos), luvas detectoras de flexão e abdução dos dedos, e anéis que medem as coordenadas 3D das localizações dos dedos. Este género de equipamento, a ser desenvolvido especificamente para o efeito pretendido, possibilitará a utilização do chamado “voo de cadeira”<sup>56</sup> ao mais alto nível, incluindo para treino em *MCC* com custos incomparavelmente inferiores.

---

<sup>56</sup> Na gíria aeronáutica, aplicado à simulação básica de procedimentos em voo, no solo.

À data da Dissertação pode dizer-se, em traços largos, que é possível recrear, em simulador *PC*, um ambiente de treino sintético que satisfaz, com eficácia,  $\frac{3}{4}$  dos grupos de requisitos técnicos pedagógicos referidos, com custos de implementação inferiores a 5 mil Euros, *versus*  $\frac{4}{4}$  (100% dos requisitos) preenchidos pelos *FS* de “*Level-D*” a custos da ordem dos 15 milhões de Euros (fora custos de operação contínuos). É nesta charneira que os simuladores *PC* podem e devem ser convenientemente explorados, reduzindo os custos da formação e aumentando a utilização eficaz dos equipamentos mais dispendiosos, com vista a melhorar o *ROI* do negócio das escolas / centros de formação em pilotagem de aeronaves.

O que mais faz aumentar o custo dos sistemas de simulação, no treino, é o modelo físico e os visuais exteriores. Os simuladores com certificação *FS* “*Level-D*” têm modelos físicos e sistemas de projecção visual muito complexos e onerosos. Por comparação com os sistemas fisicamente robustos, os simuladores *PC* incluem modelos físicos de simulação menos fidedignos ou quase nulos, mas reforçam o modelo dinâmico de simulação, a representação virtual dos sistemas e os visuais mais ricos e detalhados, tudo com custos muito reduzidos. À excepção do modelo físico, é possível obter uma fidelidade de simulação em *PC*, no mínimo, igual à existente actualmente em sistemas complexos e dispendiosos. Para mais, estudos demonstraram que o movimento físico não é factor preponderante em grande parte das aplicações de treino em simulação de voo, o que potencia a aplicação dos simuladores *PC*.

Assim sendo, a resposta à questão da eficácia da simulação no treino, com custos reduzidos, será, portanto, de anuência, porém com a ressalva importante de que essa eficácia varia consoante o objectivo pretendido, tendo-se já visto que há áreas em que a simulação *PC* não satisfaz bem os requisitos. Nestas circunstâncias, nomeadamente no treino em *MCC*, torna-se preferível o recurso a simuladores de voo mais complexos e de custo muito superior.

Para efeitos de um treino em qualificação de Tipo, ou *Type-Rating*, os simuladores *PC* não surgem como substituto completo do treino em *FS*, no processo de aprendizagem. Na perspectiva aqui apresentada e defendida, podem por um lado, como complemento, aumentar a eficácia do treino, e, em substituição parcial, diminuir horas nos dispendiosos simuladores, por outro, reduzindo, assim, os custos com a formação. O mesmo se aplica aos diferentes cursos de pilotagem aeronáutica, incluindo para a licença de Piloto Particular de Avião, no qual a utilização de simuladores de voo para *PC* pode e deve surgir como complemento e,

até, substituição parcial das horas de voo real em aeronave ou em dispendiosos simuladores actualmente certificados para o efeito.

O âmbito da formação de pilotos, em relação à utilização das TI para *PC*, estende-se até à manutenção de pilotos já devidamente licenciados e/ou qualificados. A actividade pós-formação é, pois, a continuação do processo de aprendizagem inicial dos formandos, podendo estes beneficiar desta aplicação tecnológica ao longo de todo o seu percurso aeronáutico. Nestes trâmites, os simuladores *PC* são actualmente utilizados por pilotos para: reconhecimento geográfico de áreas com as quais não estão familiarizados, e para testar mínimos em situações específicas de aproximação visual ou por-instrumentos.

Relativamente ao modelo de formação de pilotos, sugerir-se-ia a mistura eficaz de utilização do *CBI* com a Simulação. O processo de aprendizagem ideal, no modelo defendido:

1. Instrução presencial com recurso ao *CBI-CMI* (incluindo multimédia digital), complementada por apresentações “*datashow*” guiadas por instrutor qualificado;
2. Treino de sistemas: simulador *PC*, como continuação do *CBI*, ou aplicação prática;
3. Treino de voo sintético: simulador *PC* devidamente adaptado e configurado;
- 4a. Passagem ao simulador de voo *FS* “*Level-D*” (cursos para *ZFTT* em *Type-Rating*); ou;
- 4b. Passagem ao simulador *FTD* ou *FNPT* (nos cursos com treino em *MCC*); ou;
- 4c. Passagem à aeronave real (restantes cursos).

O facto de muitos dos centros de formação aeronáutica actualmente existentes não adoptarem nem estimularem os seus instrutores e formandos a utilizarem simuladores *PC* deve-se, maioritariamente, à falta de certificação pelas autoridades aeronáuticas que, na Europa, dependem da *JAA*. Esta constatação surge na medida em que, para estimular e amplificar a utilização de simuladores e TI para *PC* por parte das escolas / centros de formação em pilotagem de aeronaves (incluindo *FTOs* e *TRTOs*), não é condição suficiente a existência de estudos relevantes que comprovem a sua eficácia tal como aqui apresentado. É, pois, fundamental que as autoridades aeronáuticas competentes passem a certificar, progressivamente, este género de equipamentos. Para mais, esta condição torna-se um imperativo, numa perspectiva de substituição (mesmo parcial) de horas de voo real ou de dispositivos certificados e mais dispendiosos.

Comparando os resultados do Estudo de Caso com o *status quo* da aviação civil na Europa e em Portugal, afigura-se necessária uma alteração estratégica superior com vista a reformular o processo de certificação de dispositivos-de-treino-sintético, e a definir requisitos para as certificações referentes. Nesta linha, a norte-americana *FAA* pode ser referida como exemplo de boas-práticas, uma vez que é a precursora na certificação de simuladores *PC* para os cursos de pilotagem, nomeadamente para o treino na qualificação de voo-por-instrumentos. É, pois, um exemplo a seguir.

Agora que na Europa começa-se já a estruturar a *European Aviation Safety Agency (EASA)*, organização que tem na segurança e uniformização as suas traves-mestras, poderá ser a altura certa para impulsionar a expansão das TI para *PC* aplicadas à formação aeronáutica, reconhecendo as suas qualidades na formação de pilotos, tal como já acontece com outros dispositivos-de-treino-artificial mais dispendiosos.

Não obstante as limitações legais referidas, já se verifica alguma adesão, por parte dos centros de formação, às TI para *PC*, tanto a nível *worldwide* como nacional, nas vertentes civil e militar, o que, por si só, é um indicador positivo de acreditação na sua eficácia e potencialidades específicas, que são: o custo, o transporte, a utilização e a configuração.

Actualmente utilizadas nos principais centros de formação aeronáutica, nas suas mais diversas vertentes, as TI para *PC* são ferramentas eficazes no âmbito da formação aeronáutica de pilotos, controladores de tráfego aéreo, técnicos de manutenção e de engenheiros. A par dos benefícios comprovados do *CBI*, entre outras aplicações, a simulação é uma vertente com potencial comprovado mas ainda por desenvolver. O presente estudo teve como objectivo a demonstração da sua eficácia aplicacional na formação de pilotos, insistindo também nas potencialidades da simulação em outras áreas que não somente o voo em si, como ficou demonstrado nos cenários sintéticos geográficos aplicados no próprio Estudo de Caso.

No que concerne ao treino pericial / habilidades psicomotoras, o princípio defendido e aqui demonstrado, dos benefícios em termos de perícia ou destreza que a simulação *PC* pode conferir, poderá ainda estender-se a outras vertentes de aplicação. Tal como referido, a condução de veículos automóveis poderá, de igual forma, beneficiar significativamente com a adopção de simuladores para *PC*: máquinas simples, económicas mas eficazes. Interessante seria, pois, realizar-se uma abordagem semelhante à que foi adoptada na presente

Dissertação, no sentido de comprovar e de tentar saber até que ponto o treino de condução automóvel poderá beneficiar com a adopção de simuladores *PC*.

Sem prejuízo da credibilidade dos resultados obtidos ao nível do treino psicomotor, interessante seria levar a cabo uma nova experimentação, em moldes idênticos, mas adaptada ao treino em aeronave ligeira e às regras de voo visual. Nestas circunstâncias, a maior necessidade de orientação espacial com recurso à visão exterior, e a maior dependência das sensações físicas, resultantes do voo em aeronave ligeira, para a percepção da situação de voo, poderia apresentar resultados diferentes dos obtidos no Estudo de Caso apresentado, este realizado em aeronave de massa e velocidade superiores.

Na continuação do presente estudo e da sua aplicação prática, outro trabalho não menos meritório passaria pela definição dos requisitos técnicos mínimos para a certificação de simuladores para *PC* na formação de pilotos, e pela definição do número de horas de voo real passíveis de serem substituídas por horas em simulador *PC*. Teria, portanto, de ser criada legislação para o efeito, sujeita a aprovação por parte da autoridade aeronáutica.

A formação aeronáutica comportará, sempre, custos relativamente elevados. Não obstante, a aplicação das TI para *PC* como complemento e, quanto possível, em substituição óptima e parcial dos dispositivos-de-treino-sintético fisicamente mais robustos e dispendiosos, proporcionará, por um lado, a redução dos custos totais com a formação, e, por outro, um aumento da eficácia geral do treino.

Após tudo o que foi dito e constatado, aliando a eficácia aos custos baixos, as TI para *PC* parecem, pois, ser a aposta acertada dos centros de formação aeronáutica por todo o Globo.

## Referências bibliográficas

- [BERINGER, 1996] BERINGER, Dennis, *Use of Off-The-Shelf PC-Based Flight Simulators for Aviation Human Factors Research*. US Department of Transport – Federal Aviation Administration – Office of Aviation Medicine, Washington DC, 1996.
- [BRADSHAW *et al.*, 1999] BRADSHAW, Gary *et al.*, *The Potential of Subject Estimates of Transfer*. University of Illinois – Institute of Aviation – Aviation Research Lab, Savoy, 1999.
- [BÜRKI-COHEN *et al.*, 2003] BÜRKI-COHEN, Judith *et al.*, “Simulator Fidelity Requirements for Airline Pilot Training and Evaluation Continued: an Update on Motion Requirements Research”. *Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Symposium on Aviation Psychology*, 2003.
- [CAPPER & COPPLE, 1985] CAPPER, J.; COPPLE, C., *Computer Use in Education: Research Review and Instructional Implications*. Center for Research into Practice, Washington, 1985.
- [CASAS, 1996] CASAS, L. *et al.*, *Construção de Conhecimento por Imersão em Ambientes de Realidade Virtual*. Anais VII. Simpósio Brasileiro de Informática na Educação. Belo Horizonte, 1996.
- [CRAWFORD, 1982] CRAWFORD, Chris, *The Art of Computer Game Design*. Washington State University, 1982.
- [DENNIS, 1994] DENNIS, K., *Computer-Based Simulation as Adjunct to the Initial Stages of Private Pilot Device Training*. Cranfield University, 1994.

- [FISHER *et al.*, 2002] FISHER, Donald *et al.*, “Use of a Fixed-Base Driving Simulator to Evaluate the Effects of Experience and PC-Based Risk Awareness Training on Drivers' Decisions”. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 2002.
- [FORTUNA, 2000] FORTUNA, Tânia, “Sala da aula é lugar de brincar?”, in Xavier, M., *Planejamento: Análises menos convencionais*. Mediação, Porto Alegre, 2000.
- [HALL, 1989] HALL, J. R., *The Need for Platform Motion in Modern Piloted Flight Training Simulators*. Royal Aerospace Establishment, London, 1989.
- [HAMPTON *et al.*, 1994] HAMPTON, S. *et al.*, *The Use of Personal Computer-Based Training Devices in Teaching Instrument Flying: A comparative study*. Daytona Beach, 1994.
- [KARP *et al.*, 1999] KARP, Merrill *et al.*, “Aviation Education for Future Airline Pilots: An Integrated Model”. *International Aviation Training Symposium*, FAA Academy, 1999.
- [LAUDON, 2002] LAUDON, Kenneth; LAUDON, Janet, *Management Information System: Managing the Digital Firm*. Prentice Hall, 2002.
- [LONGRIDGE *et al.*, 2001] LONGRIDGE, Thomas *et al.*, “Simulator Fidelity Considerations for Training and Evaluation of Today’s Airline Pilots”. *Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Symposium on Aviation Psychology*, The Ohio State University Press, 2001.
- [MURNANE, 2000] MURNANE, John, *Simulation reality: mouse clicks or bottle-tops?*. University of Melbourne, Melbourne, 2000.

