

Fatores Humanos e Segurança de Voo O Caso da Fadiga Cognitiva em Pilotos de Linha Aérea

Nuno Mota Vieira da Câmara Quental

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Aeronáutica
(mestrado integrado)

Orientador: Prof. Doutor Jorge Miguel dos Reis Silva
Coorientadora: Eng.^a Lúcia Assunção Tavares Brandão Menezes

novembro de 2020

Fatores Humanos e Segurança de Voo
O Caso da Fadiga Cognitiva em Pilotos de Linha Aérea

*“On a mile of highway, you can drive a mile.
On a mile of railway, you can travel a mile.
With a mile of runway, you have the whole world.”*

Ed Bolen

Fatores Humanos e Segurança de Voo
O Caso da Fadiga Cognitiva em Pilotos de Linha Aérea

Dedicatória

Aos meus pais e irmãs, pelo encorajamento e apoio incondicional em todos os momentos da minha vida.

Fatores Humanos e Segurança de Voo
O Caso da Fadiga Cognitiva em Pilotos de Linha Aérea

Agradecimentos

Em primeiro lugar, quero exprimir a minha gratidão ao Prof. Doutor Jorge Miguel dos Reis Silva, orientador da presente dissertação de mestrado, por me ter acompanhado nesta etapa académica. Agradeço a dedicação demonstrada, o apoio, a partilha de conhecimentos, a rapidez com que sempre respondeu às minhas questões e todas as correções efetuadas.

Um agradecimento muito especial à euroAtlantic Airways, por, numa fase complicada para a indústria da aviação, me ter permitido realizar a recolha dos dados necessários. Aproveito para demonstrar todo o meu reconhecimento:

- À Eng.^a Lúcia Menezes e ao Cmdt. Jorge Santos, pelo constante apoio e contributo no progresso deste trabalho;
- Ao Cmdt. Lourenço Gomes, pelo seu interesse no projeto desde o momento em que foi feita a sua apresentação;
- Ao colaborador Alberto O'Neill, pelo fornecimento dos relatórios de fadiga e pelos esclarecimentos prestados acerca dos mesmos;
- Aos quatro pilotos de linha aérea, pela disponibilidade e pelo tempo dedicado.

Cabe-me ainda deixar um obrigado ao João Artur Rocha, por ter estado sempre disponível para debater ideias e para esclarecer toda e qualquer dúvida.

Também não poderia deixar de agradecer aos meus colegas do Mestrado Integrado em Engenharia Aeronáutica, especialmente a três grandes amigos que a Covilhã me trouxe, Daniel Martins, Diogo Marto e Helder Martins, pela amizade, entajuda e companheirismo ao longo destes cinco anos de faculdade.

Por último, mas absolutamente fundamental, agradeço à minha família, sem a qual não teria sido possível chegar até aqui. Aos meus pais, pelo amor, suporte, compreensão e por sempre me terem proporcionado as melhores oportunidades. Às minhas irmãs, Raquel, que foi o meu principal apoio na transição entre o ensino secundário e o superior, e Ana, que me ajudou a manter o foco e a motivação num período em que não parecia ser possível iniciar a componente experimental deste trabalho.

Fatores Humanos e Segurança de Voo
O Caso da Fadiga Cognitiva em Pilotos de Linha Aérea

Resumo

Apesar do transporte aéreo ser um ramo da aviação muito regulamentado, continua a apresentar ocorrências onde o erro humano está presente. Atualmente, a fadiga dos pilotos é reconhecida como um perigo que afeta o seu desempenho e que pode colocar em risco a segurança dos voos. Neste sentido, o objetivo geral deste estudo é avaliar o impacto da fadiga cognitiva nos pilotos de linha aérea e de que forma esta pode contribuir para a ocorrência de acidentes e incidentes.

A fadiga cognitiva dos participantes foi monitorizada por quatro métodos indicados pela *International Civil Aviation Organization* (ICAO), sendo dois deles subjetivos – o diário de sono (DS) e a *Samn-Perelli 7-Point Fatigue Scale* (SPS), e os outros dois objetivos – a Tarefa de Vigilância Psicomotora (PVT) e a actigrafia, concretizada através da utilização do *actiwatch Readiband™ 5*. Ao longo dos períodos de serviço de voo (FDPs), o desempenho dos pilotos ainda foi avaliado pelas pontuações provenientes do *software* que a euroAtlantic Airways (EAA) utiliza no processo de gestão da fadiga dos seus tripulantes, o FAID®. Além da componente experimental, os quatro pilotos responderam, também, a um questionário que abordava a temática da fadiga.

Os resultados obtidos permitiram não só compreender se os pilotos têm consciência da alteração do seu estado de alerta, como também identificar fatores que afetam os seus níveis de desempenho. Foram analisados onze setores de voo, num total de sete FDPs, sendo que, entre o início e o final de cada FDP, se observaram alterações significativas nas classificações feitas na escala SPS, nos tempos de reação (RTs) e nas pontuações de fadiga produzidas pelos modelos biomatemáticos associados à técnica da actigrafia e ao *software* FAID®. Estas variações nos resultados induzem a uma alteração do risco de acidente ou erro grave, pelo que este foi classificado em três momentos dos FDPs: antes do primeiro setor, após o primeiro setor e, finalmente, após o segundo setor.

Palavras-chave

Fatores Humanos; Fadiga Cognitiva; Desempenho de Pilotos de Linha Aérea; Segurança de Voo; Acidentes e Incidentes.

Fatores Humanos e Segurança de Voo
O Caso da Fadiga Cognitiva em Pilotos de Linha Aérea

Abstract

Despite being a highly regulated branch of aviation, air transport continues to show occurrences where human error is present. Pilot fatigue is now recognized as a hazard which affects their performance and can put flight safety at risk. In this regard, the general objective of this study is to assess the impact of cognitive fatigue on airline pilots and how it can contribute to the occurrence of accidents and incidents.

The participants' cognitive fatigue was monitored according to four methods indicated by the *International Civil Aviation Organization* (ICAO), being two of them of a subjective nature – the sleep diary (DS) and the *Samn-Perelli 7-Point Fatigue Scale* (SPS), and the other two of an objective nature – the Psychomotor Vigilance Task (PVT) and the actigraphy, which could be achieved by using the *actiwatch* Readiband™ 5. During their flight duty periods (FDPs), the pilots' performance was also assessed according to the score delivered by the *software* that euroAtlantic Airways (EAA) uses in their crew fatigue management process, the FAID®. In addition to the experimental component, the four pilots also responded a questionnaire regarding the fatigue subject.

The obtained results not only allowed to understand whether the pilots are aware of their alert state, but also to identify factors which affect their performance levels. Eleven flight sectors were analysed, in a total of seven FDPs: between the beginning and the end of each FDP, significant changes were observed concerning the assessment on the SPS scale, the reaction time (RT) and the fatigue score generated by the biomathematical models associated to the technique of the actigraphy and the *software* FAID®. These variations in the results induce a change in the risk of accident or serious error, as a result, this was classified in three different moments of the FDPs: before the first sector, after the first sector and, finally, after the second sector.

Keywords

Human Factors; Cognitive Fatigue; Airline Pilots Performance; Flight Safety; Accidents and Incidents.

Fatores Humanos e Segurança de Voo
O Caso da Fadiga Cognitiva em Pilotos de Linha Aérea

Índice

| | |
|--|----|
| Capítulo 1 – Introdução..... | 1 |
| 1.1. Motivação..... | 1 |
| 1.2. Objeto e Objetivos | 5 |
| 1.3. Metodologia..... | 6 |
| 1.4. Estrutura da Dissertação | 7 |
| 1.5. Dissertações Anteriores..... | 8 |
| Capítulo 2 – Fatores Humanos na Aviação..... | 9 |
| 2.1. Introdução | 9 |
| 2.2. Definição de Fatores Humanos | 9 |
| 2.2.1. O Modelo SHELL..... | 10 |
| 2.2.2. <i>The Human Factors “Dirty Dozen”</i> | 11 |
| 2.2.3. Acidente vs. Incidente | 13 |
| 2.3. Sistema de Análise e Classificação de Fatores Humanos | 13 |
| 2.3.1. Níveis de Falha Contemplados no HFACS | 14 |
| 2.3.1.1. Atos Inseguros (Nível 1) | 15 |
| 2.3.1.2. Condições Prévias para Atos Inseguros (Nível 2) | 15 |
| 2.3.1.3. Supervisão Insegura (Nível 3)..... | 16 |
| 2.3.1.4. Influências Organizacionais (Nível 4)..... | 17 |
| 2.3.2. Aplicação do HFACS na Investigação de Acidentes..... | 17 |
| 2.4. A Fadiga | 18 |
| 2.4.1. Definição de Fadiga | 19 |
| 2.4.2. Tipos de Fadiga | 19 |
| 2.4.3. Efeitos da Fadiga | 20 |
| 2.4.3.1. Manifestações de Fadiga nos Pilotos de Linha Aérea | 21 |
| 2.5. Princípios Científicos para a Gestão da Fadiga..... | 22 |
| 2.5.1. Princípio Científico 1 – A Necessidade de Dormir | 22 |
| 2.5.1.1. Tipos de Sono | 23 |
| 2.5.1.2. O Ciclo REM/NREM..... | 24 |
| 2.5.1.3. Fatores que Afetam a Qualidade do Sono..... | 25 |
| 2.5.1.4. A Sesta como Medida Mitigadora da Fadiga nos Pilotos de Linha Aérea ... | 25 |
| 2.5.2. Princípio Científico 2 – Perda e Recuperação do Sono..... | 26 |
| 2.5.2.1. Consequências da Restrição de Sono..... | 27 |

| | |
|--|----|
| 2.5.2.2. Recuperação dos Efeitos da Restrição de Sono..... | 28 |
| 2.5.3. Princípio Científico 3 – Efeitos Circadianos no Sono..... | 28 |
| 2.5.3.1. O Relógio Biológico Circadiano | 29 |
| 2.5.3.2. <i>Jet Lag</i> | 30 |
| 2.5.4. Princípio Científico 4 – Influência da Carga de Trabalho | 31 |
| 2.6. Limitações do Tempo de Voo e de Serviço e Requisitos de Repouso | 32 |
| 2.6.1. Período de Serviço | 32 |
| 2.6.2. Tempo de Voo | 33 |
| 2.6.2.1. Período de Serviço de Voo Diário | 33 |
| 2.6.3. Período de Repouso | 34 |
| 2.7. Conclusão..... | 34 |
| Capítulo 3 – Métodos de Avaliação da Fadiga | 37 |
| 3.1. Introdução..... | 37 |
| 3.2. Ferramentas Subjetivas para Avaliação da Fadiga..... | 37 |
| 3.2.1. Diário de Sono | 38 |
| 3.2.2. <i>Samn-Perelli 7-Point Fatigue Scale</i> | 39 |
| 3.3. Ferramentas Objetivas para Avaliação da Fadiga | 41 |
| 3.3.1. Tarefa de Vigilância Psicomotora..... | 41 |
| 3.3.2. Actigrafia..... | 43 |
| 3.4. FAID® | 47 |
| 3.5. Conclusão..... | 48 |
| Capítulo 4 – Caso de Estudo | 49 |
| 4.1. Introdução..... | 49 |
| 4.2. Implementação | 49 |
| 4.3. Questionário – Resultados Obtidos..... | 53 |
| 4.4. Trabalho Experimental – Resultados Obtidos e Discussão | 55 |
| 4.4.1. Piloto de Linha Aérea 1..... | 56 |
| 4.4.1.1. Período de Serviço de Voo 1.1..... | 62 |
| 4.4.1.2. Período de Serviço de Voo 1.2..... | 64 |
| 4.4.2. Piloto de Linha Aérea 2..... | 66 |
| 4.4.2.1. Período de Serviço de Voo 2.1..... | 72 |
| 4.4.2.2. Período de Serviço de Voo 2.2..... | 74 |
| 4.4.3. Piloto de Linha Aérea 3..... | 76 |

| | |
|--|-----|
| 4.4.3.1. Período de Serviço de Voo 3.1..... | 82 |
| 4.4.3.2. Período de Serviço de Voo 3.2..... | 83 |
| 4.4.4. Piloto de Linha Aérea 4..... | 85 |
| 4.4.4.1. Período de Serviço de Voo 4.1..... | 88 |
| 4.4.5. Análise Geral – Pilotos de Linha Aérea 1, 2, 3 e 4..... | 89 |
| 4.5. Conclusão..... | 92 |
| Capítulo 5 – Conclusão..... | 93 |
| 5.1. Síntese da Dissertação..... | 93 |
| 5.2. Considerações Finais..... | 94 |
| 5.3. Perspetivas para Trabalhos Futuros..... | 95 |
| Referências..... | 97 |
| Apêndices..... | 103 |
| Apêndice I: Documento Entregue aos Pilotos de Linha Aérea Participantes no Estudo..... | 103 |
| Apêndice II: Risco Associado ao Piloto de Linha Aérea 1..... | 121 |
| Apêndice III: Bebidas com Cafeína/Álcool (Pilotos 2 e 3)..... | 123 |
| Apêndice IV: Risco Associado ao Piloto de Linha Aérea 2..... | 125 |
| Apêndice V: Risco Associado ao Piloto de Linha Aérea 3..... | 127 |
| Apêndice VI: Risco Associado ao Piloto de Linha Aérea 4..... | 129 |
| Apêndice VII: Artigos para Publicação..... | 131 |
| a) Artigo Submetido ao <i>Journal of Airline and Airport Management</i> | 131 |
| b) Artigo Submetido ao <i>Safety Science Journal</i> | 132 |

Fatores Humanos e Segurança de Voo
O Caso da Fadiga Cognitiva em Pilotos de Linha Aérea