- [MCALEESE, 1994] McALEESE, R., “Locus of Control: does hypertext make adaptative/intelligent systems obsolete?”, in Gloor, P. et al., *How should Hypermedia Authoring Systems for Computer Aided Instruction Look Like?*. 1994.
- [MENN, 1993] MENN, Don, “Multimedia in Education: Arming Our Kids For the Future”. *PC World II*, 1993.
- [NAJJAR, 1996] NAJJAR, L., *The effects of multimedia and elaborative encoding on learning*. Georgia Institute of Technology, Atlanta, 1996.
- [O’HARE, 2001] O’HARE, David, *The Future Is Already Happening: Training Aeronautical Skills in Virtual Environments*. University of Otago – Department of Psychology – Cognitive Ergonomics and Human Decision Making Laboratory, Dunedin, 2001.
- [ORTIZ, 1994] ORTIZ, G., “Effectiveness of PC-Based Flight Simulation”. *The International Journal of Aviation Psychology*, 1994.
- [PHILIPS *et al.*, 1993] PHILIPS, S. *et al.*, “Uses of part-task trainers in instrument flight training”. *Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Symposium of Aviation Psychology*, 1993.
- [PIAGET, 1980] PIAGET, Jean, *Les formes élémentaires de la dialectique*. Gallimard, Paris, 1980.
- [PIKE, 2001] PIKE, William; FINKELSTEIN, Neal, *The Use of PC Games for Advanced Distributed Learning in the Army to Facilitate Memory Retention*. US Army Simulation Training and Instrumentation Command (STRICOM), 2001.

- [SAND, 1999] SAND, Kurt; SCHOENFELDER, Jason, “Simulation Coupled With CBT Creating a Comprehensive Training Tool That Increases Transfer”. *International Aviation Training Symposium*, 1999.
- [SEDGWICK, 1986] SEDGWICK, H., *Handbook of Perception and Human Performance: Sensory Processes and Perception*. John Wiley and Sons, New York, 1986.
- [SMITH, 2005] SMITH, Brent; PIKE, William, *Gaming Technology Evaluated for Simulation and Training*. Engineering & Computer Simulations, Inc. (ECS) / US Army Simulation Training and Instrumentation Command (STRICOM), 2005.
- [TALLEUR *et al.*, 1997] TALLEUR, Donald *et al.*, “Effectiveness of an Integrated Instrument Training Syllabus Using a Personal Computer and a Certified Ground Trainer”. *Proceedings of the Ninth International Symposium on Aviation Psychology*, University of Illinois, Columbus, 1997.
- [TAYLOR *et al.*, 1996] TAYLOR, Henry *et al.*, *Transfer of Training Effectiveness of Personal Computer-Based Aviation Training Device*. University of Illinois – Institute of Aviation – Aviation Research Lab, Savoy, 1996.
- [TAYLOR *et al.*, 1999] TAYLOR, Henry *et al.*, “Transfer of Training Effectiveness of a Personal Computer Aviation Training Device”. *International Journal of Aviation Psychology*, 1999.
- [TAYLOR *et al.*, 2000] TAYLOR, Henry *et al.*, *Evaluating of a Personal Computer Aviation Training Device to Meet Recency of Experience Requirements*. University of Illinois – Institute of Aviation – Aviation Research Lab, Savoy, 2000.

- [TAYLOR *et al.*, 2001] TAYLOR, Henry *et al.*, *Incremental Training Effectiveness of Personal Computers Used for Instrument Training*. University of Illinois – Institute of Aviation – Aviation Research Lab, Savoy, 2001.
- [TAYLOR *et al.*, 2002] TAYLOR, Henry *et al.*, *Incremental Training Effectiveness of Personal Computers Used for Instrument Training: Basic Instruments*. University of Illinois – Institute of Aviation – Aviation Research Lab, Savoy, 2002.
- [TAYLOR *et al.*, 2003] TAYLOR, Henry *et al.*, *Effectiveness of Personal Computers to Meet Recency of Experience Requirements*. Office of Aerospace Medicine, Washington, 2003.
- [TAYLOR *et al.*, 2004] TAYLOR, Henry *et al.*, *The Effectiveness of a Personal Computer Aviation Training Device, a Flight Training Device, and an Airplane in Conducting Instrument Proficiency Checks*. University of Illinois – Institute of Aviation – Aviation Human Factors Division, Savoy, 2004.
- [TAYLOR *et al.*, 2005] TAYLOR, Henry *et al.*, *The Effectiveness of a Personal Computer Aviation Training Device (PCATD), a Flight Training Device (FTD), and an Airplane in Conducting Instrument Proficiency Checks*. University of Illinois – Institute of Aviation – Aviation Research Lab, Savoy, 2005.
- [VYGOTSKY, 1985] VYGOTSKY, Lev, “La méthode instrumentale en psychologie”, in B. Scneuwly & J. Bronckart, *Vygotsky aujourd’hui*. Delachaux et Niestlé, Paris, 1985.
- [WIGGINS, 2002] WIGGINS, Michael *et al.*, *A Study of Training Devices Used by Flight Training Organizations*. Embry-Riddle Aeronautical University, 2002.

- [WIGGINS, 2003] WIGGINS, Michael; CROGNALE, Michael W., “Use of Training Devices in General Aviation Training Programs”. *FAA Human Factors (AAR-100) Year 2003 Program Review*, Reno, 2003.
- [WILLIAMS, 2001] WILLIAMS, Kevin, *Qualification Guidelines for Personal Computer-Based Aviation Training Devices: Private Pilot Certificate*. Civil Aerospace Medical Institute, Federal Aviation Administration, Oklahoma City, 2001.
- [ZYSKOWSKY, 2003] ZYSKOWSKY, Michael, “Aircraft Simulation Techniques Used in Low-Cost, Commercial Software”. *AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference and Exhibit*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Austin, 2003.

#### **Artigos em sítios e revistas electrónicas**

- [KELLY, 2003] KELLY, Henry, “Education for Tomorrow Needs Innovation Today”. *Carnegie Reporter*. Página consultada em 12 de Maio de 2005, <<http://www.carnegie.org/reporter/06/backpage/index.html>>
- [NTSA] “Why Use Simulation? – Return-On-Investment”. *National Training Systems Association*. Página consultada em 13 de Maio do ano de 2005, <<http://www.trainingsystems.org/publications/simulation/roi.cfm>>
- [HICK, 1997] HICK, Steven, “Beneficts of Interactive Multimedia Courseware”. *Carleton University*. Página consultada em 17 de Maio do ano de 2005, <<http://http-server.carleton.ca/~shick/mypage/benifit.html>>

### **Documentos e relatórios governamentais**

[GAO, 1999] US General Accounting Office, *Aviation Safety – Research Supports Limited Use of Personal Computer Aviation Training Devices For Pilots*. Washington DC, 1999.

### **Leis**

[DL-17A, 2004] Decreto-Lei n.º 17-A/2004. “D.R. Série A 338 (04-01-16).

### **Dicionários e Enciclopédias**

[DIC 2001] *Dicionário da Língua Portuguesa Contemporânea*, Academia das Ciências de Lisboa, 2001.

[ENC 1997] *Collier’s Encyclopedia*, 24 volumes, Collier’s, New York, 1997.

### **Dissertações Académicas**

[ARTWICK, 1975] ARTWICK, Bruce, “*A versatile computer-generated dynamic flight display*”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Eléctrica. University of Illinois, 1975.

[KARP, 1996] KARP, Merril, “*Theoretical Aviation Training for Future Airline Pilots*”, Dissertação de Doutoramento. Walden Eniversity, Minneapolis, 1996.

[MARQUES, 2004] MARQUES, João, “Curso de Promoção a Sargento-Chefe da Força Aérea Portuguesa – uma perspectiva para um ensino alternativo, eficaz e ajustado ao seu perfil profissional”, Dissertação de Mestrado em Gestão de Sistemas de Informação. ISCTE-DCTI, Lisboa, 2004.

## Sítios da Internet relacionados

<http://otis.grc.nasa.gov>  
<http://psy.otago.ac.nz/cogerg/>  
<http://www.aa9pw.com/>  
<http://www.aerosim.com/>  
<http://www.aerotraining.com/>  
<http://www.ansoft.com>  
<http://www.arenasimulation.com/>  
<http://www.cae.com/>  
<http://www.carnegie.org/>  
<http://www.cimpact.ch>  
<http://www.ecsorl.com/>  
<http://www.faa.gov/>  
<http://www.flightsafety.com/>  
<http://www.flightsim.com/>  
<http://www.flyelite.com/>  
<http://www.flypfc.com/>  
<http://www.gecat.com/>  
<http://www.goldsim.com/>  
<http://www.honeywelltraining.com/>  
<http://www.imaginethatinc.com/>  
<http://www.jaa.nl/>  
<http://www.jepesen.com/>  
<http://www.microsoft.com/games/flightsimulator/>  
<http://www.mathworks.com>  
<http://www.mscsoftware.com>  
<http://www.ogma.pt/>  
<http://www.simsript.com/>  
<http://www.trainingsystems.org/>  
<http://www.ubi.pt/>  
<http://www.wicat.com/>  
<http://www.x-plane.com/>  
<https://wwwcfs.cnet.navy.mil/microsimptt/>

## **Tábua de siglas e abreviaturas**

3D – 3 Dimensões

A/SKID – *Anti-Skid*

A/P – *Autopilot*

A/T – *Autothrust*

AAC – *Actividade Aérea Curricular*

AC – *Advisory Circular*

ACFS – *Advanced Concepts Flight Simulator*

ACP – *Automóvel Clube de Portugal*

ADF – *Automatic Direction Finder*

ADIRS – *Air Data / Inertial Reference System*

AFA – *Academia da Força Aérea*

AFT – *Afterwards*

AGL – *Above Ground Level*

ALT – *Altimeter*

AOM – *Aircraft Operating Manual*

APPR – *Approach*

APU – *Auxiliary Power Unit*

ATC – *Air Traffic Control [Controller]*

ATCS – *Air Traffic Control Simulator*

ATPL – *Airline Transport Pilot Licence*

AUTO – *Automatic*

AVAIL – *Available*

BA – *Base Aérea*

BARO – *Barometer*

BITD – *Basic Instrument Training Device*

CAB – *Cabin*

CAD – *Computer-Aided Design*

CAE – *Computer-Aided Engineering*

CAI – *Computer Assisted Instruction*

CAUT – *Condutores de Automóvel*

CBI – *Computer-Based Instruction*

CBM – *Curriculum-Based Measurement*

CBT – *Computer-Based Training*  
CCPAC – Curso de Conversão de Pilotagem em Aviões de Combate  
CDI – Centro de Documentação e Informação  
CFD – *Computacional Fluid Dynamics*  
CFMTFA – Centro de Formação Militar e Técnica da Força Aérea  
CKPT – *Cockpit*  
CM1 / CM2 – *Crew Member 1 / Crew Member 2*  
CMA – Centro de Medicina Aeronáutico  
COMTE – Comandante  
CONF – *Configuration*  
COTS – *Commercial Off-The-Shelf*  
CPCAR – Curso de Pilotagem Complementar em Aviões a Reacção  
CPL – *Commercial Pilot Licence*  
CPSCH – Curso de Promoção a Sargento-Chefe  
CPT – *Captain*  
CPU – *Central Processing Unit*  
CRM – *Crew Resource Management*  
CRZ – *Cruise*  
CTA – Controlo [/Controlador] de Tráfego Aéreo  
CVSRF – *Crew Vehicle Systems Research Facility*  
DCTI – Departamento de Ciências e Tecnologias da Informação  
DED – Departamento de Engenharia de Desenvolvimento  
DGV – Direcção-Geral de Viação  
DME – *Distance Measuring Equipment*  
DMS – *Dynamic Mission Simulator*  
DVD – *Digital Versatile Disc*  
DH – *Decision Height*  
EAC – Ensino Assistido por Computador  
EAD – Ensino à Distância  
EASA – *European Aviation Safety Agency*  
ECAM – *Electronic Centralized Aircraft Monitor*  
ECS – *Engineering & Computer Simulations*  
EGLC – Código ICAO para *London City Airport*  
EGLL – Código ICAO para *Heathrow Airport (London)*

EICPAC – Esquadra de Instrução Complementar de Pilotagem de Aviões de Combate

ELAC – *Elevator and Aileron Computer*

ENG – *Engine*

EXT PWR – *External Power*

EUA – Estados Unidos da América

ESTOL – *Extreme Short Take-Off and Landing*

FAA – *Federal Aviation Administration*

FAC – *Flight Augmentation Computer*

FAF – *Final Approach Fix*

FAP – Força Aérea Portuguesa

FAR – *Federal Aviation Regulations*

FBS – *Fixed Base Simulator*

FCL – *Flight Crew Licensing*

FCOM – *Flight Crew Operating Manual*

FCU – *Flight Control Unit*

FD – *Flight Director*

FFC – *FutureFlight Central*

FFS – *Full Flight Simulator*

FL – *Flight Level*

FLT – *Flight*

FLT NBR – *Flight Number*

FLOP – *Floating Point Operation*

FMC – *Flight Management Computer*

FMGS – *Flight Management and Guidance System*

FMS – *Flight Management System*

FNPT – *Flight and Navigation Procedures Trainer*

F/O – *First Officer*

FOB – *Fuel On Board*

FS – *Flight Simulator (“JAR-STD-1A”)*

FT – *Feet*

FTD – *Flight Training Device*

FTO – *Flight Training Organization*

FWD – *Forward*

GA – *General Aviation*

GB – *Giga-Byte*

GCLA – Código ICAO para *La Palma Airport* (Palma de Maiorca, Canárias, Espanha)

GEN – *Generator*

GHz – *Giga-Hertz*

GND – *Ground*

GPS – *Global Positioning System*

GPU – *Geometry-Processing Unit*

GUI – *Graphical User Interface*

GW – *Gross Weight*

HDG – *Heading*

HSI – *Horizontal Situation Indicator*

HUD – *Head-Up Display*

IAF – *Initial Approach Fix*

IAS – *Indicated Air Speed*

ICAO – *International Civil Aviation Organization*

IFR – *Instrument Flight Rules*

IGN – *Ignitor*

ILS – *Instrument Landing System*

INAC – Instituto Nacional de Aviação Civil

INIT – *Initial*

INT LT – *Interior Light/(s)*

IPC – *Instrument Proficiency Check*

IR – *Instrument Rating*

ISCTE – Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa

ISFA – Instituto de Saúde da Força Aérea

IT – *Information Technologies*

JAA – *Joint Aviation Authorities*

JAR – *Joint Aviation Requirements*

KDFW – Código ICAO para *Dallas/Forth Worth Airport* (Dallas, Texas, US)

KJFK – Código ICAO para *Kennedy Airport* (New York, New York, US)

KSC – *Kennedy Space Center*

KTS – *Knots*

L/G – *Landing Gear*

LCD – *Liquid Crystal Display*

LCTR – *Locator*

LOWI – Código ICAO para *Innsbruck Airport* (Innsbruck, Áustria)

LPHR – Código ICAO para *Horta Airport* (Açores, Portugal)

LPLA – Código ICAO para *Lajes Airport* (Açores, Portugal)

LPMA – Código ICAO para *Madeira Airport* (Madeira, Portugal)

LPPS – Código ICAO para *Porto Santo Airport* (Porto Santo, Portugal)

LPPT – Código ICAO para *Lisbon Airport* (Lisboa, Portugal)

LRU – *Load and Replace Unit*

LSZA – Código ICAO para *Lugano Airport* (Lugano, Suíça)

LT – *Light*

M&S – *Modeling & Simulation*

MAP – *Missed Approach Point*

MAX – *Maximum*

MB – *Mega-Byte*

MCC – *Multi-Crew Co-operation*

MCDU – *Multifunction Control Display Unit*

MEIBD – Mestrado em Estudos de Informação e Bibliotecas Digitais

MELIAV – Mecânicos de Electricidade e Instrumentos de Avião

MEP – *Multi-Engine Piston*

MHz – *Mega-Hertz*

MLW – *Maximum Landing Weight*

MSFS – *Microsoft Flight Simulator*

MTOW – *Maximum Takeoff Weight*

NASA – *National Aeronautics And Space Administration*

NAV – *Navigation*

NBR – *Number*

ND – *Navigation Display*

NORM – *Normal*

NTSA – *National Training Systems Association*

NTSB – *National Transportation Safety Board*

NW/STRG – *Nose Wheel Steering*

OGMA – Oficinas Gerais de Material Aeronáutico

OFT – *Operational Flight Trainer*

OTA – *Other Training Aids*

PAPI – *Precision Approach Path Indicator*

PERF – *Performance*

PC – *Personal Computer*

PCA – *Piloto Comercial de Avião*

PCATD – *Personal Computer-based Aviation Training Device*

PED – *Primary Engine Display*

PF – *Pilot Flying*

PFD – *Primary Flight Display*

PG – *Page*

PILAV – *Piloto Aviador*

PLAA – *Piloto de Linha Aérea de Avião*

PLP – *Project Lisbon Photoreal*

PNF – *Pilot Not Flying*

PPA – *Piloto Particular de Avião*

PPC – *Private Pilot Certificate*

PPL – *Private Pilot Licence*

R/A – *Radio Altimeter*

RAD – *Radio*

RAM – *Random Access Memory*

RAF – *Royal Air Force*

ROI – *Return-On-Investment*

RUD – *Rudder*

RWY – *Runway*

SBT – *Simulation-Based Training*

SEC – *Spoilers and Elevators Computer*

SED – *Secondary Engine Display*

SEP – *Single-Engine Piston*

SEPS – *Simulador "Epsilon"*

SGI – *Silicon Graphics, Inc.*

SI – *Sistema/(s) de Informação*

SIMAVIO – *Simulador de Aviónicos*

SIMIAV – *Simulador Integrado de Aviónicos*

SO – *Sistema Operativo*

SPD – *Speed*

SPD BRK – *Speed Brake*

SPLRS – *Spoilers*

SSV – *Space Shuttle Vehicle*

STD – *Synthetic Training Device*

STF – *Secção de Treino Fisiológico*

STRICOM – *Simulation Training and Instrumentation Command*

TACAN – *Tactical Air Navigation System*

TAP – *Transportes Aéreos Portugueses*

TER – *Transfer Effectiveness Ratio*

TFLOPS – *Tera FLOPs*

TFT – *Thin Film Transistor*

THR REV – *Thrust Reversers*

TI – *Tecnologias da Informação*

TIC – *Tecnologias da Informação e da Comunicação*

TO/GA – *Takeoff/Go-Around*

TRANS – *Transition*

TRE – *Type-Rating Examiner*

TRI – *Type-Rating Instructor*

TRTO – *Type-Rating Training Organization*

UBI – *Universidade da Beira Interior*

VACBI – *Video and Audio Computer Based Instruction*

VFR – *Visual Flight Rules*

VHHH – *Código ICAO para Kai Tak Airport (Hong-Kong / não-activo)*

VLAB – *Virtual Laboratory*

VMS – *Vertical Motion Simulator*

VOR – *(Very High Frequency) Omnidirectional Radio*

VORTAC – *VOR TACAN*

V/S – *Vertical Speed*

ZFW – *Zero Fuel Weight*

## **Apêndices**

**Apêndice I** – Perfil de Voo elaborado para utilização nos simuladores.

**Apêndice II** – Grelha de verificação comparativa (*PC/FS*).

**Apêndice III** – Cenário fotográfico para computador: “*Project Lisbon Photoreal*”.

**Apêndice IV** – Questionário de inquérito enviado aos centros de formação (*FTOs*).

## **Apêndice I**

### **PERFIL DE VOO ELABORADO PARA UTILIZAÇÃO NOS SIMULADORES**

– inclui *checklist* adaptado –

– inclui as 37 fases das operações –

– inclui tabela de *performances* para referência–

**AIRBUS A320-200 – CFM56-5B4 engines**

## **NOTAS PRELIMINARES**

§1. Nas sessões em FS, o PF ("*Pilot Flying*") posiciona-se no lugar de "*Crew Member 1*" (CM1). Como tal, o PF controlará a aeronave, quando em manual, com o *sidestick* esquerdo. O PNF ("*Pilot Not Flying*"), posiciona-se no lugar de CM2 e detém o *checklist* condutor das sessões. Todas as operações a efectuar pelo PF, deverão ocorrer na sequência imediata das indicações do PNF, à excepção dos seguintes casos:

- No início da descolagem, na acção inicial de estabilização dos motores a 50% N1;
- Na aterragem, aos 10 pés AGL, ao retardar as manetes para "*idle*";
- Na aterragem, no momento do pouso, ao ligar imediatamente os "*thrust reversers*" e alinhar a aeronave ao centro da pista;
- Na aterragem, no callout dos "*70 Knots*", ao avançar as manetes para "*idle*";
- Na decisão da escolha dos FLAPS ou na utilização dos SPD BRK durante o voo;
- Na decisão da escolha do L/G (salvo indicação em contrário por parte do PNF);
- Na escolha das velocidades (salvo indicação em contrário por parte do PNF);
- Em qualquer fase do voo que necessite de intervenção do PF sem que a haja do PNF.

§2. Todos os procedimentos devem ser anunciados oralmente.

§3. Os pontos do Perfil de Voo a azul, antecidos de "PNF", representam as tarefas deste.

§4. Um (\*) à frente do número da operação indica que ambos os pilotos a têm de efectuar, nos casos dos sistemas duplicados (CM1 + CM2).

§5. Os callouts do PNF a sublinhado, deverão ser feitos para o Posto do Instrutor.

§6. Em caso de falha de aproximação a qualquer pista em qualquer das situações previstas, o PF poderá repetir 1 (uma) vez a mesma situação SOMENTE sob indicação do CM2 que anunciará o *callout* "*Go-Around*".

§7. É de referir a possibilidade de ocorrência de discrepâncias entre o *software* PC e o FS.

§8. As sessões serão gravadas em vídeo e o simulador funcionará em "*fixed-base*".

§9. As sessões no simulador terão a duração prevista de 2 (duas) horas cada, devendo os candidatos se apresentar uma hora antes do início de cada sessão.

**CONDITION I: (INITIAL SETUP)**

**Engines = CFM56-5B4**

**Location = LPPT / GATE (A-17)**

**ATC = no traffic**

**Visuals = night / good visibility**

**Weather = no winds / no turbulence / BARO 29.92 (1013)**

**Aircraft init. condition = ZFW: 54.7 tons + Fuel: 10 tons [freeze] (64.7 tons GW) / engines off / doors closed / External Power available / External Bleed Air not available / 'Cold and Dark'**

## Phase 1 – PRELIMINARY COCKPIT PREPARATION

*Action nbr :*

### **COCKPIT SAFETY INSPECTION**

- \* Check L/G Lever (DOWN) 1
- \* Check ENG MODE selector (NORM) 2
- \* Check ENG MASTER switches (OFF) 3
- \* Check Wipers (OFF) 4

### **ELEC**

- \* Check EXT PWR (AVAIL) and (ON) [115v] 5
- \* Check and set batteries [1/2] (ON) = no lights 6

### **COCKPIT LIGHTS**

- \* Check and set ECAM Displays brightness 7
- \* Check and set Forward Panel lighting and Loud speaker 8\*
- \* Check and set MCDU brightness 9\*
- \* Check and set INT LT panel 10
- \* Set Glareshield lights 11
- \* Check and set lights on pedestal and reading lights 12\*

### **PARKING BRAKE**

- \* Check Parking Brake is (SET) 13

### **L/G**

- \* Check A/SKID & N/W STRG (ON) 14

### **ECAM**

- \* Set SWITCHING (NORM) 15

### **FUEL**

- \* Check Fuel On Board (5,000 Kgs at least) 16
- \* Check L/R/CTR TK PUMPS [1 and 2] (ON) = no lights 17
- \* Check MODE SEL (AUTO) = no light 18
- \* Check X FEED (CLOSED) = no light 19

**AIR COND**

- \* Check APU BLEED (OFF) = no light 20
- \* Check both PACKS (OFF) 21

**APU START**

- \* Check batteries [1/2] voltage [25.5v needed to start] 22
- \* Press APU MASTER switch (ON) 23
- \* Press the APU START 24

**ELEC**

- \* Check bateries voltage and check BUS TIE (AUTO) = no light 25

**ELEC**

- \* Set EXT PWR (OFF) 26

**[If then PNF \* Call: "You may disconnect ground power"]**

27

**ADIRS**

- \* Check Data Selector to TK/GS 28
- \* Align ADIRS (IR switches 1,2,3 to NAV) 29
- \* Check SYS selector to (3) 30

**ADIRS aligned (direct)**

**F/CTRL**

- PNF \* Check FLAPS "UP" position 31
- PNF \* Check FLT CTLS [ELAC + SEC + FAC] (ON) = no lights 32

**OVERHEAD**

- \* All systems norm (no lights) 33

**ENG FIRE**

- \* Check ENG 1 and ENG 2 FIRE pushbuttons are IN and GUARDED 34
- \* Check AGENT 1 and AGENT 2 lights are OUT 35
- \* ENG [1/2] Fire Test 36

**EXTERNAL LIGHTS**

- \* Set STROBE switch (AUTO) 37
- \* Set BEACON and rest (OFF) 38

**AIR COND**

- \* Set APU BLEED (ON) 39
- \* Set Eng 1 and 2 Bleed (ON) = no lights 40
- \* Check both PACKS (ON) = no lights 41
- \* Set PACK FLOW Selector (NORM) 42
- \* Adjust Zone Temperature Selectors (CKPT / FWD CAB / AFT CAB) 43
- \* Set X BLEED Selector (AUTO) 44
- \* Set HOT AIR switch (ON) = no light 45
- \* Set RAM AIR switch (OFF and GUARDED) = no light 46

**ANTI ICE**

\* (no lights) 47

**PROBE/WINDOW HEAT**

\* (AUTO) = no light 48

**CABIN PRESS**

\* (no lights) 49

**SIGNS**

\* Set SEAT BELTS (ON) 50

\* Set NO SMOKING (ON) 51

**RADIO MANAGEMENT PANEL**

\* Check (ON and AUTO) 52

**MCDU**

\* Set INIT page

\* Set FLT NBR = A320 53

\* Set FROM/TO = LPPT/LPPT 54

\* Set CRZ FL = FL050 55

\* Insert ZFW = 54.7 tons 56

\* Insert Block = 10 tons 57

\* Set PERF page

\* Insert V speeds for takeoff

\* V1 = 132 58

\* VR = 138 59

\* V2 = 140 60

\* Set TRANS ALT = 18000 61

\* Set THR RED / ACC = 1500/1500 62

\* Set FLAPS/THS = 1 63

\* Set FLEX TO TEMP = 42° 64

\* Set RAD/NAV page

\* Tune ILS **ILI** (109.10) w/ DME 65

\* Tune ADF **CP** (389.) 66

\* Set CRS (28) 67

**GLARE SHIELD**

\* Set BARO to 29.92 (In Hg) / 1013 (hPa) / Enable Selection (PUSH) 68\*

\* Check FD [1/2] (ON) 69\*

\* Check ILS (OFF) 70\*

\* Set Data Display Switches (all OFF) 71\*

**EFIS CONTROL PANEL**

\* Set ND mode (ROSE-ILS) / range (10nm) 72\*

\* Set selector 1 (OFF) / selector 2 (ADF) 73\*

\* Crosscheck compass indication on ND and RMI 74

\* Check std compass 75

**FCU**

- \* Check HDG-V/S mode selected 76
- \* Set ALT (4,000) feet 77
- \* Set SPD (250) KTS 78
- \* Set HDG (28) degrees 79