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Evolução das causas dos acidentes de aeronaves [3]. | 1 |
| Figura 2. Influência de FH nos acidentes e incidentes com aeronaves no setor do transporte aéreo, por ano, em percentagem. Fonte: elaboração própria, com base em [6]. | 2 |
| Figura 3. Danos na parte inferior traseira da fuselagem do ATR 72-212A (CS-DJG) [7]. | 3 |
| Figura 4. Posição final do ATR 72-212A (CS-DJF) na pista [8]. | 4 |
| Figura 5. Metodologia seguida na elaboração da dissertação. Fonte: elaboração própria. .. | 6 |
| Figura 6. Questões-chave do trabalho, do indivíduo e da organização [17]. | 10 |
| Figura 7. Modelo SHELL [18]. | 11 |
| Figura 8. <i>The Human Factors “Dirty Dozen”</i> [21]. | 12 |
| Figura 9. Ligação entre os níveis de falha do HFACS [24]. | 14 |
| Figura 10. Atos inseguros. Fonte: elaboração própria, com base em [24]. | 15 |
| Figura 11. Condições prévias para atos inseguros. Fonte: elaboração própria, com base em [24]. | 16 |
| Figura 12. Supervisão insegura. Fonte: elaboração própria, com base em [24]. | 16 |
| Figura 13. Influências organizacionais. Fonte: elaboração própria, com base em [24]. | 17 |
| Figura 14. Causas dos acidentes distribuídas pelos quatro níveis de falha do HFACS [26]. | 18 |
| Figura 15. Percentagem de pilotos que já sentiram fadiga (a cinzento) e que já adormeceram (a vermelho) durante um voo [33]. | 22 |
| Figura 16. Percentagem da noite passada em cada tipo de sono [10]. | 24 |
| Figura 17. A evolução dos ciclos REM/NREM ao longo da noite [10]. | 24 |
| Figura 18. Relação entre o sono e o ciclo do relógio biológico circadiano [10]. | 29 |
| Figura 19. Ritmos circadianos de um piloto SM-H [10]. | 30 |
| Figura 20. FDP máximo diário para tripulantes aclimatados [45]. | 33 |

| | |
|---|----|
| Figura 21. DS da <i>National Sleep Foundation</i> [50]. | 39 |
| Figura 22. Evolução da fadiga dos pilotos consoante a hora do dia e a duração do período de serviço [53]. | 40 |
| Figura 23. Aparelho PVT-192 [55]. | 42 |
| Figura 24. Aplicação s2P na <i>App Store</i> [56]. | 42 |
| Figura 25. Utilização da aplicação s2P no sistema operativo <i>iOS</i> . Fonte: elaboração própria, com base em [56]. | 43 |
| Figura 26. <i>Actiwatch</i> Readiband™ 5 [58]. | 44 |
| Figura 27. Aplicação <i>Readi by Fatigue Science</i> na <i>App Store</i> [62]. | 45 |
| Figura 28. Registo de actigrafia com períodos de sono e atividade. Fonte: adaptado de [61]. | 45 |
| Figura 29. SAFTE™ <i>Alterness Score</i> [58]. | 46 |
| Figura 30. Evolução da SAFTE™ <i>Alterness Score</i> ao longo do dia [58]. | 47 |
| Figura 31. Tabela dos Dias de Voo. Fonte: elaboração própria. | 51 |
| Figura 32. Procedimento a seguir pelos pilotos de linha aérea nos dias sem FDP. Fonte: elaboração própria. | 52 |
| Figura 33. Procedimento a seguir pelos pilotos de linha aérea nos dias com FDP. Fonte: elaboração própria. | 52 |
| Figura 34. Quantidade de sono e SPS ao acordar (piloto 1). Fonte: elaboração própria. | 59 |
| Figura 35. Qualidade do sono e SPS ao acordar (piloto 1). Fonte: elaboração própria. | 59 |
| Figura 36. Quantidade de sono e PVT ao acordar (piloto 1). Fonte: elaboração própria. .. | 60 |
| Figura 37. Qualidade do sono e PVT ao acordar (piloto 1). Fonte: elaboração própria. | 61 |
| Figura 38. SPS e PVT ao acordar e ao deitar (piloto 1). Fonte: elaboração própria. | 62 |
| Figura 39. Setores LIS – LOS e LOS – LIS [69]. | 63 |
| Figura 40. Setor TMS – LIS [69]. | 65 |
| Figura 41. Quantidade de sono e SPS ao acordar (piloto 2). Fonte: elaboração própria. .. | 69 |

| | |
|---|----|
| Figura 42. Qualidade do sono e SPS ao acordar (piloto 2). Fonte: elaboração própria..... | 69 |
| Figura 43. Quantidade de sono e PVT ao acordar (piloto 2). Fonte: elaboração própria... | 70 |
| Figura 44. Qualidade do sono e PVT ao acordar (piloto 2). Fonte: elaboração própria. | 71 |
| Figura 45. SPS e PVT ao acordar e ao deitar (piloto 2). Fonte: elaboração própria. | 72 |
| Figura 46. Setores DWC – KBL e KBL – DWC [69]..... | 74 |
| Figura 47. Quantidade de sono e SPS ao acordar (piloto 3). Fonte: elaboração própria... | 79 |
| Figura 48. Qualidade do sono e SPS ao acordar (piloto 3). Fonte: elaboração própria..... | 79 |
| Figura 49. Quantidade de sono e PVT ao acordar (piloto 3). Fonte: elaboração própria... | 80 |
| Figura 50. Qualidade do sono e PVT ao acordar (piloto 3). Fonte: elaboração própria. | 80 |
| Figura 51. SPS e PVT ao acordar e ao deitar (piloto 3). Fonte: elaboração própria..... | 82 |
| Figura 52. Setor LIS - DWC [69]. | 82 |
| Figura 53. Quantidade de sono e SPS ao acordar (piloto 4). Fonte: elaboração própria... | 87 |
| Figura 54. Qualidade do sono e SPS ao acordar (piloto 4). Fonte: elaboração própria..... | 88 |

Fatores Humanos e Segurança de Voo
O Caso da Fadiga Cognitiva em Pilotos de Linha Aérea

Lista de Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Influência de FH nos acidentes e incidentes com aeronaves no setor do transporte aéreo, por ano. Fonte: elaboração própria, com base em [6]. | 2 |
| Tabela 2. Causas dos acidentes distribuídas pelas quatro subcategorias do nível 2 de falha do HFACS. Fonte: elaboração própria, com base em [26]. | 18 |
| Tabela 3. Sintomas de fadiga. Fonte: elaboração própria, com base em [28]. | 20 |
| Tabela 4. Estado dos membros da tripulação de acordo com a escala SPS [5], [10], [47]. | 39 |
| Tabela 5. Risco de erro humano associado às pontuações da escala SPS e respectivas medidas mitigadoras [52]. | 40 |
| Tabela 6. Risco de acidente ou erro grave associado à SAFTE™ <i>Alertness Score</i> e ao aumento do RT. Fonte: elaboração própria, com base em [58], [63]. | 46 |
| Tabela 7. Risco associado à FAID® <i>Score</i> , de acordo com a EAA. Fonte: elaboração própria, com base em [68]. | 48 |
| Tabela 8. Secção do DS a preencher de manhã, ao acordar. Fonte: elaboração própria, com base em [5], [50]. | 50 |
| Tabela 9. Secção do DS a preencher à noite, ao deitar. Fonte: elaboração própria, com base em [5], [50]. | 51 |
| Tabela 10. Dados dos pilotos participantes no estudo. Fonte: elaboração própria. | 53 |
| Tabela 11. Fatores que afetam negativamente o estado de alerta dos pilotos. Fonte: elaboração própria. | 53 |
| Tabela 12. Quantidade de sono dos pilotos 1, 2, 3 e 4 (questão 9). Fonte: elaboração própria. | 54 |
| Tabela 13. Voos operados e fadiga cognitiva. Fonte: elaboração própria. | 54 |
| Tabela 14. FDPs e fadiga cognitiva. Fonte: elaboração própria. | 55 |
| Tabela 15. Código de cores utilizado na apresentação dos resultados. Fonte: elaboração própria. | 55 |
| Tabela 16. Códigos (IATA e ICAO) e localização dos aeroportos. Fonte: elaboração própria, com base em [69]. | 55 |

| | |
|--|----|
| Tabela 17. Quantidade e qualidade de sono do piloto 1. Fonte: elaboração própria, com base em [63]. | 56 |
| Tabela 18. Resultados obtidos pelo piloto 1: SAFTE™ <i>Alertness Score</i> , SPS e PVT. Fonte: elaboração própria. | 57 |
| Tabela 19. Desempenho do piloto 1 nos setores LIS – LOS e LOS – LIS. Fonte: elaboração própria. | 64 |
| Tabela 20. Desempenho do piloto 1 no setor TMS – LIS. Fonte: elaboração própria. | 66 |
| Tabela 21. Quantidade e qualidade de sono do piloto 2. Fonte: elaboração própria, com base em [63]. | 67 |
| Tabela 22. Resultados obtidos pelo piloto 2: SAFTE™ <i>Alertness Score</i> , SPS e PVT. Fonte: elaboração própria. | 68 |
| Tabela 23. Desempenho do piloto 2 nos setores LIS – LOS e LOS – LIS. Fonte: elaboração própria. | 74 |
| Tabela 24. Desempenho do piloto 2 nos setores DWC – KBL e KBL – DWC. Fonte: elaboração própria. | 76 |
| Tabela 25. Quantidade e qualidade de sono do piloto 3. Fonte: elaboração própria, com base em [63]. | 77 |
| Tabela 26. Resultados obtidos pelo piloto 3: SAFTE™ <i>Alertness Score</i> , SPS e PVT. Fonte: elaboração própria. | 78 |
| Tabela 27. Desempenho do piloto 3 no setor LIS – DWC. Fonte: elaboração própria. | 83 |
| Tabela 28. Desempenho do piloto 3 nos setores LIS – TMS e TMS – LIS. Fonte: elaboração própria. | 85 |
| Tabela 29. Quantidade e qualidade de sono do piloto 4. Fonte: elaboração própria, com base em [63]. | 85 |
| Tabela 30. Resultados obtidos pelo piloto 4: SAFTE™ <i>Alertness Score</i> e SPS. Fonte: elaboração própria. | 86 |
| Tabela 31. Desempenho do piloto 4 no setor DWC – LIS. Fonte: elaboração própria. | 89 |

Lista de Acrónimos

| | |
|---------|--|
| ANAC | Autoridade Nacional da Aviação Civil |
| ATPL(A) | Airline Transport Pilot License for Aeroplanes Licença de Piloto de Transporte de Linha Aérea de Aviões |
| ATR | Aviões de Transporte Regional |
| CT | Carga de Trabalho |
| DS | Diário de Sono |
| EAA | euroAtlantic Airways |
| EASA | European Union Aviation Safety Agency |
| ECA | European Cockpit Association |
| EEG | Eletroencefalografia |
| FAA | Federal Aviation Administration |
| FAID® | Fatigue Assessment Tool by InterDynamics |
| FAS | Final Approach Segment Segmento de Aproximação Final |
| FCRC | Flight Crew Rest Compartment Compartmento de Descanso da Tripulação de Voo |
| FDP(s) | Flight Duty Period(s) Período(s) de Serviço de Voo |
| FH | Fatores Humanos |
| FMG | Fatigue Management Guide for Airline Operators |
| FTL | Flight and Duty Time Limitations and Rest Requirements Limitações do Tempo de Voo e de Serviço e Requisitos de Repouso |
| FSS | Fatigue Severity Scale |
| GPAAAF | Gabinete de Prevenção e Investigação de Acidentes com Aeronaves e de Acidentes Ferroviários |
| HFACS | Human Factors Analysis and Classification System Sistema de Análise e Classificação de Fatores Humanos |
| HSE | Health and Safety Executive |
| IATA | International Air Transport Association |
| ICAO | International Civil Aviation Organization |
| KSS | Karolinska Sleepiness Scale |
| L-H | Long-Haul Longo Curso |
| LTC | Line Training Captain Instrutor de Voo |
| NIT | Núcleo de Investigação em Transportes |
| NREM | Non-Rapid Eye Movement Sem Movimento Rápido dos Olhos |
| PF | Pilot Flying Piloto a Voar |

| | |
|--------|---|
| PIC | Pilot in Command Piloto Comandante |
| PM | Pilot Monitoring Piloto a Monitorar |
| PSG | Polissonografia |
| PVT | Psychomotor Vigilance Task Tarefa de Vigilância Psicomotora |
| REM | Rapid Eye Movement Com Movimento Rápido dos Olhos |
| RT(s) | Reaction Time(s) Tempo(s) de Reação |
| SAFTE™ | Sleep, Activity, Fatigue and Task Effectiveness |
| SCN | Suprachiasmatic Nucleus Núcleo Supraquiasmático |
| SHELL | Software Hardware Environment Liveware Liveware |
| SIC | Second in Command Segundo em Comando |
| SM-H | Short-Medium-Haul Curto-Médio Curso |
| SPS | Samn-Perelli 7-Point Fatigue Scale |
| SSS | Stanford Sleepiness Scale |
| SWS | Slow-Wave Sleep Sono de Onda Lenta |
| s2P | sleep-2-Peak |
| TAP | TAP Air Portugal |
| UTC | Coordinated Universal Time Tempo Universal Coordenado |
| VAS-F | Visual Analogue Scale for Fatigue |
| VMC | Visual Meteorological Conditions Condições Meteorológicas Visuais |
| WOCL | Window of Circadian Low |

Capítulo 1

Introdução

1.1. Motivação

A indústria da aviação tem vindo a provar que resiste a choques externos, como o aumento dos preços dos combustíveis e a subida dos impostos associados à operação das aeronaves [1], uma vez que, de 2003 a 2018, o tráfego aéreo mundial duplicou. De acordo com previsões da Airbus, em 2033, o tráfego aéreo será o dobro do verificado em 2018 [2]. Neste sentido, a segurança de voo é, cada vez mais, uma preocupação dos operadores aéreos, pelo que há um crescente investimento em medidas de mitigação de acidentes e incidentes.