**ECAM**

- \* Check all doors are CLOSED 80

**Phase 2 – PUSHBACK**

- \* Check PARKING BRAKES (OFF) 81

|  |    |
|--|----|
| <b>PNF * Call: "We are ready for Pushback"</b> | 82 |
|--|----|

**EXTERNAL LIGHTS**

- \* Switch BEACON (ON) 83

**Phase 3 – ENGINES START**

**THRUST LEVERS**

- \* Check THRUST LEVERS are in IDLE position 84

**ENG**

- \* Set MODE switch (IGN/START) 85
- \* Select the ENG MASTER for Engine 2 (ON) 86
- \* Select the ENG MASTER for Engine 1 (ON) 87
- \* Set ENG MODE selector switch (NORM) 88

**APU**

- \* Check APU Bleed (OFF) 89
- \* Set APU MASTER (OFF) = no light 90

**ELEC**

- \* Check GEN 1 / 2 switches (ON) = no lights 91

**HYD**

- \* (no lights) 92

**GROUND SPOILERS**

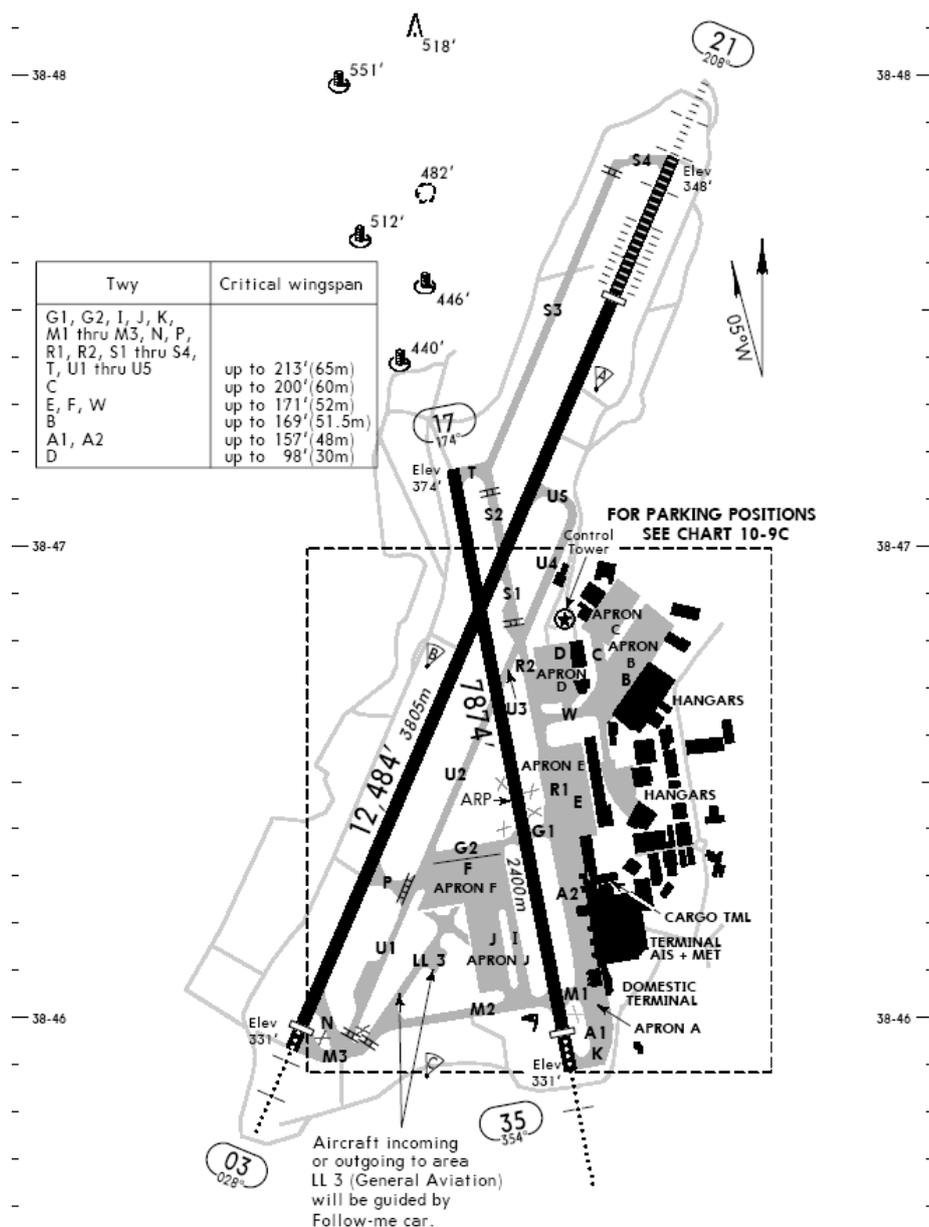
- \* GND SPLRS (ARM) 93

**RUDDER TRIM**

- \* Verify RUD TRIM (0°) 94

## Phase 4 – TAXI TO RWY-03, LPPT

|  |     |
|--|-----|
| PNF * Call "Airbus320 taxi and lineup runway 03" | 95  |
| * Set EXT LT:                                    |     |
| * WING (ON)                                      | 96  |
| * NOSE (TAXI)                                    | 97  |
| * RWY TURN OFF (ON)                              | 98  |
| * Set PARKING BRAKES (OFF)                       | 99  |
| * TAXI TO AND LINEUP RUNWAY 03                   | 100 |



|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| [ DURING TAXI: ]               |     |
| * Set Autobrake (MAX)          | 101 |
| * Set FLAPS to (1) for takeoff | 102 |

## Phase 5 – TAKEOFF FROM RWY-03, LPPT

|  |     |
|--|-----|
| * Set EXT LT   |     |
| * STROBE (ON)  | 103 |
| * NAV & LOGO (ON)  | 104 |
| * LAND L/R (ON)  | 105 |
| * NOSE (T.O.)  | 106 |
| * T/O MEMO   | 107 |
| PNF * Call: " <i>Airbus320 cleared for takeoff runway 03</i> " | 108 |
| * Check PARKING BRAKES (OFF)                                   | 109 |
| * Takeoff (FLX/MCT)  | 110 |
| PNF * At <b>80 KTS</b> : Call " <i>CROSS CHECK</i> "           | 111 |
| PNF * At <b>100 KTS</b> : Call " <i>ONE HUNDRED KNOTS</i> "    | 112 |
| PNF * At <b>132 KTS</b> : Call " <i>VI</i> "                   | 113 |
| PNF * At <b>138 KTS</b> : Call " <i>Rotate</i> "               | 114 |
| PNF * At <b>140 KTS</b> : Call " <i>V2</i> "                   | 115 |
| PNF * Check and call " <i>POSITIVE CLIMB</i> "                 | 116 |
| PNF * Set L/G (UP)   | 117 |
| * Climb at 150 Kts (V2+10 Kts)                                 | 118 |

## Phase 6 – CLIMB / UPWIND LEG

|   |     |
|---|-----|
| * At 1,500 feet (THR RED): set thrust levers to CL gate | 119 |
| * Set A/T to 250 Kts IAS                                | 120 |
| * Turn AP1 (ON)   | 121 |
| * Set <b>OPEN CLIMB</b>                                 | 122 |
| * Disarm GND SPLRS                                      | 123 |
| * Set EXT LTS   |     |
| * LAND L/R (OFF)  | 124 |
| * NOSE (OFF)  | 125 |

## Phase 7 – CROSSWIND LEG

|  |     |
|--|-----|
| * At 4,000 feet, turn right to 118 degrees for the crosswind leg | 126 |
|--|-----|

## Phase 8 – DOWNWIND LEG

|  |     |
|--|-----|
| * Turn right to 208 degrees (downwind leg) | 127 |
| * Set ALT to 2,000 feet with VS -1,000 fpm | 128 |

## Phase 9 – BASE LEG

|  |     |
|--|-----|
| * Turn right to CP at 298 degrees for the base leg | 129 |
| PNF * Set MCDU (PERF PAGE)                         |     |
| PNF * <b>ACTIVATE APPROACH PHASE</b>               | 130 |
| PNF * Set QNH = 1013                               | 131 |
| PNF * Check VAPP                                   | 132 |
| PNF * DH = 200                                     | 133 |

|  |      |
|--|------|
| PNF * LDG CONF = FULL                  | 134  |
| * Check ND mode (ROSE-ILS)             | 135* |
| * Select "APPR" for Auto Approach      | 136  |
| * Select "AP2"                         | 137  |
| * Check ILS switch on glareshield (ON) | 138* |

## Phase 10 – PRECISION APPROACH RWY-03, LPPT

[ \* (VLS (Vref) = 135 Kts / VAPP = 140 Kts) \* ]

|  |     |
|--|-----|
| PNF * Call: " <i>Airbus320 Cleared to land RWY03</i> "                               | 139 |
| * Set AT to 140 Kts IAS (decelerate to VAPP)   | 140 |
| * Arm spoilers   | 141 |
| * Set Autobrake (LO)   | 142 |
| * Set EXT LTS  |     |
| * LAND L/R (ON)  | 143 |
| * NOSE (T.O.)  | 144 |
| * LANDING MEMO (when available)  | 145 |
| * <u>At 1,000 feet AGL: Check aircraft stabilized and <b>disconnet Autopilot</b></u> | 146 |

## Phase 11 – LANDING ON RWY-03, LPPT

|  |     |
|--|-----|
| PNF * At <b>70 Kts</b> : call " <i>70 KNOTS</i> "  | 147 |
| PNF * Call " <i>Airbus320, Turn next taxiway</i> " | 148 |
| * Turn next taxiway and stop                       | 149 |
| * Set PARKING BRAKES (ON)                          | 150 |

### **CONDITION II:**

|   |
|---|
| <p><u>Location</u> = LPPT / RWY-03<br/> <u>Visuals</u> = night / good visibility<br/> <u>Weather</u> = winds 320° 25Kts / no turbulence / BARO 29.92 (1013)</p> |
|---|

## Phase 12 – TAKEOFF FROM RWY-03, LPPT

[ \* ! AP not available ! \* ]  
 [ \* PF decides SPEEDS and PNF selects \* ]  
 [ \* PF decides when to turn for final approach \* ]

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| PNF * Set ALT to 3,000 feet        | 151 |
| * Check FDs (ON)                   | 152 |
| * GND SPLRS (ARM)                  | 153 |
| PNF * Set AUTO BRK (MAX)           | 154 |
| PNF * Set FLAPS to (1) for takeoff | 155 |
| * Set EXT LTS                      |     |
| * LAND L/R (ON)                    | 156 |
| * NOSE (T.O.)                      | 157 |
| * T/O MEMO                         | 158 |

|   |     |
|---|-----|
| PNF * Call " <i>Airbus320 cleared for takeoff runway 03</i> " | 159 |
| * Set PARKING BRAKES (OFF)                                    | 160 |
| * Takeoff (FLX/MCT)   | 161 |
| PNF * At <b>80 KTS</b> : Call " <i>CROSS CHECK</i> "          | 162 |
| PNF * At <b>100 KTS</b> : Call " <i>ONE HUNDRED KNOTS</i> "   | 163 |
| PNF * At <b>132 KTS</b> : Call " <i>VI</i> "                  | 164 |
| PNF * At <b>138 KTS</b> : Call " <i>Rotate</i> "              | 165 |
| PNF * At <b>140 KTS</b> : Call " <i>V2</i> "                  | 166 |
| PNF * Check and call " <i>POSITIVE CLIMB</i> "                | 167 |
| PNF * Set L/G (UP)  | 168 |
| * Climb at 150 Kts (V2+10 Kts)                                | 169 |
| * At 1,500 feet (THR RED): set thrust levers to CL gate       | 170 |
| * Set A/T to 250 Kts IAS                                      | 171 |
| * Disarm GND SPLRS  | 172 |
| * Set EXT LTS   |     |
| * LAND L/R (OFF)  | 173 |
| * NOSE (OFF)  | 174 |

### **Phase 13 – CLIMB / UPWIND LEG**

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| * Climb to 3,000 feet | 175 |
|-----------------------|-----|

### **Phase 14 – DOWNIND LEG**

|  |     |
|--|-----|
| * At 3,000 feet, turn right to 208 degrees (downwind), descend to 2,000 feet | 176 |
|--|-----|

### **Phase 15 – BASE LEG**

|  |     |
|--|-----|
| * Turn right to 260 degrees (base) over Tejo heading "Ponte 25 de Abril" | 177 |
|--|-----|

### **Phase 16 – PRECISION APPROACH TO RWY-03, LPPT**

[ \* precision approach – instrument approach using PFD and ND-HSI ILS deviation \* ]

[ \* raw data approach \* ]

[ \* (Vref = 135 Kts) \* ]

|  |     |
|--|-----|
| * PF decides when to turn right to intercept ILS RWY-03 (at 28°) | 178 |
| * Intercept ILS RWY-03, LPPT                                     | 179 |
| PNF * Call: " <i>Airbus320 Cleared to land RWY03</i> "           | 180 |
| * Decelerate to VAPP   | 181 |
| * Arm spoilers   | 182 |
| PNF * Set Autobrake (LO)   | 183 |
| * Set EXT LTS  |     |
| * LAND L/R (ON)  | 184 |
| * NOSE (T.O.)  | 185 |
| * LANDING MEMO (when available)                                  | 186 |
| * At 500 feet AGL: Check aircraft stabilized                     | 187 |

## Phase 17 – LANDING ON RWY-03, LPPT

|   |     |
|---|-----|
| PNF * At 70 Kts: call " <b>70 KNOTS</b> "           | 188 |
| PNF * Call " <b>Airbus320, Turn next taxiway</b> "  | 189 |
| * Turn next taxiway and stop (w/ PARKING BRAKES ON) | 190 |

### CONDITION III:

**Location** = LPPT / RWY-35

**Visuals** = day / good visibility

**Weather** = winds 320° 25Kts / no turbulence / BARO 29.92 (1013)

## Phase 18 – TAKEOFF FROM RWY-35, LPPT

[ \* Manual VFR: AP, A/T, FDs, RADIO NAVs not allowed for this flight \* ]

|   |     |
|---|-----|
| * Check FD [1/2] (OFF)  | 191 |
| * Set ND mode (ROSE-NAV)                                      | 192 |
| PNF * Set ALT to 5,000 feet                                   | 193 |
| * GND SPLRS (ARM)   | 194 |
| PNF * Set AUTO BRK (MAX)                                      | 195 |
| PNF * Set FLAPS to (1) for takeoff                            | 196 |
| * Set EXT LTS   |     |
| * LAND L/R (ON)   | 197 |
| * NOSE (T.O.)   | 198 |
| * T/O MEMO  | 199 |
| PNF * Call " <b>Airbus320 cleared for takeoff runway 35</b> " | 200 |
| * Set PARKING BRAKES (OFF)                                    | 201 |
| * Takeoff ( <b>TO/GA</b> )                                    | 202 |
| * Disarm A/T on FCU   | 203 |
| PNF * At <b>80 KTS</b> : Call " <b>CROSS CHECK</b> "          | 204 |
| PNF * At <b>100 KTS</b> : Call " <b>ONE HUNDRED KNOTS</b> "   | 205 |
| PNF * At <b>132 KTS</b> : Call " <b>VI</b> "                  | 206 |
| PNF * At <b>138 KTS</b> : Call " <b>Rotate</b> "              | 207 |
| PNF * At <b>140 KTS</b> : Call " <b>V2</b> "                  | 208 |
| PNF * Check and call " <b>POSITIVE CLIMB</b> "                | 209 |
| PNF * Set L/G (UP)  | 210 |
| * Climb at 150 Kts (V2+10 Kts)                                | 211 |
| * At 1,500 feet (THR RED): set thrust levers to CL gate       | 212 |
| * Disarm GND SPLRS  | 213 |
| * Set EXT LTS   |     |
| * LAND L/R (OFF)  | 214 |
| * NOSE (OFF)  | 215 |

## Phase 19 – CLIMB

|  |     |
|--|-----|
| * Climb to 5,000 feet / 250 Kts IAS (Do not overshoot 250 Kts IAS) | 216 |
|--|-----|

## Phase 20 – CRUISE / VFR FLIGHT

- \* Turn for heading to "Serra de Sintra". Maintain 5,000 feet Alt / 250 Kts IAS 217
- \* Above "Serra de Sintra" at **5,000 feet Alt / 250 Kts IAS** 218

## Phase 21 – DESCENT

- \* Turn to "Cova do Vapor" and descend to 3,000 feet / 200 Kts 219
- \* Over "Cova do Vapor" at **3,000 feet / 200 Kts** 220
- \* Turn left to "Lisnave" and descend to 2,000 feet / 150 Kts 221
- \* Abeam "Ponte 25 de Abril" bridge landmark at **2,000 feet** 222
- \* Over "Lisnave" at **2,000 feet / 150 Kts** 223
- PNF \* Call: "*Airbus320 Cleared to land RWY35*" 224

## Phase 22 – VISUAL APPROACH TO RWY-35, LPPT

[ \* non-precision, (PAPI-assisted) manual approach \* ]  
 [ \* (Vref = 135 Kts) \* ]

- \* PF decides when to turn left to RWY-35 visual approach, LPPT 225
- \* Arm spoilers 226
- PNF \* Set Autobrake (LO) 227
- \* Set EXT LTS
- \* LAND L/R (ON) 228
- \* NOSE (T.O.) 229
- \* LANDING MEMO (when available) 230
- \* At 500 feet AGL: Check aircraft stabilized 231

## Phase 23 – LANDING ON RWY-35, LPPT

- PNF \* At **70 Kts**: call "*70 KNOTS*" 232
- \* Stop the aircraft 233

### CONDITION IV:

**Location = LPPS / RWY-01**  
**Weather = winds 90°/10 Kts / no turbulence / BARO 29.92 (1013)**  
**Visuals = day / visibility 8 Kms**

[ \* TRK/FPA mode allowed \* ]

## Phase 24 – TAKEOFF FROM RWY-01, LPPS

- \* Check FD [1/2] (ON) 234\*
- PNF \* Set MCDU
- PNF \* Set INIT page
- PNF \* Set FLT NBR = A320 235

|   |     |
|---|-----|
| PNF * Set FROM/TO = LPPS/LPMA                                 | 236 |
| PNF * Set CRZ FL = FL030                                      | 237 |
| PNF * Set PERF page   |     |
| PNF * Insert V speeds for takeoff                             |     |
| PNF * V1 = 132  | 238 |
| PNF * VR = 138  | 239 |
| PNF * V2 = 140  | 240 |
| PNF * Set TRANS ALT = 18000                                   | 241 |
| PNF * Set THR RED / ACC = 1500/1500                           | 242 |
| PNF * Set FLAPS/THS = 1                                       | 243 |
| PNF * Set FLEX TO TEMP = 42°                                  | 244 |
| PNF * Set RAD/NAV page  |     |
| PNF * VOR (112.20MHz)   | 245 |
| PNF * CRS 213   | 246 |
| PNF * Set ALT to 3,000 feet                                   | 247 |
| * GND SPLRS (ARM)   | 248 |
| PNF * Set AUTO BRK (MAX)                                      | 249 |
| PNF * Set FLAPS to (1) for takeoff                            | 250 |
| * Set EXT LTS   |     |
| * LAND L/R (ON)   | 251 |
| * NOSE (T.O.)   | 252 |
| * T/O MEMO  | 253 |
| PNF * Call " <i>Airbus320 cleared for takeoff runway 01</i> " | 254 |
| * Set PARKING BRAKES (OFF)                                    | 255 |
| * Takeoff (FLX/MCT)   | 256 |
| PNF * At <b>80 KTS</b> : Call " <i>CROSS CHECK</i> "          | 257 |
| PNF * At <b>100 KTS</b> : Call " <i>ONE HUNDRED KNOTS</i> "   | 258 |
| PNF * At <b>132 KTS</b> : Call " <i>VI</i> "                  | 259 |
| PNF * At <b>138 KTS</b> : Call " <i>Rotate</i> "              | 260 |
| PNF * At <b>140 KTS</b> : Call " <i>V2</i> "                  | 261 |
| PNF * Check and call " <i>POSITIVE CLIMB</i> "                | 262 |
| PNF * Select L/G (UP)   | 263 |
| * Climb at 150 Kts (V2+10 Kts)                                | 264 |
| * Turn AP1 (ON)   | 265 |
| * At 1,500 feet (THR RED): set thrust levers to CL gate       | 266 |
| * Set A/T to 250 Kts IAS                                      | 267 |

## Phase 25 – CLIMB

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| * Set OPEN CLIMB      | 268 |
| * Disarm GND SPLRS    | 269 |
| * Set EXT LTS         |     |
| * LAND L/R (OFF)      | 270 |
| * NOSE (OFF)          | 271 |
| * Climb to 3,000 feet | 272 |

## Phase 26 – CRUISE / NAVIGATION

|   |     |
|---|-----|
| * Turn left and intercept the 213 degrees radial to FUN | 273 |
|---|-----|



**Phase 29 – LANDING ON RWY-05, LPMA**

|  |     |
|--|-----|
| PNF * At <b>70 Kts</b> : call " <b>70 KNOTS</b> "  | 287 |
| PNF * Call " <b>Airbus320, Turn next taxiway</b> " | 288 |
| * Turn next taxiway and stop                       | 289 |
| * Set PARKING BRAKES (ON)                          | 290 |

**CONDITION V:****Location = LPLA / RWY-33****Weather = winds 320°/16 Kts / BARO 29.92 (1013)****Visuals = day / clouds between 3,000 feet and 5,000 feet / visibility 8 Kms****Phase 30 – TAKEOFF FROM RWY-33, LPLA**

|   |      |
|---|------|
| PNF * Check PACK 1 / 2 (ON)                                   | 291  |
| * Check FD [1/2] (ON)   | 292* |
| PNF * Check APU (OFF)   | 293  |
| PNF * Set MCDU  |      |
| PNF * Set INIT page   |      |
| PNF * Set FLT NBR = A320                                      | 294  |
| PNF * Set FROM/TO = LPLA/LPHR                                 | 295  |
| PNF * Set CRZ FL = FL100                                      | 296  |
| PNF * Set PERF page   |      |
| PNF * Insert V speeds for takeoff                             |      |
| PNF * V1 = 132  | 297  |
| PNF * VR = 138  | 298  |
| PNF * V2 = 140  | 299  |
| PNF * Set TRANS ALT = 18000                                   | 300  |
| PNF * Set THR RED / ACC = 1500/1500                           | 301  |
| PNF * Set FLAPS/THS = 1                                       | 302  |
| PNF * Set FLEX TO TEMP = 42°                                  | 303  |
| PNF * Set RAD/NAV page  |      |
| PNF * VOR1 <b>LM</b> (112.30MHz)                              | 304  |
| PNF * VOR2 <b>LAJ</b> (110.80MHz)                             | 305  |
| PNF * CRS [1] 260   | 306  |
| PNF * ADF [1/2] <b>HT</b> 360KHz                              | 307  |
| PNF * Set ALT to 10,000 feet                                  | 308  |
| * GND SPLRS (ARM)   | 309  |
| PNF * Set AUTO BRK (MAX)                                      | 310  |
| PNF * Set FLAPS to (1) for takeoff                            | 311  |
| * Set EXT LTS   |      |
| * LAND L/R (ON)   | 312  |
| * NOSE (T.O.)   | 313  |
| * T/O MEMO  | 314  |
| PNF * Call " <b>Airbus320 cleared for takeoff runway 33</b> " | 315  |
| * Set PARKING BRAKES (OFF)                                    | 316  |
| * Takeoff ( <b>FLX/MCT</b> )                                  | 317  |
| PNF * At <b>80 KTS</b> : Call " <b>CROSS CHECK</b> "          | 318  |

|  |     |
|--|-----|
| PNF * At <b>100 KTS</b> : Call " <b>ONE HUNDRED KNOTS</b> "                        | 319 |
| PNF * At <b>132 KTS</b> : Call " <b>VI</b> "                                       | 320 |
| PNF * At <b>138 KTS</b> : Call " <b>Rotate</b> "                                   | 321 |
| PNF * At <b>140 KTS</b> : Call " <b>V2</b> "                                       | 322 |
| PNF * Check and call " <b>POSITIVE CLIMB</b> "                                     | 323 |
| PNF * Set L/G (UP)   | 324 |
| * Climb at 150 Kts (V2+10 Kts)   | 325 |
| * (Immediately) turn left to intercept the 260° radial from VOR <b>LM</b> (112.30) | 326 |
| * At 1,500 feet (THR RED): set thrust levers to CL gate                            | 327 |
| * Set A/T to 250 Kts IAS   | 328 |
| * Turn AP1 (ON)  | 329 |

## Phase 31 – CLIMB

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| * Set OPEN CLIMB               | 330 |
| * Disarm GND SPLRS             | 331 |
| * Set EXT LTS                  |     |
| * LAND L/R (OFF)               | 332 |
| * NOSE (OFF)                   | 333 |
| * Climb to FL100 / 340 Kts IAS | 334 |

## Phase 32 – CRUISE / NAVIGATION

## Phase 33 – DESCENT

|  |     |
|--|-----|
| * At 60 nm from TACAN <b>LAJ</b> (110.80), reduce to 250 Kts, descend to 5,000 | 335 |
|--|-----|