Contrariamente ao que se verificava nos primeiros tempos da aviação, onde se estimava que 80% dos acidentes ocorriam devido a alguma falha nos equipamentos da aeronave [3], atualmente, entre 60 e 80% dos acidentes são causados por erro humano (pilotos, controladores de tráfego aéreo, engenheiros, mecânicos, entre outros) [4], tal como ilustrado na Figura 1.

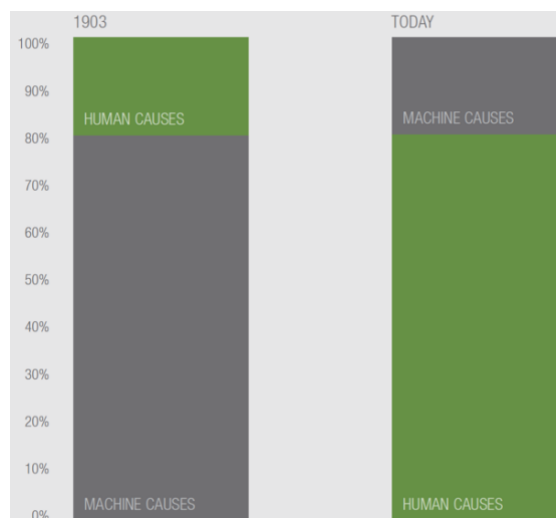


Figura 1. Evolução das causas dos acidentes de aeronaves [3].

Em território nacional, ao longo dos últimos anos, a maioria dos acidentes e incidentes inserem-se no domínio da aviação geral (treino, instrução, lazer) [5]. Contudo, ao analisar-se os documentos das investigações conduzidas pelo Gabinete de Prevenção e Investigação de Acidentes com Aeronaves e de Acidentes Ferroviários (GPIAAF), verificou-se, também, a existência de ocorrências no setor do transporte aéreo [6].

Assim, de modo a compreender-se a influência de fatores humanos (FH) neste tipo de episódios, foram estudados os relatórios finais dos acidentes e incidentes ocorridos entre 2010 e 2019, sendo os resultados mostrados na Tabela 1 e na Figura 2. É importante realçar que os dados apresentados não refletem todas as ocorrências registadas pelo GPIAAF durante esse período, mas apenas aquelas cuja investigação já foi concluída.

Tabela 1. Influência de FH nos acidentes e incidentes com aeronaves no setor do transporte aéreo, por ano.

Fonte: elaboração própria, com base em [6].

| Ano | Ocorrências | FH | FH [%] |
|--------------|--------------------|-----------|---------------|
| 2010 | 6 | 4 | 66,67 |
| 2011 | - | - | - |
| 2012 | 0 | 0 | 0,00 |
| 2013 | 1 | 1 | 100,00 |
| 2014 | 5 | 3 | 60,00 |
| 2015 | 2 | 2 | 100,00 |
| 2016 | 5 | 3 | 60,00 |
| 2017 | 0 | 0 | 0,00 |
| 2018 | 2 | 2 | 100,00 |
| 2019 | 1 | 1 | 100,00 |
| Total | 22 | 16 | 72,73 |

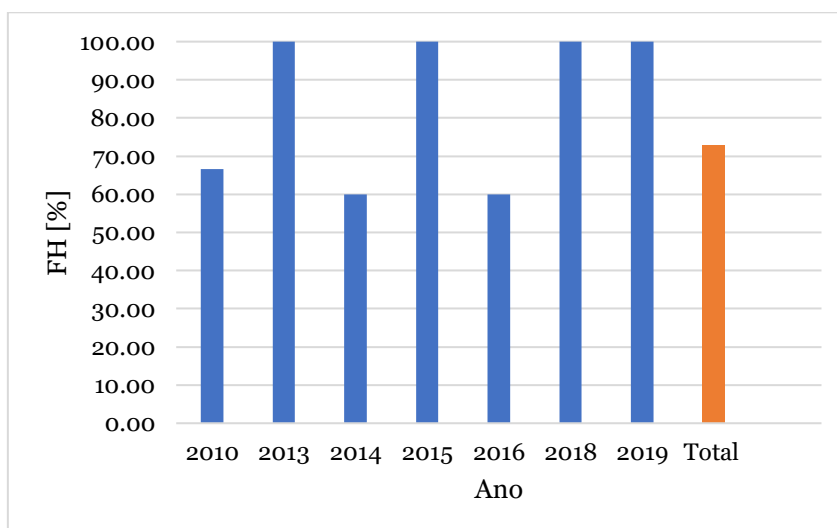


Figura 2. Influência de FH nos acidentes e incidentes com aeronaves no setor do transporte aéreo, por ano, em percentagem. Fonte: elaboração própria, com base em [6].

Observando os dados acima, conclui-se que FH estiveram envolvidos, além de outras possíveis causas, em mais de 70% dos acontecimentos registados no ramo do transporte aéreo. Dois destes acidentes ocorreram com aeronaves ATR 72-212A, sendo agora relatados.

O caso mais recente ocorreu a 6 de julho de 2018. O relatório elaborado pelo GPIAAF, com título *Aterragem dura com contacto de cauda (ARC)* e número de identificação AC_06/ACCID/2018_RF [7], “determinou como causa mais provável do acidente o desempenho da tripulação na condução do voo” [7, p. 71].

A aeronave, de registo CS-DJG, operada pela White Airways em nome da TAP Express, realizou um voo regular de passageiros entre Lisboa (código ICAO: LPPT) e Fez, em Marrocos (código ICAO: GMMF). Neste trajeto, o piloto comandante (PIC) assumiu a função de piloto a monitorar (PM), enquanto o copiloto, segundo em comando (SIC), esteve na posição de piloto a voar (PF). Como o SIC ainda se encontrava em formação, o PIC desempenhou, também, o cargo de instrutor de voo (LTC).

Após um voo sem incidentes, “foi realizada uma aproximação não estabilizada em condições VMC, no segmento de aproximação final (FAS)” [7, p. 16]. No momento do primeiro toque na pista, o ângulo de arfagem era de $+6,4^\circ$, o que fez com que a cauda raspasse na pista, resultando nos danos ilustrados na Figura 3. Posteriormente, após cerca de dois segundos, a aeronave estabilizou, tendo prosseguido com a rolagem até ao terminal de passageiros.



Figura 3. Danos na parte inferior traseira da fuselagem do ATR 72-212A (CS-DJG) [7].

O GPIAAF aponta como um dos fatores contributivos para este acidente o facto do PIC/LTC não ter executado as “técnicas adequadas de supervisão de voo e a devida recuperação da aeronave de uma condição insegura na aproximação não estabilizada” [7, pp. 71 e 72]. Também não exclui a possibilidade de fadiga acumulada na tripulação, uma vez que “o operador não demonstrou um método ou processo de seguimento de fadiga” [7, p. 60].

A outra situação deu-se no ano de 2016, a 22 de outubro. De acordo com o relatório do GPIAAF, intitulado *Aterragem dura em sequência de porpoise landing* e com número de identificação 15/ACCID/2016_RF [8], a “fadiga poderá ter contribuído para o acidente ao afetar diretamente o desempenho do piloto” [8, p. 49].

Neste caso, a aeronave, de matrícula CS-DJF, também operada pela White Airways em nome da TAP Express, efetuou um voo noturno de passageiros entre o Porto (código ICAO: LPPR) e Lisboa (código ICAO: LPPT), sendo que “a tripulação realizava a sua sexta etapa do dia entre Lisboa e Porto com condições meteorológicas adversas” [8, p. 11]. Nesta viagem, o PIC e o SIC assumiram as funções de PF e PM, respetivamente.

Durante a aproximação final, a aeronave deparou-se com “vento de 240/09 kt com rajadas momentâneas até 20 kt na soleira da pista 21” [8, p. 12] de LPPT. Após o primeiro toque na pista, a aeronave ressaltou, tendo, passados três segundos, tocado uma segunda vez no solo com o trem de nariz, ocorrendo a “separação da roda direita por fratura do eixo do trem” [8, p. 13]. Decorridos mais três segundos, o avião “bateu na pista uma terceira vez, incidindo novamente no trem de nariz e em seguida com o trem principal esquerdo” [8, p. 14]. Finalmente, dois segundos depois, deu-se o quarto e último toque, tendo o ATR 72-212A completado a aterragem. Os danos que a aeronave sofreu são evidentes na Figura 4.



Figura 4. Posição final do ATR 72-212A (CS-DJF) na pista [8].

“A decisão do PIC/PF em prosseguir e forçar a aterragem não cumprindo os critérios de aproximação não estabilizada, com velocidade bem acima da referência” [8, p. 49] é indicada pelo GPIAAF como causa provável do acidente, podendo a fadiga ter contribuído para essa decisão.

Como se compreende pelos casos expostos, o estado de alerta dos pilotos de linha aérea é afetado pela fadiga. Trata-se de um fenómeno que aumenta o risco de incidente, ou até mesmo de acidente, visto que prejudica a capacidade dos membros da tripulação operarem a aeronave com segurança [9].

Desta forma, é importante estudar o efeito dos FH, e especificamente da fadiga, na segurança dos voos realizados no setor do transporte aéreo, que, apesar de fortemente regulamentado, continua a apresentar ocorrências onde o erro humano está presente.

1.2. Objeto e Objetivos

O objeto em estudo nesta dissertação é a fadiga cognitiva e a forma como esta pode afetar a segurança de voo, sendo o público-alvo restrito a pilotos de linha aérea (de aviões).

Deste modo, o objetivo geral deste trabalho é averiguar a relação entre este tipo de fadiga e a ocorrência de acidentes e incidentes em aeronaves inseridas no domínio do transporte aéreo. Este objetivo pode ser dividido em quatro objetivos específicos:

- Apurar, através de um questionário, se os pilotos de linha aérea participantes no estudo já sentiram os efeitos da fadiga cognitiva durante a atividade de pilotagem, que fatores consideram contribuir para a sua ocorrência e que medidas adotam para mitigar os efeitos negativos que dela podem advir;
- Comparar o risco inerente à fadiga percebida pelos pilotos (autoavaliação) com o risco associado aos resultados dos dados recolhidos pelos equipamentos utilizados (que mostram a verdadeira deterioração do estado de alerta). Para isto, a evolução da fadiga é monitorizada, de forma contínua (e não apenas durante a operação da aeronave), subjetiva e objetivamente;
- Avaliar o risco associado à fadiga, durante a operação da aeronave, por dois modelos biomatemáticos distintos;
- Analisar os efeitos da realização de voos transmeridianos (com alterações significativas do fuso horário) no desempenho dos pilotos¹.

¹ Tentar-se-ia cumprir este objetivo em plena pandemia ou, talvez, no que se esperava ser a retoma da atividade. Assim, a obtenção dos resultados estaria dependente das condições operacionais no período de realização do trabalho experimental.

1.3. Metodologia

Esta dissertação iniciou-se com uma análise dos relatórios finais das investigações dirigidas pelo GPIAAF e que dizem respeito aos acidentes e incidentes ocorridos no ramo do transporte aéreo. Verificou-se que, ao longo dos últimos dez anos, FH estiveram envolvidos numa percentagem elevada dos episódios, havendo situações em que a fadiga foi apontada como causa primordial ou, pelo menos, como fator contributivo.

Assim, prosseguiu-se com uma extensiva revisão bibliográfica na área dos FH na indústria da aviação, focando-se esta, fundamentalmente, na problemática específica da fadiga e dos métodos existentes para a avaliar. Esta etapa teve por base um documento principal: o *Fatigue Management Guide for Airline Operators* (FMG) [10].

De seguida, procedeu-se à elaboração do caso de estudo, que contemplava a aplicação de um questionário aos pilotos de linha aérea e a realização de um trabalho experimental que permitiu avaliar a sua fadiga com recurso a quatro metodologias diferentes (duas subjetivas e duas objetivas). Aos resultados obtidos nestas duas fases, foram acrescentados os resultados provenientes de um *software* de gestão da fadiga (FAID®).

Por último, todos os resultados foram alvo de análise, retirando-se, depois, as conclusões necessárias para se responder, de forma eficaz e concreta, aos objetivos definidos no início do trabalho.

A metodologia seguida ao longo da elaboração desta dissertação, e que acabou de ser descrita, pode ser observada na Figura 5.

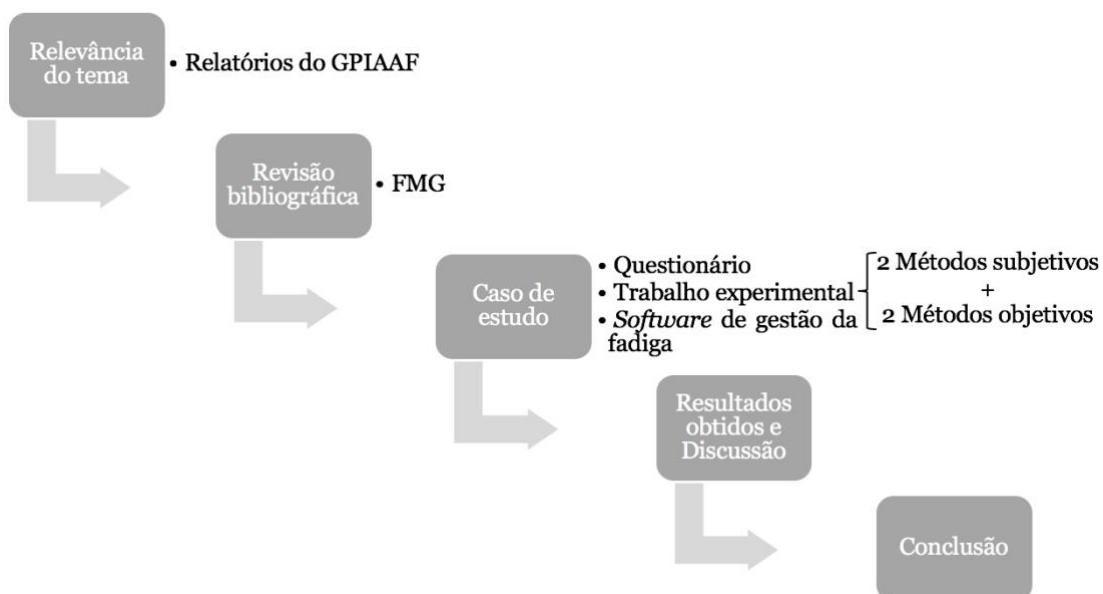


Figura 5. Metodologia seguida na elaboração da dissertação. Fonte: elaboração própria.

1.4. Estrutura da Dissertação

De modo a que esteja organizada de forma lógica, esta dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos.

O Capítulo 1 tem início com a motivação que conduziu à escolha deste tema, explicitando, depois, o objeto e objetivos do trabalho, a metodologia seguida ao longo da sua elaboração e a estrutura do mesmo, terminando com a apresentação das dissertações realizadas em anos anteriores e que estão relacionadas com a mesma temática.

O Capítulo 2 contempla a revisão bibliográfica na área dos FH na aviação. Numa primeira parte, dedica-se aos FH de uma forma global, apresentando alguns modelos que mostram como o Homem interage com o sistema da aviação. Numa segunda fase, foca-se, exclusivamente, no tema da fadiga, expondo os tipos que existem, os seus efeitos e manifestações nos pilotos de linha aérea e, por último, os quatro princípios científicos que têm de ser considerados para que a sua gestão seja feita de forma eficaz. Finalmente, numa terceira parte, apresenta as limitações nos períodos de serviço e tempos de voo dos tripulantes, referindo, igualmente, os requisitos relativos aos períodos de repouso.

O Capítulo 3 introduz as ferramentas escolhidas para a avaliação da fadiga dos pilotos de linha aérea que fazem parte do caso de estudo. Começa por ser feita uma pequena introdução às ferramentas subjetivas e, de seguida, explica-se em que consistem as duas selecionadas (diário de sono e *Samn-Perelli 7-Point Fatigue Scale*). Posteriormente, é feito o mesmo, mas, desta vez, para as ferramentas objetivas (tarefa de vigilância psicomotora e actigrafia). Encerra-se com uma sucinta introdução ao *Fatigue Assessment Tool by InterDynamics*.

O Capítulo 4 é dedicado ao caso de estudo. Inicialmente, o procedimento seguido no processo de recolha de dados é explicado e, seguidamente, os resultados obtidos são apresentados e discutidos. Nesta etapa referente à discussão dos resultados, analisa-se, numa primeira instância, cada um dos pilotos de linha aérea de forma individual, fazendo-se, mais tarde, uma apreciação geral.

O Capítulo 5, sendo o último, diz respeito à conclusão desta dissertação. Nele é feita uma síntese do trabalho, exaltando os aspetos fundamentais, sendo, também, expostas algumas considerações finais e perspectivas para futuras investigações.

1.5. Dissertações Anteriores

Ao longo dos últimos anos, alguns estudantes do Mestrado Integrado em Engenharia Aeronáutica da Universidade da Beira Interior, membros do Grupo de Segurança de Voo do Núcleo de Investigação em Transportes (NIT), têm realizado dissertações na área do desempenho de pilotos e segurança de voo, nomeadamente:

- *Pilots Performance and Flight Safety: The Case of Cognitive Fatigue in Unpressurized Aircraft Cabins*, da autoria de João Rocha, em 2019 [5];
- *Psychophysiological Factors Analysis in Unpressurized Aircrafts Cabins*, da autoria de Ana Coelho, em 2014 [11];
- *Pilots Performance and Flight Safety: Flight Physiology in Unpressurized Aircraft Cabins*, da autoria de Sara Zorro, em 2012 [12];
- *Unpressurized Light Aviation Aircrafts: Flight and Physiological Data Acquisition System*, da autoria de André Marques, em 2012 [13];
- *Desempenho de Pilotos e Segurança de Voo: O Caso da Hipoxia em Aviação Desportiva*, da autoria de Leandro Rocha, em 2011 [14];
- *Voo à Vela em Altitude e Próximo de Montanhas: Efeitos Fisiológicos e Desempenho em Pilotos de Planador*, da autoria de Ana Fonseca, em 2010 [15].

Como se compreende, os seis projetos mencionados atuam no âmbito da aviação em cabines não pressurizadas e da aviação desportiva. Pretende-se, agora, alargar o campo de estudo ao ramo do transporte aéreo, aplicando a temática acima referida a um grupo de pilotos de linha aérea.

Repare-se que o trabalho desenvolvido por Rocha [5] aborda exatamente o assunto da fadiga cognitiva, mas dirigido a pilotos que praticam voos de curta duração (máximo de 60 minutos) em cabines não pressurizadas. A presente dissertação, embora, em termos teóricos, estude o mesmo assunto e siga uma metodologia semelhante na elaboração dos casos de estudo, dirige-se a um público-alvo distinto, que realiza voos em cabines pressurizadas e com uma duração consideravelmente superior. Neste sentido, a análise que se faz aos resultados obtidos é, necessariamente, diferente, sendo possível, inclusivamente, integrar os valores resultantes do processo de gestão da fadiga dos tripulantes de uma companhia aérea, a euroAtlantic Airways (EAA).

Capítulo 2

Fatores Humanos na Aviação

2.1. Introdução

De acordo com a Boeing, o termo “fatores humanos” (FH) tem vindo a ganhar popularidade na indústria da aviação desde o momento em que se compreendeu que o erro humano está subjacente a uma quantidade significativa de acidentes e incidentes. Desta forma, os especialistas em FH têm estudado de que forma o ser humano pode interagir com a tecnologia existente de forma segura e eficiente [16].

Apesar dos avanços rápidos e constantes da tecnologia, o Homem é, em última análise, o elemento responsável por garantir o sucesso e a segurança das operações aéreas [16]. De facto, pode-se dizer que o Homem é o elemento primordial do sistema da aviação, mas também é o mais suscetível de ter o seu desempenho alterado por influências que serão explicitadas [5].

É neste sentido que este capítulo se dedica, numa primeira instância, ao estudo genérico dos FH e à forma como estes podem estar na base de acidentes e incidentes. Numa segunda instância, foca-se na problemática da fadiga cognitiva nos pilotos de linha aérea, abordando, por exemplo, as suas consequências e o seu processo de gestão. O capítulo encerra com uma referência à Legislação Europeia, em vigor à data de elaboração desta dissertação, referente aos requisitos de repouso e às limitações dos tempos de voo e de serviço das tripulações.

2.2. Definição de Fatores Humanos

De acordo com a *Health and Safety Executive* (HSE) [17], FH referem-se não só a fatores ambientais, organizacionais e laborais, mas também a características humanas e individuais que influenciam o comportamento no trabalho, de tal forma que a saúde e a segurança podem ser afetadas. Assim, quando se pensa em FH, é necessário considerar três aspetos fundamentais que se encontram interligados: o trabalho, o indivíduo e a organização. Existem, para cada um deles, questões-chave às quais se deve ter particular atenção, podendo estas ser observadas na Figura 6.

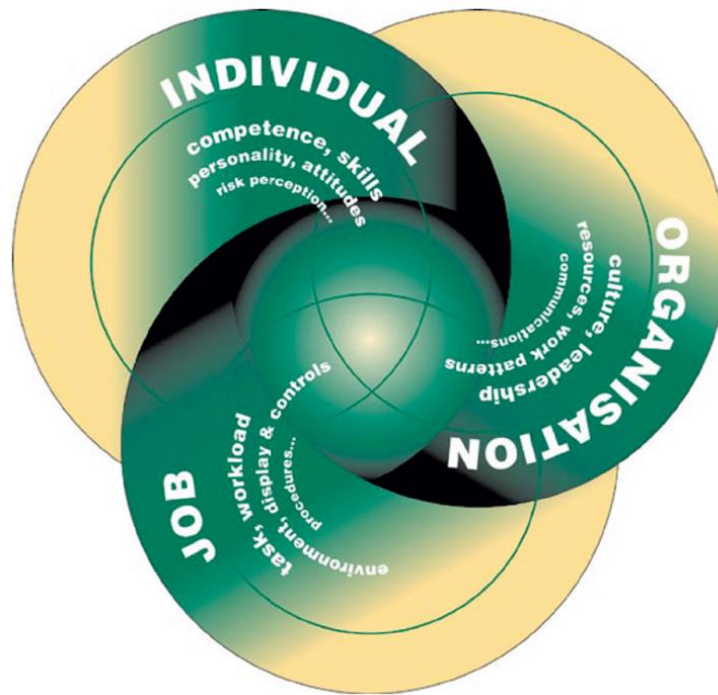


Figura 6. Questões-chave do trabalho, do indivíduo e da organização [17].

No campo do trabalho, é de extrema importância que as tarefas sejam projetadas de acordo com princípios ergonômicos, de modo a que as características do desempenho humano (limitações e pontos fortes) sejam tidas em consideração. Significa isto que é crucial adequar o trabalho à pessoa, tanto física como psicologicamente, pois, caso tal não se verifique, o erro humano é potenciado [17].

Relativamente ao indivíduo, este traz para o trabalho a sua personalidade e competências, que, dependendo da tarefa para a qual foi designado, podem constituir vantagens ou fraquezas. Por um lado, a personalidade da pessoa dificilmente pode ser alterada, mas, por outro, as suas competências podem ser melhoradas ou alargadas [17].

Por último, sabe-se que os fatores organizacionais influenciam amplamente o comportamento individual e de grupo. Assim, é imperativo que a organização estabeleça uma cultura positiva de saúde e de segurança, promovendo o envolvimento de todos os colaboradores e realçando que nenhum desvio dos padrões estabelecidos é aceitável [17].

2.2.1. O Modelo SHELL

O modelo SHELL (*Software Hardware Environment Liveware Liveware*), inicialmente criado por Edwards em 1972 e complementado por Hawkins em 1975, proporciona uma compreensão mais profunda dos FH [18].

Este modelo, presente na Figura 7, refere-se apenas às interações entre o Homem (L_1) e os elementos do sistema de aviação nos contextos operacional e organizacional (S, H, E, L_2). Não descreve, portanto, as ligações exteriores, ou seja, todas aquelas que não envolvem FH (por exemplo, S – H e H – E) [18].

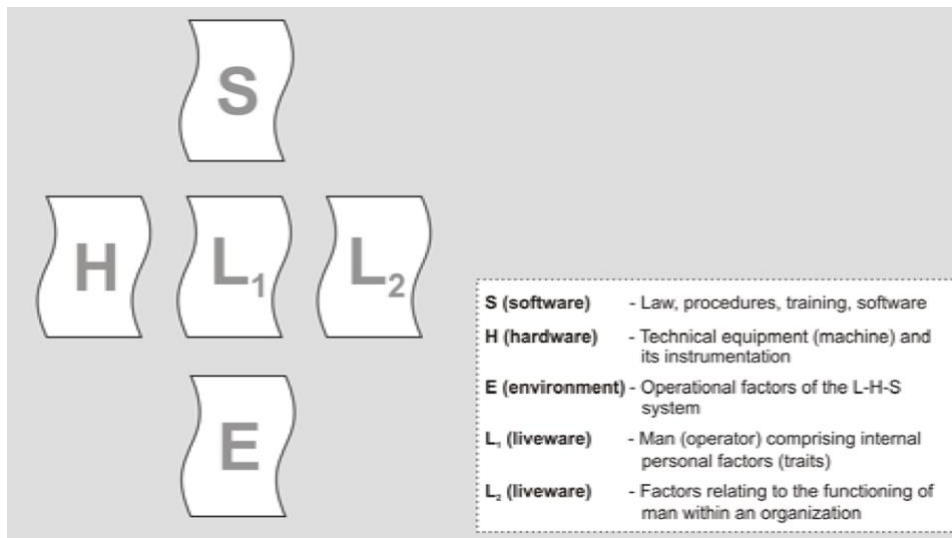


Figura 7. Modelo SHELL [18].

O Homem (L_1), estando na posição central do modelo, é um elemento suscetível à adaptação ao meio envolvente, o qual inclui, entre outros, “procedimentos em ambiente de treino (S), equipamento técnico em ambiente de trabalho (H), ambiente de trabalho no seu contexto mais amplo (E) e os indivíduos de uma organização aeronáutica (L_2)” [19, p. 19]. Desta forma, compreende-se que uma “falha entre o Homem e os outros quatro elementos, nas eventuais interações sucedidas, origina o erro humano, durante a preparação ou execução das operações aéreas” [19, p. 19].

2.2.2. The Human Factors “Dirty Dozen”

A “*Dirty Dozen*” é uma lista, ilustrada na Figura 8, que contempla as doze causas mais prováveis de conduzirem ao erro humano na indústria da aviação. Inicialmente, quando foi desenvolvida por Gordon Dupont em 1993, aplicava-se apenas à área da manutenção de aeronaves, mas, ao longo dos anos, foi sendo sucessivamente aplicada a todos os envolvidos no ramo aeronáutico, como pilotos, comissários de bordo e controladores de tráfego aéreo [20].