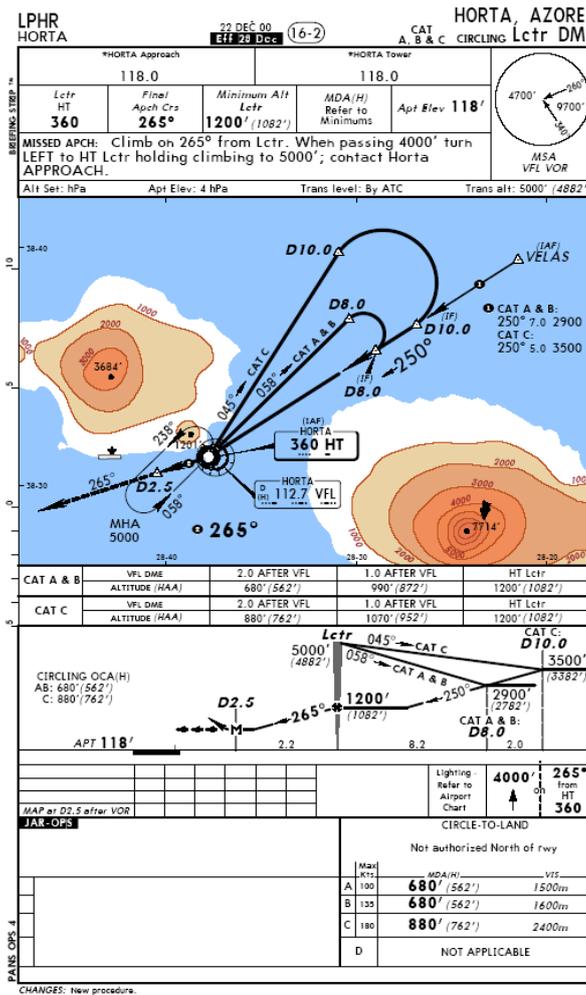
## Phase 34 – INITIAL APPROACH TO LPHR

|  |     |
|--|-----|
| * At 65 nm from LAJ, intercept 340 degrees radial VORTAC <b>VFL</b> (112.70) | 336 |
| PNF * Set MCDU (PERF PAGE)   |     |
| PNF * ACTIVATE APPROACH PHASE  | 337 |
| PNF * Set QNH = 1013   | 338 |
| PNF * Check VLS – VAPP   | 339 |
| PNF * LDG CONF = FULL  | 340 |

## Phase 35 – CIRCLING LctrDME, RWY-05

[ \* CIRCLING WITH FLAPS 3 / F-SPEED \* ]

|  |     |
|--|-----|
| PNF * Call: " <b>Airbus320 Cleared to land RWY28</b> " | 341 |
| * Arm spoilers   | 342 |
| PNF * Set Autobrake (MEDIUM)                           | 343 |
| * Set EXT LTS  |     |
| * LAND L/R (ON)  | 344 |
| * NOSE (T.O.)  | 345 |
| * LANDING MEMO (when available)                        | 346 |



## Phase 36 – LANDING ON RWY-28, LPHR

PNF \* At 70 Kts: call "70 KNOTS"

347

\* Turn Next Taxiway

348

## Phase 37 – TAXING / PARKING

\* Turn APU (ON)

349

\* Stop the aircraft / Shutdown Engines 1 and 2

350

**A320 Configuration:**

Empty Weight = 41 tons      Payload = 13.7 tons  
Fuel On Board (FOB) = 10 tons

ZFW = 54.7 tons

**Gross Weight (GW) = 64.7 tons**

**Limitations:**

MTOW = 75.5 tons

MLW = 64.5 tons

**V Speeds for Takeoff:**

|           |               |               |             |
|-----------|---------------|---------------|-------------|
| FLAPS 1 : | V1 = 132Kts / | Vr = 138Kts / | V2 = 140Kts |
| FLAPS 2 : | V1 = 138Kts / | Vr = 138Kts / | V2 = 142Kts |
| FLAPS 3 : | V1 = 131Kts / | Vr = 131Kts / | V2 = 135Kts |

**SPEEDS (64.7 tons GW):**

**S SPEED:** 148 / **F SPEED:** 192 / **0 SPEED:** 213 (approximate)

**VLS (Vref):** 135Kts / **VAPP:** 140Kts to 155Kts

**FLAPS recommended for the Intermediate/Final Approach phase:**

At Green Dot Speed = F(1)

At S speed = F(2)

Then, L/G (DOWN)

Below VFE 3 [185Kts] = F(3)

Below F speed = F (FULL)

**For CIRCLING approaches:**

FLAPS 3 / F-SPEED

## Apêndice II – Grelhas de verificação comparativa (PC/FS)

| CONDITION | PHASES OF FLIGHT PROFILE                                      | PILOT 1        |                  |
|-----------|---|----------------|------------------|
|           |   | 1st check (PC) | Final check (FS) |
| I         | 1 Preliminary Cockpit Prep.                                   | √              | √                |
|           | 2 Pushback  | √              | √                |
|           | 3 Engines Start   | √              | √                |
|           | 4 Taxi to RWY-03 via taxiways M1, M2 and M3                   | √              | √                |
|           | 5 Takeoff RWY-03 LPPT   | √              | √                |
|           | 6 Climb / Upwind Leg  | √              | √                |
|           | 7 Crosswind Leg   | √              | √                |
|           | 8 Downwind Leg  | √              | √                |
|           | 9 Base Leg / AUTO APPR  | √              | √                |
|           | 10 Precision Approach RWY-03 LPPT (AP "off" at 1000ft RA)     | √              | √                |
|           | 11 Landing RWY-03 LPPT (AP "off")                             | √              | √                |
| II        | 12 Takeoff RWY-03 LPPT  | √              | √                |
|           | 13 Climb / Upwind Leg   | √              | √                |
|           | 14 Downwind Leg   | √              | √                |
|           | 15 Base Leg   | √              | √                |
|           | 16 Precision Approach RWY-03 LPPT (AP "off")                  | √              | √                |
|           | 17 Landing RWY-03 LPPT  | √              | √                |
| III       | 18 Takeoff RWY-35 LPPT  | √              | √                |
|           | 19 Climb (AP "off" / AT "off")                                | √              | √                |
|           | 20 Cruise / VFR flight (AP "off" / AT "off")                  | √              | √                |
|           | 21 Descent (AP "off" / AT "off")                              | √              | √                |
|           | 22 Visual approach/non-precision RWY-35 (AP "off" / AT "off") | √              | √                |
|           | 23 Landing RWY-35 (no PAPI / AP "off" / AT "off")             | √              | √                |
| IV        | 24 Takeoff RWY-01 LPPS  | √              | √                |
|           | 25 Climb  | √              | √                |
|           | 26 Cruise / Navigation  | √              | √                |
|           | 27 Circling VOR DME RWY-05                                    | √              | √                |
|           | 28 VOR / visual approach / non-precision RWY-05               | √              | √                |
|           | 29 Landing RWY-05 LPMA  | √              | √                |
| V         | 30 Takeoff RWY-33 LPLA  | √              | √                |
|           | 31 Climb  | √              | √                |
|           | 32 Cruise / Navigation  | √              | √                |
|           | 33 Descent  | √              | √                |
|           | 34 Approach (non-precision APPR)                              | √              | √                |
|           | 35 Circling (Lctr DME)  | √              | √                |
|           | 36 Landing RWY-28 LPHR  | √              | √                |
|           | 37 Taxing / Parking   | √              | √                |

### Markings:

- \*1): Asimetric touchdown
- \*1a): Hard touchdown (no damage)
- \*1b): **Hard touchdown (damage)**
- \*1c): Touchdown before threshold
- \*1d): Touchdown at threshold
- \*1e): Pitch instability (on touchdown)
- \*1f): Pitch instability (on takeoff rotation)
- \*1g): Banking instability (after takeoff rotation)
- \*2): Horizontal instability on braking
- \*2b): IAS below Vref
- \*3): Below correct glidepath (on short final approach)

| CONDITION | PHASES OF FLIGHT PROFILE                                      | PILOT 2        |                  |
|-----------|---|----------------|------------------|
|           |   | 1st check (PC) | Final check (FS) |
| I         | 1 Preliminary Cockpit Prep.                                   | √              | √                |
|           | 2 Pushback  | √              | √                |
|           | 3 Engines Start   | √              | √                |
|           | 4 Taxi to RWY-03 via taxiways M1, M2 and M3                   | √              | √                |
|           | 5 Takeoff RWY-03 LPPT   | √              | √                |
|           | 6 Climb / Upwind Leg  | √              | √                |
|           | 7 Crosswind Leg   | √              | √                |
|           | 8 Downwind Leg  | √              | √                |
|           | 9 Base Leg / AUTO APPR  | √              | √                |
|           | 10 Precision Approach RWY-03 LPPT (AP "off" at 1000ft RA)     | √              | √                |
|           | 11 Landing RWY-03 LPPT (AP "off")                             | *2)            | *2)              |
| II        | 12 Takeoff RWY-03 LPPT  | √              | √                |
|           | 13 Climb / Upwind Leg   | √              | √                |
|           | 14 Downwind Leg   | √              | √                |
|           | 15 Base Leg   | √              | √                |
|           | 16 Precision Approach RWY-03 LPPT (AP "off")                  | √              | √                |
|           | 17 Landing RWY-03 LPPT  | *2)            | *2)              |
| III       | 18 Takeoff RWY-35 LPPT  | √              | √                |
|           | 19 Climb (AP "off" / AT "off")                                | √              | √                |
|           | 20 Cruise / VFR flight (AP "off" / AT "off")                  | √              | √                |
|           | 21 Descent (AP "off" / AT "off")                              | √              | √                |
|           | 22 Visual approach/non-precision RWY-35 (AP "off" / AT "off") | √              | X*3)             |
|           | 23 Landing RWY-35 (no PAPI / AP "off" / AT "off")             | *2)            | *2)              |
| IV        | 24 Takeoff RWY-01 LPPS  | √              | √                |
|           | 25 Climb  | √              | √                |
|           | 26 Cruise / Navigation  | √              | √                |
|           | 27 Circling VOR DME RWY-05                                    | √              | √                |
|           | 28 VOR / visual approach / non-precision RWY-05               | √              | √                |
|           | 29 Landing RWY-05 LPMA  | *2)            | *2)              |
| V         | 30 Takeoff RWY-33 LPLA  | √              | √                |
|           | 31 Climb  | √              | √                |
|           | 32 Cruise / Navigation  | √              | √                |
|           | 33 Descent  | √              | √                |
|           | 34 Approach (non-precision APPR)                              | √              | √                |
|           | 35 Circling (Lctr DME)  | √              | √                |
|           | 36 Landing RWY-28 LPHR  | *2)            | *2)              |
|           | 37 Taxing / Parking   | √              | √                |

### Markings:

- \*1): Asimetric touchdown
- \*1a): Hard touchdown (no damage)
- \*1b): **Hard touchdown (damage)**
- \*1c): Touchdown before threshold
- \*1d): Touchdown at threshold
- \*1e): Pitch instability (on touchdown)
- \*1f): Pitch instability (on takeoff rotation)
- \*1g): Banking instability (after takeoff rotation)
- \*2): Horizontal instability on braking
- \*2b): IAS below Vref
- \*3): Below correct glidepath (on short final approach)

| CONDITION | PHASES OF FLIGHT PROFILE |  | PILOT 3        |                       |
|-----------|--------------------------|--|----------------|-----------------------|
|           |                          |  | 1st check (PC) | Final check (FS)      |
| I         | 1                        | Preliminary Cockpit Prep.                                  | √              | √                     |
|           | 2                        | Pushback   | √              | √                     |
|           | 3                        | Engines Start  | √              | √                     |
|           | 4                        | Taxi to RWY-03 via taxiways M1, M2 and M3                  | √              | √                     |
|           | 5                        | Takeoff RWY-03 LPPT  | √              | √                     |
|           | 6                        | Climb / Upwind Leg   | √              | √                     |
|           | 7                        | Crosswind Leg  | √              | √                     |
|           | 8                        | Downwind Leg   | √              | √                     |
|           | 9                        | Base Leg / AUTO APPR                                       | √              | X Missed App / G/A    |
|           | 10                       | Precision Approach RWY-03 LPPT (AP "off" at 1000ft RA)     | √              | √                     |
|           | 11                       | Landing RWY-03 LPPT (AP "off")                             | √              | √                     |
| II        | 12                       | Takeoff RWY-03 LPPT  | √              | √                     |
|           | 13                       | Climb / Upwind Leg   | √              | √                     |
|           | 14                       | Downwind Leg   | √              | √                     |
|           | 15                       | Base Leg   | √              | √                     |
|           | 16                       | Precision Approach RWY-03 LPPT (AP "off")                  | √              | X*3)                  |
|           | 17                       | Landing RWY-03 LPPT  | √              | √                     |
| III       | 18                       | Takeoff RWY-35 LPPT  | √              | √                     |
|           | 19                       | Climb (AP "off" / AT "off")                                | √              | √                     |
|           | 20                       | Cruise / VFR flight (AP "off" / AT "off")                  | √              | √                     |
|           | 21                       | Descent (AP "off" / AT "off")                              | √              | √                     |
|           | 22                       | Visual approach/non-precision RWY-35 (AP "off" / AT "off") | √              | √                     |
|           | 23                       | Landing RWY-35 (no PAPI / AP "off" / AT "off")             | √              | √                     |
| IV        | 24                       | Takeoff RWY-01 LPPS  | √              | √                     |
|           | 25                       | Climb  | √              | √                     |
|           | 26                       | Cruise / Navigation  | √              | √                     |
|           | 27                       | Circling VOR DME RWY-05                                    | √              | √                     |
|           | 28                       | VOR / visual approach / non-precision RWY-05               | √              | X "Gelo" at 740 (850) |
|           | 29                       | Landing RWY-05 LPMA  | √              | √                     |
| V         | 30                       | Takeoff RWY-33 LPLA  | √              | √                     |
|           | 31                       | Climb  | √              | √                     |
|           | 32                       | Cruise / Navigation  | √              | √                     |
|           | 33                       | Descent  | √              | √                     |
|           | 34                       | Approach (non-precision APPR)                              | √              | √                     |
|           | 35                       | Circling (Lctr DME)  | √              | √                     |
|           | 36                       | Landing RWY-28 LPHR  | √              | *1)                   |
|           | 37                       | Taxing / Parking   | √              | √                     |