Figura 8. *The Human Factors “Dirty Dozen”* [21].

Procede-se, agora, a uma sucinta explicação de cada um dos elementos presentes na figura acima [22]:

- 1. Falta de comunicação:** falha na transmissão e/ou recepção de informação, podendo dar-se o caso de não serem dadas indicações suficientes para que uma tarefa seja concluída com sucesso;
- 2. Complacência:** excesso de confiança resultante da realização repetida de uma tarefa;
- 3. Falta de conhecimento:** falta de formação, informação e/ou capacidade para realizar uma tarefa com êxito;
- 4. Distração:** algo que desvia a atenção da tarefa que se tem em mãos, constituindo a principal causa de esquecimentos, incluindo o que já foi feito ou não;
- 5. Falta de trabalho de equipa:** incapacidade de trabalhar em conjunto para alcançar um objetivo comum;
- 6. Fadiga:** exaustão, física ou mental, que ameaça o desempenho no trabalho;
- 7. Falta de recursos:** incapacidade de completar uma tarefa por não se ter pessoas, equipamentos, documentação, tempo ou peças suficientes;
- 8. Pressão:** forças, reais ou percebidas, que exigem um desempenho profissional de elevada qualidade;
- 9. Falta de assertividade:** não se pronunciar ou não documentar preocupações relativamente a instruções, ordens ou ações de terceiros;
- 10. Stress:** fator, físico, químico ou emocional, que causa tensão física ou mental;
- 11. Falta de consciência:** não reconhecer uma situação, não sendo capaz de compreendê-la e de prever as suas possíveis consequências;
- 12. Normas:** regras ou comportamento esperado.

2.2.3. Acidente vs. Incidente

Uma vez apresentadas as doze causas mais comuns de erro humano no setor aeronáutico, também é relevante distinguir os conceitos de acidente e incidente, visto que, tal como referido anteriormente, estes surgem, frequentemente, devido a FH. O Anexo 13 da *International Civil Aviation Organization* (ICAO) [23] efetua essa distinção e divide a definição de acidente em duas partes, sendo a primeira dedicada a aeronaves tripuladas e a segunda a aeronaves não tripuladas. No âmbito desta dissertação, apenas é apresentada a que diz respeito às aeronaves tripuladas.

Neste sentido, um acidente, no caso de uma aeronave tripulada, é uma ocorrência associada à sua operação e que ocorre entre o momento em que qualquer pessoa embarca na aeronave com a intenção de voar e o momento em que todas as pessoas tenham desembarcado, na qual:

1. Uma pessoa é fatal ou gravemente ferida;
2. A aeronave sofre danos ou falhas estruturais;
3. A aeronave está desaparecida ou completamente inacessível.

Um incidente é uma ocorrência, que não seja um acidente (não se enquadrando na descrição feita acima), associada à operação de uma aeronave e que afeta, ou pode afetar, a segurança da operação.

2.3. Sistema de Análise e Classificação de Fatores Humanos

Na década de 1990, a maioria dos sistemas de reporte de acidentes e incidentes não eram concebidos com base numa análise do erro humano, apesar deste se encontrar na base de grande parte das ocorrências. Desta forma, o estabelecimento de uma estratégia de intervenção, que viria a atenuar a probabilidade de reincidência deste mesmo erro, era difícil [5], [24].

Foi então desenvolvido o Sistema de Análise e Classificação de Fatores Humanos, *Human Factors Analysis and Classification System* (HFACS), com o objetivo de estabelecer um quadro geral de erros humanos que permitisse não só a conceção de novos métodos de investigação, mas também a reestruturação das bases de dados de acidentes existentes [24].

Os níveis de falha abordados no HFACS, que são apresentados posteriormente, baseiam-se nos conceitos de falhas ativas e latentes, apresentados por James Reason em 1990 [25]. Assim, é necessário fazer a sua diferenciação:

- **Falhas ativas:** erros e violações que têm um efeito adverso imediato e que, normalmente, estão associados às atividades desenvolvidas pelos operadores que se encontram na “linha da frente”, como pilotos e controladores de tráfego aéreo;
- **Falhas latentes:** decisões ou ações cujas consequências negativas podem permanecer “adormecidas” durante muito tempo, tornando-se evidentes apenas quando se combinam uma série de fatores, como falhas ativas ou avarias técnicas, que contribuem para a rutura das defesas do sistema.

2.3.1. Níveis de Falha Contemplados no HFACS

O HFACS descreve quatro níveis de falha [24], tendo cada um deles uma influência direta no seguinte, como mostrado na Figura 9:

- Nível 1.** Atos inseguros;
- Nível 2.** Condições prévias para atos inseguros;
- Nível 3.** Supervisão insegura;
- Nível 4.** Influências organizacionais.

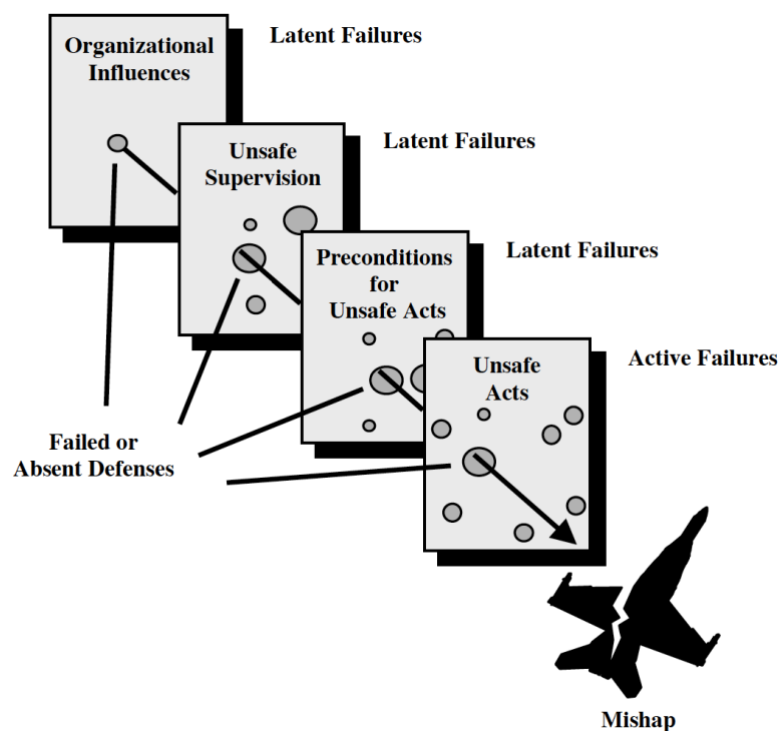


Figura 9. Ligação entre os níveis de falha do HFACS [24].

O primeiro nível é o único que diz respeito a falhas ativas, mas, antes destas surgirem, podem já ter ocorrido múltiplas falhas latentes, representadas nos últimos três níveis, que também contribuíram, embora de forma não imediata, para a ocorrência do acidente ou incidente.

2.3.1.1. Atos Inseguros (Nível 1)

Os atos inseguros da tripulação de *cockpit* são classificados em duas categorias, a dos erros e a das violações, cada uma agrupando várias subcategorias, ilustradas na Figura 10.

Por um lado, os erros são inerentes ao ser humano e, portanto, ocorrem dentro das regras e regulamentos adotados por uma organização [24]. Dito de outra forma, os erros podem ser encarados como atos inseguros “legais” que levam a maus resultados involuntários [26]. Por outro, as violações referem-se a um desrespeito intencional pelas regras e regulamentos que governam a segurança de voo. Apesar de ocorrerem com menor frequência do que os erros, resultam mais vezes em desastres mortais [24].

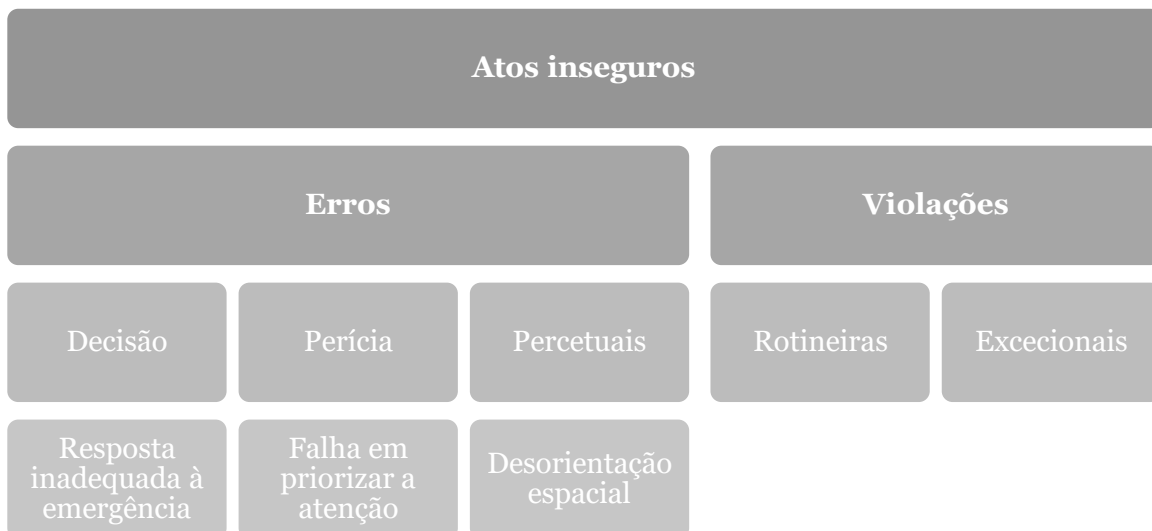


Figura 10. Atos inseguros. Fonte: elaboração própria, com base em [24].

2.3.1.2. Condições Prévias para Atos Inseguros (Nível 2)

Durante a investigação de um acidente ou incidente, focar a atenção apenas nos atos inseguros cometidos pela tripulação é insuficiente, pelo que é fundamental investigar as causas que contribuíram para a ocorrência de tais atos [24]. Na Figura 11, observa-se que estas condições prévias podem ser divididas em dois grupos principais, o das condições dos operadores e o dos fatores pessoais, que contemplam um conjunto de subgrupos.



Figura 11. Condições prévias para atos inseguros. Fonte: elaboração própria, com base em [24].

2.3.1.3. Supervisão Insegura (Nível 3)

Além dos fatores que se referem diretamente aos pilotos/operadores, também é necessário ter em consideração os erros cometidos pelo setor da gestão [26] e que resultam numa monitorização inadequada das atividades. Esta supervisão insegura, tal como se mostra na Figura 12, encontra-se repartida em quatro pontos: a supervisão inadequada, as operações incorretamente planeadas, a falha na correção de um problema conhecido e, por fim, as infrações cometidas no processo de supervisão.

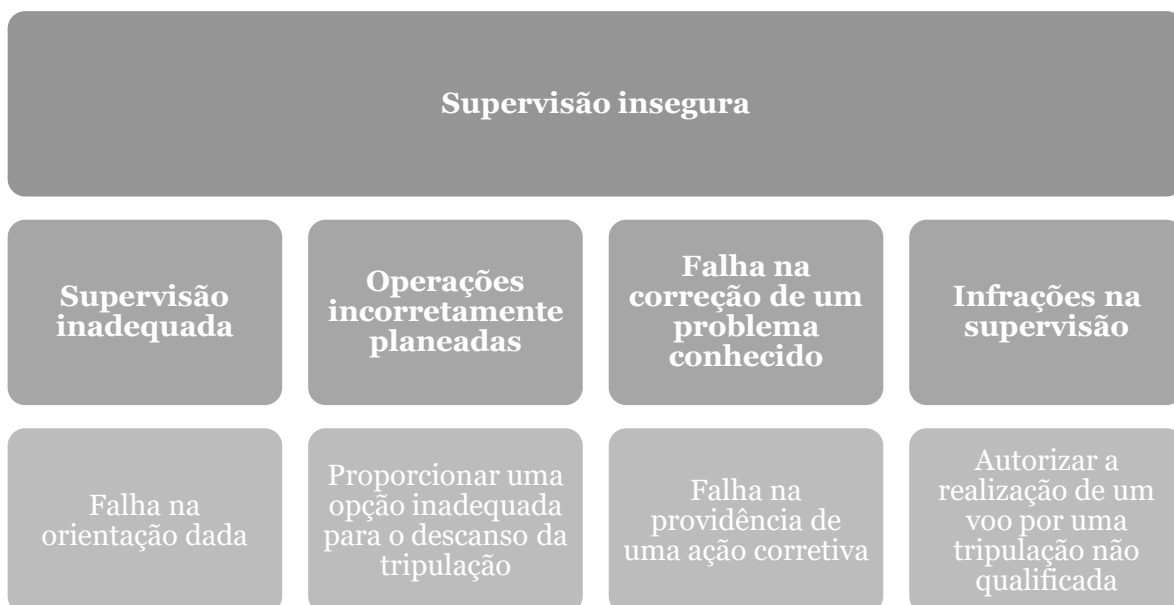


Figura 12. Supervisão insegura. Fonte: elaboração própria, com base em [24].

2.3.1.4. Influências Organizacionais (Nível 4)

As influências organizacionais afetam, direta e indiretamente, a supervisão insegura e os atos inseguros, respetivamente [26]. O modelo HFACS agrupa estas influências em três setores (Figura 13), sendo eles a gestão de recursos, o ambiente organizacional e o processo organizacional.



Figura 13. Influências organizacionais. Fonte: elaboração própria, com base em [24].

2.3.2. Aplicação do HFACS na Investigação de Acidentes

Em 2018, Dönmez e Uslu [26] selecionaram 50 relatórios oficiais de acidentes que ocorreram em vários países, de acordo com os seguintes critérios:

- Tipo de investigação: acidente;
- Gravidade das lesões: fatal;
- Operação: transportadora aérea comercial;
- Tipo de voo: passageiros;
- Causa da ocorrência: FH;
- Estado do relatório: final.

Posteriormente, cada um dos relatórios foi codificado de acordo com os níveis de falha contemplados no HFACS. Como se verifica na Figura 14, foram identificados 386 FH nos relatórios analisados. Uma parte significativa destes, 47%, enquadra-se, de facto, nos atos inseguros. No entanto, mais de metade, 53%, situa-se nas falhas latentes cometidas ao nível das condições prévias para atos inseguros (31%), da supervisão insegura (12%) e, por fim, das influências organizacionais (10%).

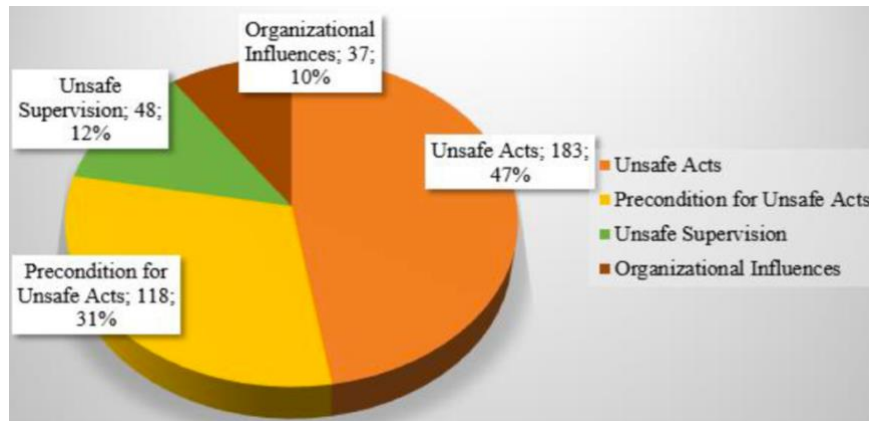


Figura 14. Causas dos acidentes distribuídas pelos quatro níveis de falha do HFACS [26].

Na Tabela 2, o nível 2 de falha do HFACS encontra-se dividido nas subcategorias apresentadas anteriormente, de modo a compreender-se a influência de cada uma nos acidentes presentes no estudo. É de realçar que um total de 35% das condições prévias para atos inseguros está relacionado com o estado mental adverso, para o qual a fadiga cognitiva dos pilotos de linha aérea contribui de forma significativa.

Tabela 2. Causas dos acidentes distribuídas pelas quatro subcategorias do nível 2 de falha do HFACS. Fonte: elaboração própria, com base em [26].

| Condições prévias para atos inseguros | |
|--|-----|
| Estado mental adverso | 35% |
| Estado fisiológico adverso | 8% |
| Limitações físicas/mentais | 14% |
| <i>Crew Resource Mismanagement</i> | 38% |
| Prontidão do pessoal | 5% |

2.4. A Fadiga

A indústria da aviação oferece um dos meios de transporte mais seguros do mundo. Para que isto se continue a verificar, os perigos relacionados com este setor têm de ser ativamente controlados [10].

Atualmente, a fadiga dos membros da tripulação é reconhecida como um perigo que, degradando o desempenho humano a vários níveis, pode contribuir para a ocorrência de acidentes e incidentes. Não podendo ser eliminada por completo, isto é, sendo a fadiga inevitável, esta deve ser vigiada e mitigada [10].

2.4.1. Definição de Fadiga

A ICAO define fadiga como um estado fisiológico de redução da capacidade do desempenho mental ou físico, resultante da perda de sono, vigília prolongada, fase circadiana e/ou carga de trabalho (atividade mental e/ou física), que pode prejudicar o estado de alerta de uma pessoa e a sua capacidade de realizar tarefas operacionais relacionadas com a segurança [10].

Para a *Federal Aviation Administration* (FAA), fadiga refere-se a um estado fisiológico no qual ocorre uma diminuição da capacidade de realizar tarefas cognitivas e um aumento da variabilidade no desempenho, estando, também, associada a cansaço, fraqueza, falta de energia, depressão, falta de motivação e sonolência [27].

Desta forma, compreende-se que a fadiga é a incapacidade de um indivíduo operar no nível desejado de segurança, devido à recuperação incompleta das exigências do trabalho prévio e de outras atividades. Para que esta recuperação seja bem sucedida, ou seja, para que ocorra restauração da função (particularmente da função cognitiva), é necessário um sono reparador, tanto em quantidade como em qualidade [28].

2.4.2. Tipos de Fadiga

Primeiramente, é essencial diferenciar os conceitos de fadiga física e mental [5], [29]:

- **Fadiga física:** diz respeito à incapacidade de exercer, na medida que seria expectável, força com os músculos, podendo esta inaptidão ser geral (todo o corpo) ou estar confinada a determinados grupos musculares. Surge, maioritariamente, como consequência do exercício físico ou da perda do sono, podendo conduzir à fadiga cognitiva;
- **Fadiga mental:** também conhecida como fadiga cognitiva, diz respeito a uma diminuição geral da atenção e da capacidade de realizar tarefas, complexas ou não, com a eficiência desejável. Resulta, frequentemente, da perda de sono ou da interrupção do padrão normal do sono, constituindo, portanto, uma grande preocupação para os pilotos de linha aérea que, muitas vezes, necessitam de trabalhar durante a madrugada.

A FAA divide, ainda, a fadiga em transiente, cumulativa e circadiana [5], [30]:

- **Fadiga transiente:** causada por uma restrição de sono extrema ou por horas de vigília prolongadas durante um ou dois dias;
- **Fadiga cumulativa:** provocada por uma repetida restrição de sono ligeira ou por horas de vigília prolongadas durante uma série de dias;
- **Fadiga circadiana:** diz respeito ao desempenho reduzido no horário noturno, particularmente durante a *window of circadian low* (WOCL) de um indivíduo (ver 2.5.3.1. e 3.2.2.).

2.4.3. Efeitos da Fadiga

Os efeitos da fadiga manifestam-se de formas ligeiramente diferentes de pessoa para pessoa. No entanto, existem efeitos comuns que estão associados ao cansaço, dos quais se pode destacar o aumento do tempo de reação, a diminuição do estado de alerta e da consciência situacional e a incapacidade de decisão [30].

Os sintomas que surgem como consequência da fadiga podem ser divididos em quatro grupos [28], fisiológicos, emocionais, cognitivos e comportamentais, sendo alguns deles apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Sintomas de fadiga. Fonte: elaboração própria, com base em [28].

| Fisiológicos | Emocionais | Cognitivos | Comportamentais |
|------------------------------|----------------------------|------------------------------------|------------------------|
| Dor de cabeça | Estado de humor depressivo | Dificuldade de concentração | Comportamento errático |
| Dor no peito | Ansiedade | Dificuldade de memorização | Sonolência |
| Aumento da pressão arterial | Irritabilidade | Incapacidade na tomada de decisões | |
| Distúrbios gastrointestinais | Perda de confiança | | |
| Cansaço | | | |
| Palpitações | | | |
| Distúrbios do sono | | | |
| Hiperventilação | | | |

2.4.3.1. Manifestações de Fadiga nos Pilotos de Linha Aérea

No ramo do transporte aéreo regular, existem, tipicamente, dois tipos de voo: os voos de longo curso, *long-haul* (L-H), e os voos de curto-médio curso, *short-medium-haul* (SM-H). Conforme os voos que realizam, os pilotos atribuem diferentes causas para a fadiga a que estão sujeitos [31]:

- Para os pilotos L-H, a sua fadiga deve-se, principalmente, ao *jet lag* (ver 2.5.3.2.);
- Para os pilotos SM-H, esta surge, maioritariamente, como consequência da elevada carga de trabalho a que estão sujeitos, uma vez que, durante o mesmo período de serviço, são realizadas várias descolagens e aterragens.

Em ambos os grupos de pilotos (L-H e SM-H), a fadiga pode manifestar-se, por exemplo, nas seguintes situações [29], [30]:

- Perda de chamadas de rádio;
- Não deteção do mau funcionamento de algum equipamento;
- Falta de rigor na realização de tarefas rotineiras, ou mesmo esquecimento;
- Alinhamento da aeronave com a pista errada;
- Realização da aterragem sem autorização prévia do controlo de tráfego aéreo;
- Em casos extremos, adormecimento num período de serviço.

Os pilotos descrevem, frequentemente, diferentes manifestações de fadiga, dependendo se estão a referir-se a eles mesmos ou a outros membros da tripulação. No caso de estarem a autoavaliar-se, mencionam que a fadiga se traduz na redução do estado de alerta e na falta de concentração. No caso de avaliarem os impactos da fadiga nos outros membros da tripulação de *cockpit*, referem o aumento dos tempos de reação, a redução da comunicação e a má receção de mensagens [32].

De acordo com dados da *European Cockpit Association* (ECA), obtidos através de questionários aplicados a mais de 6000 pilotos de linha aérea europeus, sabe-se não só que cerca de 80% destes têm de lidar com a fadiga quando estão no *cockpit*, mas também que uma parte significativa dos inquiridos já adormeceu inesperadamente (isto é, sem avisar previamente o outro piloto) no decorrer de um voo [33]. Na Figura 15, apresentam-se, de forma mais detalhada, os dados referentes a oito países.

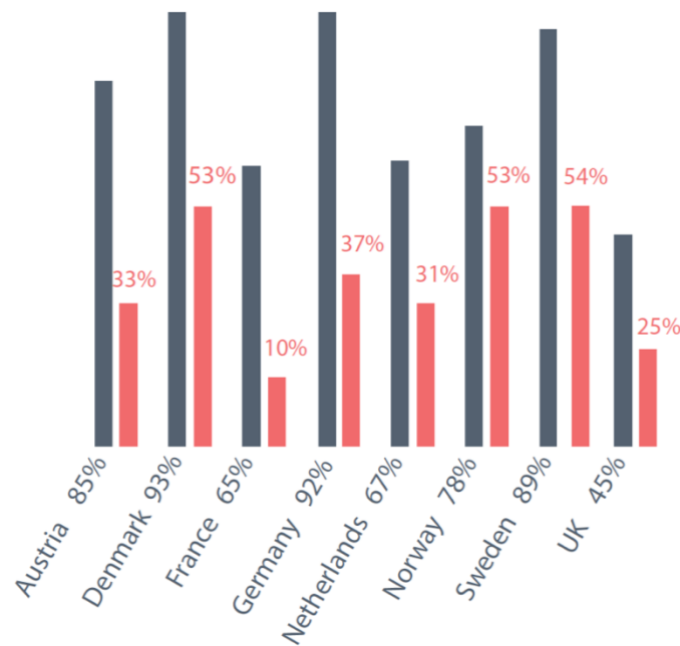


Figura 15. Percentagem de pilotos que já sentiram fadiga (a cinza) e que já adormeceram (a vermelho) durante um voo [33].

2.5. Princípios Científicos para a Gestão da Fadiga

Apesar das exigências operacionais dos membros da tripulação mudarem como resposta às alterações tecnológicas e às pressões comerciais, a fisiologia humana permanece inalterada [10]. Assim, é essencial considerar sempre quatro princípios científicos no processo de gestão da fadiga [5], [10]:

1. Os períodos de vigília têm de ser limitados. Ter um sono reparador, em quantidade e em qualidade, é indispensável para a recuperação do cérebro e do corpo;
2. A redução da quantidade ou qualidade do sono, nem que seja por uma única noite, diminui a capacidade de funcionamento e aumenta a sonolência no dia seguinte;
3. O relógio biológico circadiano afeta a duração e a qualidade do sono e produz altos e baixos diários na capacidade de desempenho em várias tarefas;
4. A carga de trabalho, seja esta baixa ou elevada, pode contribuir para a fadiga dos membros da tripulação.

2.5.1. Princípio Científico 1 – A Necessidade de Dormir

O sono desempenha um papel vital na memória e na aprendizagem, na manutenção do estado de alerta, do desempenho e do humor. Na realidade, é fundamental para a manutenção da saúde e bem-estar em geral. Embora a quantidade ideal de sono por noite

não seja a mesma para todos os indivíduos, sabe-se que a maioria dos adultos requer entre sete e nove horas [10].

2.5.1.1. Tipos de Sono

Tradicionalmente, o estudo do sono é feito através da monitorização dos padrões elétricos na atividade das ondas cerebrais, dos movimentos dos olhos e do tônus muscular [5], [10]. A partir destas medidas, dois padrões fundamentais do sono são caracterizados:

- Sem movimento rápido dos olhos → Sono NREM (*Non-Rapid Eye Movement*);
- Com movimento rápido dos olhos → Sono REM (*Rapid Eye Movement*).

Durante o sono NREM, a atividade das ondas cerebrais vai diminuindo gradualmente e o corpo, através do crescimento muscular e da reparação dos danos nos tecidos, está a ser restaurado [10]. De acordo com as características das ondas cerebrais, este tipo de sono pode ser dividido em três estágios:

- **Estágio 1:** período de transição entre estar acordado e adormecer, no qual as atividades cerebral e muscular começam a abrandar [34];
- **Estágio 2:** período de sono durante o qual os movimentos oculares param, a atividade das ondas cerebrais abrandam ainda mais, ocorrendo, também, uma diminuição da frequência cardíaca e da temperatura corporal [34];
- **Estágio 3:** neste estágio, também conhecido como sono de onda lenta, *slow-wave sleep* (SWS), ou como sono profundo, o cérebro praticamente deixa de responder aos estímulos provenientes do mundo exterior e as células cerebrais (neurónios) passam a gerar ondas elétricas grandes e lentas. O SWS é essencial para a aprendizagem, uma vez que é nesta fase que ocorre a consolidação de certos tipos de memória [5], [10].