**Markings:**

- \*1): Asimetric touchdown
- \*1a): Hard touchdown (no damage)
- \*1b): **Hard touchdown (damage)**
- \*1c): Touchdown before threshold
- \*1d): Touchdown at threshold
- \*1e): Pitch instability (on touchdown)
- \*1f): Pitch instability (on takeoff rotation)
- \*1g): Banking instability (after takeoff rotation)
- \*2): Horizontal instability on braking
- \*2b): IAS below Vref
- \*3): Below correct glidepath (on short final approach)

| CONDITION | PHASES OF FLIGHT PROFILE |  | PILOT 4        |                             |
|-----------|--------------------------|--|----------------|-----------------------------|
|           |                          |  | 1st check (PC) | Final check (FS)            |
| I         | 1                        | Preliminary Cockpit Prep.                                  | √              | √                           |
|           | 2                        | Pushback   | √              | √                           |
|           | 3                        | Engines Start  | √              | √                           |
|           | 4                        | Taxi to RWY-03 via taxiways M1, M2 and M3                  | √              | √                           |
|           | 5                        | Takeoff RWY-03 LPPT  | √              | √                           |
|           | 6                        | Climb / Upwind Leg   | √              | √                           |
|           | 7                        | Crosswind Leg  | √              | √                           |
|           | 8                        | Downwind Leg   | √              | √                           |
|           | 9                        | Base Leg / AUTO APPR                                       | √              | √                           |
|           | 10                       | Precision Approach RWY-03 LPPT (AP "off" at 1000ft RA)     | √              | X *3)                       |
|           | 11                       | Landing RWY-03 LPPT (AP "off")                             | √              | X No Flare: *1a) *1d) *1e)  |
| II        | 12                       | Takeoff RWY-03 LPPT  | √              | √                           |
|           | 13                       | Climb / Upwind Leg   | √              | √                           |
|           | 14                       | Downwind Leg   | √              | √                           |
|           | 15                       | Base Leg   | √              | √                           |
|           | 16                       | Precision Approach RWY-03 LPPT (AP "off")                  | √              | √                           |
|           | 17                       | Landing RWY-03 LPPT  | √              | √                           |
| III       | 18                       | Takeoff RWY-35 LPPT  | √              | √                           |
|           | 19                       | Climb (AP "off" / AT "off")                                | √              | √                           |
|           | 20                       | Cruise / VFR flight (AP "off" / AT "off")                  | √              | √                           |
|           | 21                       | Descent (AP "off" / AT "off")                              | √              | √                           |
|           | 22                       | Visual approach/non-precision RWY-35 (AP "off" / AT "off") | √              | X *3)                       |
|           | 23                       | Landing RWY-35 (no PAPI / AP "off" / AT "off")             | √              | X *1c)                      |
| IV        | 24                       | Takeoff RWY-01 LPPS  | √              | √                           |
|           | 25                       | Climb  | √              | √                           |
|           | 26                       | Cruise / Navigation  | √              | √                           |
|           | 27                       | Circling VOR DME RWY-05                                    | √              | √                           |
|           | 28                       | VOR / visual approach / non-precision RWY-05               | √              | X "Rosario" at 750 / Missed |
|           | 29                       | Landing RWY-05 LPMA  | √              | X *1) *1b): Wing Strike!    |
| V         | 30                       | Takeoff RWY-33 LPLA  | √              | √                           |
|           | 31                       | Climb  | √              | √                           |
|           | 32                       | Cruise / Navigation  | √              | √                           |
|           | 33                       | Descent  | √              | √                           |
|           | 34                       | Approach (non-precision APPR)                              | √              | √                           |
|           | 35                       | Circling (Lctr DME)  | √              | √                           |
|           | 36                       | Landing RWY-28 LPHR  | √              | *2)                         |
|           | 37                       | Taxing / Parking   | √              | √                           |

### Markings:

- \*1): Asimetric touchdown
- \*1a): Hard touchdown (no damage)
- \*1b): **Hard touchdown (damage)**
- \*1c): Touchdown before threshold
- \*1d): Touchdown at threshold
- \*1e): Pitch instability (on touchdown)
- \*1f): Pitch instability (on takeoff rotation)
- \*1g): Banking instability (after takeoff rotation)
- \*2): Horizontal instability on braking
- \*2b): IAS below Vref
- \*3): Below correct glidepath (on short final approach)

| CONDITION | PHASES OF FLIGHT PROFILE |  | PILOT 5        |                  |
|-----------|--------------------------|--|----------------|------------------|
|           |                          |  | 1st check (PC) | Final check (FS) |
| I         | 1                        | Preliminary Cockpit Prep.                                  | √              | √                |
|           | 2                        | Pushback   | √              | √                |
|           | 3                        | Engines Start  | √              | √                |
|           | 4                        | Taxi to RWY-03 via taxiways M1, M2 and M3                  | √              | √                |
|           | 5                        | Takeoff RWY-03 LPPT  | √              | √                |
|           | 6                        | Climb / Upwind Leg   | √              | √                |
|           | 7                        | Crosswind Leg  | √              | √                |
|           | 8                        | Downwind Leg   | √              | √                |
|           | 9                        | Base Leg / AUTO APPR                                       | √              | √                |
|           | 10                       | Precision Approach RWY-03 LPPT (AP "off" at 1000ft RA)     | √              | √                |
|           | 11                       | Landing RWY-03 LPPT (AP "off")                             | √              | √                |
| II        | 12                       | Takeoff RWY-03 LPPT  | √              | √                |
|           | 13                       | Climb / Upwind Leg   | √              | √                |
|           | 14                       | Downwind Leg   | √              | √                |
|           | 15                       | Base Leg   | √              | √                |
|           | 16                       | Precision Approach RWY-03 LPPT (AP "off")                  | √              | √                |
|           | 17                       | Landing RWY-03 LPPT  | √              | √                |
| III       | 18                       | Takeoff RWY-35 LPPT  | √              | √                |
|           | 19                       | Climb (AP "off" / AT "off")                                | √              | √                |
|           | 20                       | Cruise / VFR flight (AP "off" / AT "off")                  | √              | √                |
|           | 21                       | Descent (AP "off" / AT "off")                              | √              | √                |
|           | 22                       | Visual approach/non-precision RWY-35 (AP "off" / AT "off") | √              | X*3)             |
|           | 23                       | Landing RWY-35 (no PAPI / AP "off" / AT "off")             | √              | √                |
| IV        | 24                       | Takeoff RWY-01 LPPS  | √              | √                |
|           | 25                       | Climb  | √              | √                |
|           | 26                       | Cruise / Navigation  | √              | √                |
|           | 27                       | Circling VOR DME RWY-05                                    | √              | √                |
|           | 28                       | VOR / visual approach / non-precision RWY-05               | √              | √                |
|           | 29                       | Landing RWY-05 LPMA  | √              | √                |
| V         | 30                       | Takeoff RWY-33 LPLA  | √              | √                |
|           | 31                       | Climb  | √              | √                |
|           | 32                       | Cruise / Navigation  | √              | √                |
|           | 33                       | Descent  | √              | √                |
|           | 34                       | Approach (non-precision APPR)                              | √              | √                |
|           | 35                       | Circling (Lctr DME)  | √              | √                |
|           | 36                       | Landing RWY-28 LPHR  | √              | √                |
|           | 37                       | Taxing / Parking   | √              | √                |

**Markings:**

- \*1): Asimetric touchdown
- \*1a): Hard touchdown (no damage)
- \*1b): **Hard touchdown (damage)**
- \*1c): Touchdown before threshold
- \*1d): Touchdown at threshold
- \*1e): Pitch instability (on touchdown)
- \*1f): Pitch instability (on takeoff rotation)
- \*1g): Banking instability (after takeoff rotation)
- \*2): Horizontal instability on braking
- \*2b): IAS below Vref
- \*3): Below correct glidepath (on short final approach)

## **Apêndice III**

# **Project Lisbon Photoreal**

**Cenário fotográfico da cidade de Lisboa e aeroporto para  
utilização com o jogo de simulação *MS Flight Simulator 2004***

por

**Pedro Oliveira**























## **Licença de utilização**

§ 1. Este produto encontra-se ao abrigo da legislação internacional dos direitos de autor. A sua aquisição e utilização são gratuitas. Pode ser adquirido para uso privado ou para demonstrações públicas, mas não pode ser vendido em circunstância alguma nem incluído em qualquer outro produto comercial ou gratuito, nem em parte nem no seu todo. Pode ser distribuído em qualquer suporte digital ou físico, nomeadamente sítios públicos ou privados da *Internet*.

§ 2. A informação digital contida no pacote pertence ao autor e não é permitida a sua inclusão em outros produtos. Não é permitida qualquer alteração de conteúdo, forma ou nome do produto, nem a utilização de parte do seu conteúdo que não no seu todo. Não é permitida qualquer prática de *reverse engineering* com o fim de editar ou modificar o conteúdo, incluindo ficheiros de cenário (.bgl) ou de textura (.bmp).

§ 3. Este produto implementa uma representação sintética tridimensional do cenário da cidade de Lisboa, com representação fotográfica do solo, baseada em fotos do ano de 1999 disponíveis gratuitamente no sítio do Sistema Nacional de Informação Geográfica, complementada com actualizações fotográficas específicas do Google Earth™. Inclui, para além do solo fotográfico (com texturas sazonais e nocturnas), diversos objectos tridimensionais com texturas fotográficas desenhados com recurso ao *CAD* adaptado ao *Microsoft Flight Simulator*. A colocação do chão fotográfico foi efectuada através de *GPS*, assim como os principais objectos do cenário.

§ 4. O cenário implementa o chão detalhado do aeroporto de Lisboa (LPPT) válido para o ano de 2006. Com o objectivo de representar o chão no seu máximo detalhe, foram utilizadas cartas oficiais *AIP* disponíveis gratuitamente no sítio da NAV Portugal. Foram, igualmente, utilizadas fotografias aéreas recentes de diversas zonas do aeroporto, para o desenho correcto do chão.

§ 5. A utilização deste produto na formação aeronáutica real não dispensa a informação actualizada fornecida pela autoridade aeronáutica competente e deve ser realizada sempre na observância das limitações do produto, não sendo sempre garantida a fidelidade e coerência com a aviação real, nomeadamente diferenças eventuais em desvios magnéticos periódicos, actualização de radio-ajudas, obras e alterações no aeroporto de Lisboa ou em qualquer outro objecto ou *landmark*.

§ 6. O autor do produto não assume qualquer responsabilidade no caso de utilização incorrecta ou treino direccionados para outros fins não previstos, incluindo a prática com fins socialmente nefastos, assim como no caso de danificação do conteúdo digital da máquina em que for instalado.

**Project Lisbon Photoreal**

Copyright ©2004-2006 Pedro Oliveira. Todos os direitos reservados.

## **Apêndice IV**

### **QUESTINÁRIO DE INQUÉRITO REALIZADO ÀS ORGANIZAÇÕES DE TREINO DE VOO (FTO) EM PORTUGAL**

**1- Que cursos de formação aeronáutica leccionam?**

R:

**2- Em que ano tiveram início os vossos primeiros cursos de pilotagem?**

R:

**3- Os manuais e outro material didático é fornecido aos alunos unicamente em formato físico (papel, livros) e/ou digital (CD-ROM, DVD, etc.)? Nesta última situação, que material didático digital?**

R:

**4- No processo de formação dos vossos alunos, utilizam nos cursos algum tipo de tecnologia baseada em computadores PC, tal como projecções “datashow”, simuladores de voo para PC, programas específicos tipo CBT (Computer Based Training), ou outro? Quais?**

R:

**5- Qual a vossa opinião relativamente aos simuladores de voo para PC de última geração (MSFS, X-Plane, Fly!, FlitePro, Elite, etc.)?**

R:

**6- Admitiriam a possibilidade de utilizarem alguns destes simuladores disponíveis para PC (ou quaisquer outros, incluindo profissionais, desde que baseados em computadores do tipo PC) nas aulas ou em alguma fase do processo de aprendizagem, caso ainda os não utilizem? Em que fase(s)? Porquê?**

R:

**7- Julgam ser uma mais-valia a implementação destes simuladores PC numa fase do treino imediatamente antes da passagem ao voo na aeronave real? Porquê?**

R:

**8- Os alunos aceitam bem essas novas tecnologias (caso sejam utilizadas)? Que dificuldades?**

R:

**9- Nessa formação, é utilizado algum tipo de simulador certificado oficialmente (pelo INAC, JAA ou FAA)? Quais e que certificações detêm? Em que fase do processo de aprendizagem intervêm?**

R:

**10- Já equacionaram a possibilidade de fazer mais uso das tecnologias do tipo PC, mais baratas, portanto?**

R:

**11- No vosso ponto de vista, recomendariam a utilização e exploração das tecnologias baseadas em computadores de uso pessoal (PC) na formação aeronáutica? Porquê e em que fases do processo de aprendizagem?**

R:

## **Anexos**

**REQUISITOS MÍNIMOS**  
**PARA CERTIFICAÇÃO DE DISPOSITIVOS-DE-VOO-SINTÉTICO**  
**(JAR-STD)**

**Table 1 – Minimum technical requirements for qualifying JAA Level A, B, C and D Flight Simulators**

| Qualification Level | General Technical Requirements   | Maximum Credits   |
|---------------------|--|---|
| <b>A</b>            | <p>The lowest level of flight simulator technical complexity.</p> <p>An enclosed full scale replica of the aeroplane cockpit/flight deck including simulation of all systems, instruments, navigational equipment, communications and caution and warning systems.</p> <p>An instructor's station with seat shall be provided as shall be seats for the flight crewmembers and one seat for inspectors/observers.</p> <p>Control forces and displacement characteristics shall correspond to that of the replicated aeroplane and they shall respond in the same manner as the aeroplane under the same flight conditions.</p> <p>The use of class specific data tailored to the specific aeroplane type with fidelity sufficient to meet the objective tests, functions and subjective tests is allowed. Generic ground effect and ground handling models are permitted. Motion, visual and sound systems sufficient to support the training, testing and checking credits sought are required.</p> <p>The visual system [shall] provide at least 45 degrees horizontal and 30 degrees vertical field of view per pilot. A night scene is acceptable.</p> <p>The response to control inputs shall not be greater than 300 milliseconds more than that experienced on the aircraft.</p> <p>Wind shear need not be simulated.</p> | <p>Suitable for:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Crew procedures training.</li> <li>- Instrument flight training.</li> <li>- Transition/conversion training, testing and checking except for take off and landing manoeuvres.</li> <li>- Recurrent training, checking and testing (type and instrument rating renewal/revalidation)</li> </ul> |
| <b>B</b>            | <p>As for Level A plus:</p> <p>Validation flight test data shall be used as the basis for flight and performance and systems characteristics. Additionally ground handling and aerodynamics programming to include ground effect reaction and handling characteristics shall be derived from validation flight test data.</p>  | <p>As for Level A plus:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Recency of experience (three take-offs and landings in 90 days).</li> <li>- Transition/conversion training for take-off and landing manoeuvres.</li> <li>- Transition/conversion testing and checking except for take-offs and landings.</li> </ul>                                    |
| <b>C</b>            | <p>The second highest [ ]level of [flight] simulator performance.</p> <p>As for Level B plus:</p> <p>A daylight/twilight/night visual system is required with [a] continuous, cross-cockpit, minimum collimated visual field of view providing each pilot with 180 degrees horizontal and 40 degrees vertical field of view.</p> <p>A six axes motion system shall be provided.</p> <p>The sound simulation shall include the sounds of precipitation and other significant aeroplane noises perceptible to the pilot and shall be able to reproduce the sounds of a crash landing.</p> <p>The response to control inputs shall not be greater than 150 milliseconds more than that experienced on the [aeroplane].</p> <p>Wind shear simulation shall be provided.</p>  | <p>As for Level B plus:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Transition/conversion testing and checking of take-offs and landings for flight crewmembers whose minimum experience level is defined by the Authority.</li> </ul>   |
| <b>D</b>            | <p>The highest level of flight simulator performance.</p> <p>As for Level C plus:</p> <p>There shall be complete fidelity of sounds and motion buffets.</p>  | <p>As for Level C plus:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Transition/conversion testing and checking of take-off and landings for flight crews, who may be required to meet a minimum experience level defined by the Authority.</li> </ul>  |

**Table 1 – Minimum STD requirements for qualifying JAA FTD level 1 and 2**

| <i>Qualification Level</i> | <i>General Technical Requirements</i>  | <i>Maximum Credits</i>   |
|----------------------------|--|--|
| 1                          | <p>Type specific with at least 1 system fully represented</p> <p>Closed or open flight deck</p> <p>(Note: Choice of systems simulated is the responsibility of the organisation seeking approval or re-approval for the course)</p>  | <p>Suitable for:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Selective system management credits (except for pilot manual control handling skills) as follows:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• part of an approved conversion/transition course,</li> <li>• recurrent training/checking.</li> </ul> </li> </ul>  |
| 2                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Type specific</li> <li>- All applicable systems fully represented</li> <li>- Closed flight deck</li> <li>- Type specific or Generic Flight Dynamics (but shall be representative of aircraft performance)</li> <li>- On board Instructor station</li> <li>- Significant sounds</li> <li>- Control of atmospheric conditions</li> <li>- Navigation Data Base (sufficient to support aeroplane systems)</li> <li>- Adequate test capability</li> <li>- Primary flight controls which control the flight path and be broadly representative of aeroplane control characteristics.</li> </ul> | <p>Suitable for:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Systems Management Initial and Recurrent training, checking and testing, (except pilot manual control handling skills i.e. those flight manoeuvres executed via the pilots primary flying controls).</li> <li>- CRM Training, as part of approved course.</li> <li>- LOFT (Route and area familiarisation only where at least Level A simulator visual system fitted). (See also Appendix 1 to JAR-STD 2A.030 and standards.)</li> </ul> |

Table 1 – FNPT I

| Device      | Minimum Technical Requirements   | Maximum Credits   |
|-------------|--|---|
| FNPT Type I | <p>1 – A cockpit/flight deck sufficiently enclosed to exclude distraction, which will replicate that of the aeroplane or class of aeroplane simulated and in which the switches and all the controls will operate as, and represent those in, that aeroplane or class of aeroplane.</p> <p>2 – Instruments, equipment, panels, systems, primary and secondary flight controls sufficient for the training events to be accomplished [shall] be located in a spatially correct flight deck area.</p> <p>3 – Lighting environment for panels and instruments sufficient for the operation being conducted.</p> <p>4 – In addition to the flight crew members' stations, suitable viewing arrangements for the instructor [shall be provided. These shall] provide an adequate view of the crew members panels and station.</p> <p>5 – Effects of aerodynamic changes for various combinations of drag and thrust normally encountered in flight, including the effect of change in aeroplane attitude, sideslip, altitude, temperature, gross mass, centre of gravity location and configuration.</p> <p>6 – Navigation equipment corresponding to that of the replicated aeroplane or class of aeroplanes, with operation within the tolerances prescribed for the actual airborne equipment. This shall include communication equipment (interphone and air/ground communications systems).</p> <p>7 – Control forces and control travel shall broadly correspond to that of the replicated aeroplane or class of aeroplane.</p> <p>8 – Complete navigational data for at least 5 different European airports with corresponding precision and non-precision approach procedures including current updating within a period of 3 months. All navigational aids should be usable, if within range, without restriction and without Instructor intervention.</p> <p>9 – Engine sounds shall be available.</p> <p>10 – The following shall be available:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– variable effects of wind and turbulence.</li> <li>– hard copy of map and approach plot.</li> <li>– provision for position freeze and flight freeze.</li> <li>– Instructor controls necessary to perform the training task.</li> </ul> <p>11 – A Qualification Test Guide which shall be submitted by the Operator in a form and manner that is acceptable to the competent Authority and which conforms to AMC STD 3A.030 (para 1.6).</p> <p>12 – Stall recognition device corresponding to that of the replicated aeroplane or class of aeroplane.</p> <p>See also Note 1 below Table 3.</p> | <p>Credits in accordance with JAR-FCL.</p> <p>(In order to be used for aeroplane type or class-specific training, testing and checking, the device must also be qualified as a Flight Training Device (FTD) or Flight Simulator.)</p> |

**Table 2 – FNPT II**

| Device       | Minimum Technical Requirements  | Maximum Credits   |
|--------------|---|---|
| FNPT Type II | <p>As for Type I with the following additions or amendments:</p> <p>1 – The flight deck, including the instructor's station, shall be enclosed.</p> <p>2 – Circuit breakers shall function accurately when involved in procedures or malfunctions requiring or involving flight crew response.</p> <p>3 – Crew members seats shall be provided with sufficient adjustment to allow the occupant to achieve the design eye reference position appropriate to the aeroplane or class of aeroplane and for the visual system to be installed to align with that eye position.</p> <p>4 – A generic ground handling model shall be provided to enable representative flare and touch down effects to be produced by the sound and visual systems.</p> <p>5 – Systems [shall] be operative to the extent that it shall be possible to perform all normal, abnormal and emergency operations as may be appropriate to the aeroplane or class of aeroplanes being simulated and as required for the training. Once activated, proper systems operation must result from system management by the crew member and not require any further input from the instructor's controls.</p> <p>6 – The instructor's station shall include the following controls:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(a) representative crosswinds.</li> <li>(b) a facility to enable the dynamic plotting of the flight path on approaches, commencing at the final approach fix, including the vertical profile.</li> </ul> <p>7 – Control forces and control travels which respond in the same manner under the same flight conditions as in the aeroplane or class of aeroplane being simulated.</p> <p>8 – Aerodynamic modelling shall reflect:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(a) the effects of airframe icing;</li> <li>(b) the rolling moment due to yawing.</li> </ul> <p>9 – Significant cockpit/flight deck sounds, responding to pilot actions, corresponding to the aeroplane or class of aeroplane being simulated.</p> <p>10 – A visual system (night/dusk or day) capable of providing a field-of-view of a minimum of 45 degrees horizontally and 30 degrees vertically, unless restricted by the type of aeroplane, simultaneously for each pilot, including adjustable cloud base and visibility. The visual system need not be collimated but shall be capable of meeting the standards laid down in Part 3 and 4 (Validation, Functions and Subjective Tests – See AMC STD 3A.030). The responses of the visual system and the flight deck instruments to control inputs shall be closely coupled to provide the integration of the necessary cues.</p> <p>See also Note 1 below Table 3.</p> | <p>Credits in accordance with JAR-FCL.</p> <p>(In order to be used for aeroplane type or class-specific training, testing and checking, the device must also be qualified as a Flight Training Device (FTD) or Flight Simulator.)</p> |

**Table 3 – FNPT II MCC**

| Device           | Minimum Technical Requirements   | Maximum Credits                         |
|------------------|--|---|
| FNPT Type II MCC | <p>For use in Multi-Crew Co-operation (MCC) training – as for Type II with the following additions or amendments:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1 – turbo-jet or turbo-prop engines.</li> <li>2 – performance reserves, in case of an engine failure, to be in accordance with JAR-25. These may be simulated by a reduction in the aeroplane gross mass.</li> <li>3 – retractable landing gear.</li> <li>4 – pressurization system.</li> <li>5 – deicing systems.</li> <li>6 – fire detection / suppression system.</li> <li>7 – dual controls.</li> <li>8 – autopilot with automatic approach mode.</li> <li>9 – 2 VHF transceivers including oxygen masks intercom system.</li> <li>10 – 2 VHF NAV receivers (VOR, ILS, DME).</li> <li>11 – 1 ADF receiver.</li> <li>12 – 1 Marker receiver.</li> <li>13 – 1 transponder.</li> </ul> <p>The following indicators shall be located in the same positions on the instrument panels of both pilots:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1 – airspeed.</li> <li>2 – flight attitude with flight director.</li> <li>3 – altimeter.</li> <li>4 – flight director with ILS (HSI).</li> <li>5 – vertical speed.</li> <li>6 – ADF.</li> <li>7 – VOR.</li> <li>8 – Marker indication (as appropriate).</li> <li>9 – stop watch (as appropriate).</li> </ul> <p>See also Note 1 below.</p> | MCC credits in accordance with JAR-FCL. |

**Note 1:**

Certain FNPT I & II and visual system requirements included in this appendix shall be supported with a Statement of Compliance (SOC) and, in designated cases, an Objective Test (See AMC STD 3A.030). The Statement of Compliance shall describe how the requirement is met.

**Table 1 Minimum technical requirements for qualifying JAA BITD**

| <b>Minimum Technical Requirements</b>  |
|--|
| 1. A student pilot's station which represents a class of aeroplane sufficiently enclosed to exclude distraction.   |
| 2. The switches and all the controls shall be of a representative size and shape, and shall operate as and represent those as in the simulated class of aeroplane.   |
| 3. Instruments, equipment, panels, systems, primary and secondary flight controls sufficient for the training events to be accomplished shall be located in a position similar to that in the simulated class of aeroplane.  |
| 4. Lighting environment for panels and instruments sufficient for the operation being conducted.   |
| 5. In addition to the pilot's seat, suitable viewing arrangements for the instructor shall be provided allowing an adequate view over the pilot's panels.  |
| 6. The performance shall be representative of the simulated class of aeroplane.  |
| 7. Effects of aerodynamic changes for various combinations of drag, thrust and control settings encountered in flight, including the effect of change in aeroplane attitude and sideslip shall be representative of the simulated class of aeroplane.                |
| 8. Navigation equipment for flights under IFR with representative tolerances. This shall include communication equipment.  |
| 9. Control forces and travel shall broadly correspond to that of the simulated class of aeroplane.   |
| 10. Complete navigation data base for at least 3 airports with corresponding precision and non-precision approach procedures including regular updates. All navigational aids shall be usable, if within range, without restrictions and instructor intervention.    |
| 11. Engine sound shall be available.   |
| 12. Control and effects of atmospheric conditions, including at least: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Wind direction and speed</li> <li>- Barometric pressure</li> </ul>   |
| 13. Map and approach profiles flown shall be available.  |
| 14. Provision for position freeze, flight freeze and repositioning (geographical position, heading, speed and altitude).   |
| 15. Instructor controls to set and reset malfunctions relating to: <ul style="list-style-type: none"> <li>- flight instruments\</li> <li>- navigation aids</li> <li>- flight controls</li> <li>- engine out operations (for multi engine aeroplanes only)</li> </ul> |
| 16. Stall recognition device corresponding to that of the simulated class of aeroplane.  |
| 17. A Qualification Test Guide (QTG) which shall be submitted in a form and manner acceptable to the Authority and which conforms to AMC STD 4A.030 (para1.6).   |