Já no sono REM, o corpo não se move como resposta a sinais cerebrais e, de vez em quando, os olhos movem-se sob as pálpebras fechadas, sendo este movimento, frequentemente, acompanhado por contrações musculares e por irregularidade nas frequências cardíaca e respiratória. Nesta etapa, o cérebro está a restaurar-se e a informação do dia anterior está a ser ordenada e relacionada com memórias previamente armazenadas [10].

A maioria dos adultos passa cerca de 75% do tempo em que está a dormir em sono NREM e 25% em sono REM, como ilustrado na Figura 16.

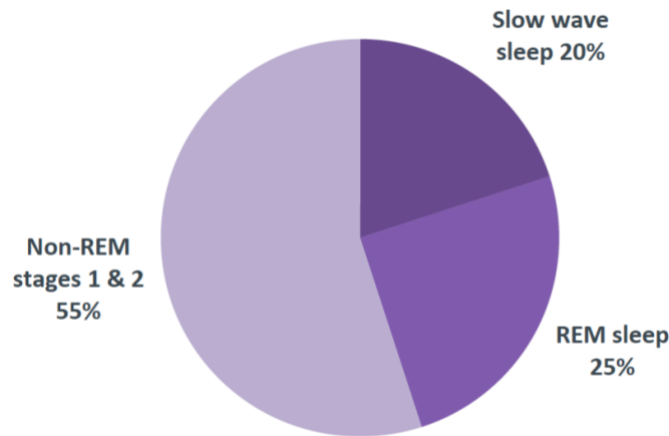


Figura 16. Percentagem da noite passada em cada tipo de sono [10].

2.5.1.2. O Ciclo REM/NREM

Numa noite normal, ocorrem cinco ciclos REM/NREM, cada um com uma duração aproximada de 90 minutos. A composição dos ciclos sucessivos não é homogénea, sendo que, ao longo da noite, o tempo do terceiro estágio do sono NREM (SWS) vai diminuindo e o do sono REM vai aumentando [35].

Na Figura 17, está ilustrada a evolução dos ciclos REM/NREM de um adulto saudável durante uma noite. O sono começa com o estágio 1 do sono NREM, avançando, sucessivamente, para os estágios 2 (letra 'A') e 3 (letra 'B'). Após cerca de 80 minutos do início do sono, o indivíduo passa, de forma muito breve, pelo estágio 2 do sono NREM, transitando, logo de seguida, para o primeiro período de sono REM (letra 'C'). Posteriormente, a pessoa passa, novamente, para uma etapa de sono leve NREM (letra 'D'), repetindo-se o ciclo [10].

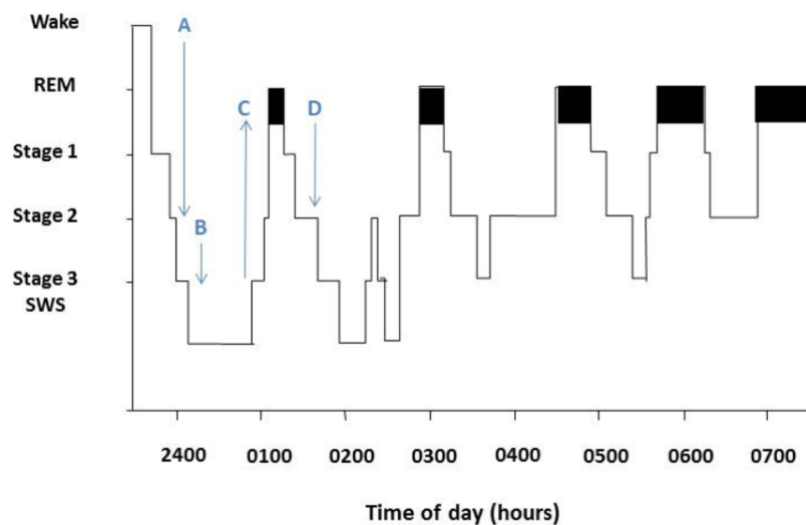


Figura 17. A evolução dos ciclos REM/NREM ao longo da noite [10].

2.5.1.3. Fatores que Afetam a Qualidade do Sono

Para que o sono seja totalmente reparador, os ciclos REM/NREM têm de ser ininterruptos. Existem vários fatores que podem provocar a interrupção desses ciclos, afetando a quantidade e a qualidade do sono e, conseqüentemente, o desempenho do indivíduo no dia seguinte [5], [10]. Estes fatores podem estar relacionados com:

- **Idade:** ao longo da idade adulta, o tempo de sono dedicado ao estágio SWS diminui, tornando-se o sono mais fragmentado entre os 50 e 60 anos. Apesar disto, a idade não constitui um fator específico a ter em conta no processo de gestão da fadiga [10];
- **Distúrbios do sono:** muitas vezes são responsáveis pela impossibilidade de se ter um sono reparador, mesmo quando se dispõe de tempo suficiente para que tal aconteça. Estas perturbações representam um risco adicional para os membros da tripulação que, frequentemente, possuem um tempo limitado para dormir [10];
- **Cafeína, nicotina e álcool:** tanto a cafeína (presente, por exemplo, no café, chá e bebidas energéticas) como a nicotina (presente nos cigarros) estimulam o cérebro, tornando o processo de adormecimento mais difícil e, conseqüentemente, perturbando a qualidade do sono. Já o álcool promove a sonolência, mas afeta, também, a qualidade do sono, uma vez que, quando o organismo está a processá-lo, o cérebro não consegue obter o sono REM [10];
- **Fatores ambientais:** fatores como a luz brilhante que aumenta o estado de alerta, os sons repentinos que podem surgir quando se está a tentar adormecer e a temperatura do local influenciam a qualidade do sono (a temperatura ideal para dormir situa-se, para a maioria das pessoas, entre os 18 e os 20 °C) [10];
- **Dieta:** o tipo de comida que se ingere e o momento em que se faz essa ingestão afetam a qualidade do sono. Sabe-se que ter um horário constante para as refeições ajuda a que o relógio biológico circadiano se mantenha regulado e que, enquanto as refeições à base de hidratos de carbono promovem o sono, aquelas que são ricas em proteínas ajudam a manter os níveis de alerta e de atividade [36].

2.5.1.4. A Sesta como Medida Mitigadora da Fadiga nos Pilotos de Linha Aérea

A aproximação final e a aterragem são consideradas as fases mais exigentes de um voo, resultando, conseqüentemente, num aumento da carga de trabalho. Assim, é essencial que, durante este período crítico, os pilotos estejam o mais alerta possível. Uma sesta realizada durante o voo pode ajudar a que tal aconteça, pois auxilia na redução da fadiga e na restauração da energia [37].

No caso dos voos L-H, as tripulações podem ser reforçadas com um ou mais pilotos que assumem o controlo do voo durante o período de descanso dos membros da tripulação principal, sendo esta uma prática amplamente aceite pelos operadores. Os aviões designados para este tipo de voos possuem, frequentemente, um compartimento de descanso para a tripulação de voo, *flight crew and rest compartment* (FCRC), equipado com beliches. As regras de duração do sono nestas instalações variam consoante a companhia aérea e o país, mas, de um modo geral, a distribuição dos tempos de descanso é feita pelos membros da tripulação, tendo sempre em consideração os regulamentos que estabelecem o tempo de antecedência com que os pilotos devem estar acordados antes da aeronave iniciar a aproximação final [37].

Para as tripulações não reforçadas, a opção de descanso num FCRC não está disponível, pelo que as sextas estratégicas só podem ser feitas no *cockpit*, apesar de nem todas as companhias aéreas permitirem que tal aconteça. Também as normas que regem esta prática variam de acordo com a companhia e com o país, embora existam algumas diretrizes em comum [37]:

- As sextas só podem ocorrer durante a fase de cruzeiro do voo e estão limitadas a cerca de 15 a 30 minutos;
- Os pilotos devem alertar os comissários de bordo antes das sextas, de modo a que estes verifiquem, regularmente, o estado de alerta do piloto que permanece aos comandos da aeronave.

Apesar do descanso durante o voo, quer no *cockpit* quer no FCRC, ajudar a combater a fadiga, este nunca deve ser visto como substituto de uma noite de sono em casa, uma vez que o sono obtido a bordo não é tão reparador devido a uma série de fatores, como o ruído proveniente do próprio avião, a turbulência, a iluminação excessiva ou as condições atmosféricas (temperatura e humidade) [37].

2.5.2. Princípio Científico 2 – Perda e Recuperação do Sono

A redução da quantidade de sono é responsável, por exemplo, por dificuldades em manter a concentração, distúrbios visuais e reações mais lentas, o que leva ao aumento do número de erros cometidos aquando da realização de vários tipos de tarefas [38]. Desta forma, mesmo para os indivíduos que têm um sono de boa qualidade, a quantidade de sono que obtêm é de extrema importância para a restauração da sua função de vigília [10].

2.5.2.1. Consequências da Restrição de Sono

Vários são os estudos que reportam uma deterioração da atenção e do desempenho em períodos de restrição de sono [37]. De uma forma geral, as tarefas mentais mais complexas, como a tomada de decisões, são mais afetadas pela perda de sono do que as tarefas mais simples [10].

Durante os primeiros dias de restrição, os indivíduos estão conscientes de que estão a ficar progressivamente mais sonolentos. Contudo, após vários dias, já não notam qualquer diferença em si mesmos, embora continue a ocorrer uma diminuição dos seus níveis de alerta e de desempenho. Quer isto dizer que, à medida que a restrição de sono se prolonga, as pessoas tornam-se cada vez menos fiáveis na avaliação do seu próprio estado funcional [5], [10].

Num teste em que se pedia aos participantes para responderem a estímulos visuais e sonoros, verificou-se que os indivíduos que estavam a atravessar um período de restrição de sono cometeram significativamente mais erros do que as restantes, não reagindo a uma parte significativa dos estímulos. Para além disso, numa prova realizada num simulador de condução, descobriu-se que, após uma noite completa de privação de sono, os participantes tiveram o seu desempenho visual afetado negativamente, sofrendo uma redução na sensibilidade ao ambiente periférico [37].

As capacidades cognitivas também são afetadas pela restrição de sono. Por exemplo, uma vigília contínua de elevada duração contribui para o aumento da dificuldade em formar novas memórias e para a diminuição da capacidade de raciocínio e de resolução de problemas [37].

No que diz respeito aos efeitos fisiológicos e psicológicos associados à fadiga resultante da perda de sono, sabe-se que [37]:

- Uma noite completa de privação de sono, ou seis noites consecutivas de restrição de sono, promovem o aumento dos níveis da hormona do *stress* (cortisol);
- A perda de sono repetida está associada a um metabolismo mais lento, à redução da sociabilidade e a um aumento dos tempos de resposta e do risco para desenvolver diabetes *mellitus*, problemas cardiovasculares e/ou distúrbios psiquiátricos.

É importante ressaltar que os efeitos descritos anteriormente não se manifestam da mesma forma em todas as pessoas, uma vez que a capacidade de tolerância à perda de sono é muito variável [10].

2.5.2.2. Recuperação dos Efeitos da Restrição de Sono

A restrição de sono prolongada pode ter efeitos no cérebro que continuam a afetar o desempenho e o estado de alerta durante vários dias. Apesar de não haver uma resposta clara relativamente ao tempo exato que é necessário para recuperar desses efeitos, as seguintes afirmações são fiáveis [10]:

- A recuperação do sono não é feita hora por hora;
- São necessárias, pelo menos, duas noites consecutivas para que o ciclo REM/NREM volte à normalidade, podendo ser necessário mais tempo caso o indivíduo não esteja adaptado ao fuso horário local.

Durante o período de restrição, o cérebro pode reconfigurar a forma como efetua a gestão das tarefas, estabelecendo um nível de desempenho e alerta que, apesar de inferior ao nível ótimo, é estável [10].

2.5.3. Princípio Científico 3 – Efeitos Circadianos no Sono

A organização temporal do sistema biológico humano é uma das características mais notáveis dos organismos vivos. Ao longo das últimas décadas, a Cronobiologia tem destacado a importância deste aspeto para a vida humana, revelando os complexos mecanismos subjacentes às interações temporais entre os vários componentes do corpo [39].

Estas interações são caracterizadas por um largo espectro de ritmos com diferentes frequências e amplitudes, sendo que os ritmos circadianos são os mais estudados [39]. Estes ritmos, definidos como ciclos diários na fisiologia e no comportamento que são controlados pelo relógio biológico circadiano, incluem [5], [10]:

- Ritmos na sensação subjetiva de fadiga e sonolência;
- Ritmos na capacidade de realizar trabalho físico e mental;
- Ritmos na capacidade de adormecer e de permanecer adormecido (propensão para o sono).

2.5.3.1. O Relógio Biológico Circadiano

O relógio biológico circadiano é um dos processos que regula o horário e a qualidade do sono, sendo controlado por uma área no cérebro denominada por núcleo supraquiasmático, *suprachiasmatic nucleus* (SCN), que se localiza no hipotálamo [40].

Para a maioria das pessoas, o “dia biológico” tem uma duração ligeiramente superior a 24 horas, pelo que são necessários agentes externos (*zeitgebers*²) que promovem a sincronização entre o relógio biológico e o meio ambiente, sendo a luz o principal exemplo [10], [40]. Através de uma ligação direta a células presentes na retina do olho (esta via de entrada de luz não está envolvida na visão), o relógio biológico circadiano recebe informações relativas à intensidade da luz, mantendo-se sincronizado com o ciclo dia/noite e, conseqüentemente, estimulando a vigília diurna e a sonolência noturna [10].

Na Figura 18, pode observar-se a relação entre o sono normal durante a noite e o ciclo do relógio biológico circadiano, sendo claro que [10]:

- O sono se inicia cerca de cinco horas antes do mínimo da temperatura corporal;
- O despertar acontece cerca de três horas após o mínimo da temperatura corporal;
- A propensão para o sono REM (curva verde a tracejado) atinge o pico imediatamente a seguir ao mínimo da temperatura corporal;
- À medida que a temperatura corporal sobe, o relógio biológico circadiano envia um sinal cada vez mais forte aos centros cerebrais que promovem a vigília.

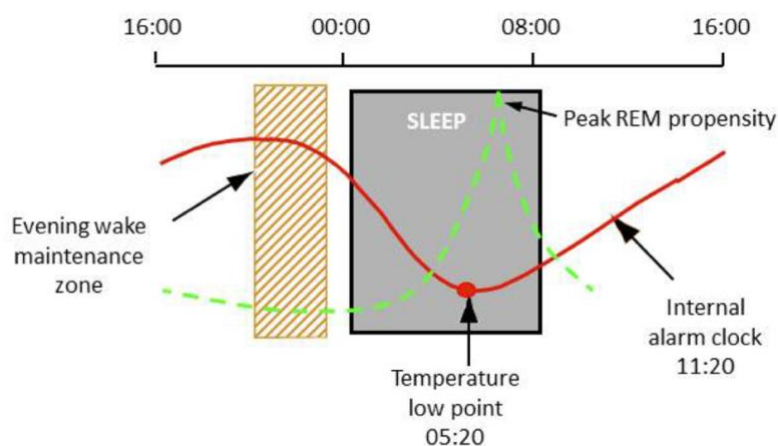


Figura 18. Relação entre o sono e o ciclo do relógio biológico circadiano [10].

² Termo alemão para “doador de tempo”.

A WOCL diz respeito ao período de tempo em torno do momento da temperatura corporal mínima, entre as 02:00 e as 05:59 h [30], e constitui o segmento do ciclo do relógio biológico circadiano no qual os indivíduos se sentem mais sonolentos e menos capazes de realizar tarefas mentais e físicas [5], [10].

Abaixo, na Figura 19, são apresentados os ritmos circadianos de um piloto SM-H, monitorizados através de um registo diário de atividades (incluindo períodos de sono), da classificação periódica do nível de fadiga e da medição da temperatura corporal. Pode observar-se que, durante o período de serviço, ocorrem altos e baixos nos níveis de fadiga, aos quais correspondem períodos de pior e melhor desempenho, respetivamente [10].

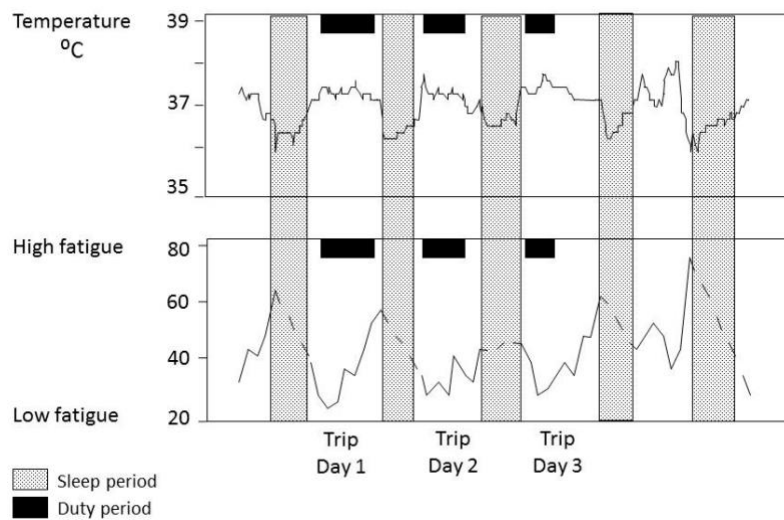


Figura 19. Ritmos circadianos de um piloto SM-H [10].

2.5.3.2. Jet Lag

O *jet lag* é um fenómeno causado pela realização de voos transmeridianos e que se define como uma dessincronização entre o relógio biológico circadiano e o ciclo dia/noite, afetando, também, os ritmos internos que dizem respeito a diferentes funções corporais [10].

Após um voo transmeridiano, os ritmos circadianos não se adaptam de imediato ao novo fuso horário, podendo ser necessários vários dias até que tal aconteça (o número de dias é tanto maior quanto maior for a quantidade de fusos horários atravessados durante a viagem) [39]. Durante este período de adaptação ao novo horário, os indivíduos podem experienciar diversos sintomas semelhantes aos apresentados em 2.4.3., nomeadamente [41]:

- Sono inadequado durante o novo período noturno, incluindo atraso no início do sono (no caso dos voos realizados para Este) e antecipação do despertar (no caso dos voos realizados para Oeste);
- Desempenho reduzido, tanto em tarefas físicas como mentais, durante o novo período diurno;
- Diminuição da capacidade de concentração e aumento da fadiga e da irritabilidade;
- Perturbações gastrointestinais.

Os efeitos do *jet lag* mencionados acima são mais pronunciados nas pessoas mais velhas, uma vez que, apesar das razões serem desconhecidas, a taxa de adaptação fisiológica a um novo fuso horário parece diminuir com o avanço da idade. Além da idade, outro fator que influencia a gravidade do *jet lag* é o sentido do voo, sendo que estudos demonstram que, comparativamente a um voo para Oeste, um voo que se dirige para Este tem consequências mais acentuadas na alteração dos ritmos circadianos [41], [42]: em média, o número de dias de adaptação a uma alteração, para Este, de três ou mais fusos horários é igual a dois terços do número de fusos atravessados; se a alteração for para Oeste, o número de dias necessários corresponde a metade do número de fusos horários atravessados [43].

2.5.4. Princípio Científico 4 – Influência da Carga de Trabalho

A carga de trabalho (CT), definida pela ICAO como uma atividade mental e/ou física que pode contribuir para a ocorrência de fadiga, pode ser dividida em três dimensões [5], [10]:

1. A natureza e a quantidade de trabalho a ser feito → Inclui a complexidade da tarefa e a intensidade do trabalho;
2. Restrições de tempo → Inclui o tempo necessário para concluir a tarefa e os fatores que o podem prolongar;
3. Fatores relacionados com a capacidade de desempenho individual → Inclui, por exemplo, o nível de experiência da pessoa na realização da tarefa.

Atualmente, acredita-se que os níveis intermédios de CT são os que mais contribuem para a manutenção dos níveis de desempenho. Contrariamente ao que se possa pensar, estes níveis podem piorar não só nas situações onde a CT é elevada, mas também naquelas em que é baixa [10]:

- Situações de baixa CT carecem de estímulo e conduzem à monotonia, o que pode degradar o desempenho;

- Situações de elevada CT podem sobrecarregar um indivíduo para além das suas capacidades, provocando, também, a deterioração do desempenho.

No contexto aeronáutico, a CT é tanto maior quanto mais segmentos forem voados durante o mesmo período de serviço [10]. Desta forma, em condições normais, a CT tem particular impacto nos pilotos SM-H, nos quais a fadiga aumenta de forma linear com o número de setores realizados [44]. Um setor corresponde a um “segmento de um período de serviço de voo compreendido entre o primeiro movimento de uma aeronave para efeitos de descolagem e a sua imobilização após a aterragem na posição de estacionamento designada” [45, p. 6].

2.6. Limitações do Tempo de Voo e de Serviço e Requisitos de Repouso

No Anexo 2 do “Regulamento (UE) N.º 83/2014 da Comissão de 29 de janeiro de 2014” [45] são definidas as regras que os operadores e respetivas tripulações têm de respeitar no que concerne às Limitações do Tempo de Voo e de Serviço e aos Requisitos de Repouso, *Flight and Duty Time Limitations and Rest Requirements* (FTL). Estas regras são aplicáveis a todos os Estados-Membros da *European Union Aviation Safety Agency* (EASA).

De seguida, são apresentadas algumas medidas gerais referentes às FTL. Importa ter em atenção o facto de poder existir um ou mais regimes excecionais face à regra geral, dependendo da epígrafe em estudo.

2.6.1. Período de Serviço

O período de serviço “começa no momento em que, por ordem do operador, um tripulante se apresenta ao serviço ou inicia um serviço e que termina quando esse tripulante é libertado de todas as tarefas, incluindo o serviço pós-voo” [45, p. 5].

O total dos períodos de serviço atribuídos aos tripulantes não pode ultrapassar as:

- 60 horas de serviço em 7 dias consecutivos;
- 110 horas de serviço em 14 dias consecutivos;
- 190 horas de serviço em 28 dias consecutivas, distribuídas da forma mais regular possível ao longo deste tempo.

2.6.2. Tempo de Voo

O tempo de voo é o “tempo decorrido entre o primeiro movimento de saída de uma aeronave do lugar de estacionamento com o objetivo de descolar e a sua imobilização na posição de estacionamento designada, com todos os motores ou hélices desligados” [45, p. 5].

O tempo total de voo nos setores atribuídos aos tripulantes está limitado às:

- 100 horas de tempo de voo em 28 dias consecutivos;
- 900 horas de tempo de voo por ano civil;
- 1000 horas de tempo de voo em 12 meses consecutivos.

2.6.2.1. Período de Serviço de Voo Diário

O período de serviço de voo, *flight duty period* (FDP), é o “período que começa quando um tripulante se deve apresentar ao serviço, que inclui um setor ou série de setores, e que termina quando a aeronave fica finalmente imobilizada e os motores são desligados, no final do último setor em que o tripulante desempenha funções” [45, p. 5].

O FDP máximo diário (sem prolongamentos) para tripulantes aclimatados, aqueles cujo relógio biológico circadiano está sincronizado com o fuso horário do local em que se encontram, é apresentado na Figura 20, em função da hora de início do FDP e do número de setores.

| Início do período de serviço de voo na data de referência | 1-2 setores | 3 setores | 4 setores | 5 setores | 6 setores | 7 setores | 8 setores | 9 setores | 10 setores |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 0600-1329 | 13:00 | 12:30 | 12:00 | 11:30 | 11:00 | 10:30 | 10:00 | 9:30 | 9:00 |
| 1330-1359 | 12:45 | 12:15 | 11:45 | 11:15 | 10:45 | 10:15 | 9:45 | 9:15 | 9:00 |
| 1400-1429 | 12:30 | 12:00 | 11:30 | 11:00 | 10:30 | 10:00 | 9:30 | 9:00 | 9:00 |
| 1430-1459 | 12:15 | 11:45 | 11:15 | 10:45 | 10:15 | 9:45 | 9:15 | 9:00 | 9:00 |
| 1500-1529 | 12:00 | 11:30 | 11:00 | 10:30 | 10:00 | 9:30 | 9:00 | 9:00 | 9:00 |
| 1530-1559 | 11:45 | 11:15 | 10:45 | 10:15 | 9:45 | 9:15 | 9:00 | 9:00 | 9:00 |
| 1600-1629 | 11:30 | 11:00 | 10:30 | 10:00 | 9:30 | 9:00 | 9:00 | 9:00 | 9:00 |
| 1630-1659 | 11:15 | 10:45 | 10:15 | 9:45 | 9:15 | 9:00 | 9:00 | 9:00 | 9:00 |
| 1700-0459 | 11:00 | 10:30 | 10:00 | 9:30 | 9:00 | 9:00 | 9:00 | 9:00 | 9:00 |
| 0500-0514 | 12:00 | 11:30 | 11:00 | 10:30 | 10:00 | 9:30 | 9:00 | 9:00 | 9:00 |
| 0515-0529 | 12:15 | 11:45 | 11:15 | 10:45 | 10:15 | 9:45 | 9:15 | 9:00 | 9:00 |
| 0530-0544 | 12:30 | 12:00 | 11:30 | 11:00 | 10:30 | 10:00 | 9:30 | 9:00 | 9:00 |
| 0545-0559 | 12:45 | 12:15 | 11:45 | 11:15 | 10:45 | 10:15 | 9:45 | 9:15 | 9:00 |

Figura 20. FDP máximo diário para tripulantes aclimatados [45].

2.6.3. Período de Repouso

O período de repouso diz respeito ao “período de tempo contínuo, ininterrupto e definido, antes ou depois de um serviço, durante o qual um tripulante é libertado de todas as tarefas, incluindo os serviços de assistência e reserva” [45, p. 6]:

- Caso o FDP tenha início na base de afetação (“local atribuído ao tripulante pelo operador, a partir do qual o tripulante normalmente inicia e termina um período de serviço ou uma série de períodos de serviço e no qual, em circunstâncias normais, o operador não é responsável pelo alojamento do tripulante em causa” [45, p. 5]), o período de repouso mínimo “deve ser pelo menos igual ao período de serviço precedente, ou de 12 horas, conforme o período que for mais longo” [45, p. 12];
- Caso o FDP comece fora da base, o período de repouso mínimo “deve ser pelo menos igual ao período de serviço precedente, ou de 10 horas, conforme o período que for mais longo” [45, p. 12].

2.7. Conclusão

Através da realização da revisão bibliográfica, foi possível ir mais além na compreensão do impacto dos FH na indústria da aviação.

Com a criação do HFACS, os investigadores passaram a dispor de uma ferramenta que permite identificar e classificar facilmente a interferência humana na ocorrência de acidentes e incidentes. Esta ferramenta revela-se extremamente útil, porque, sendo o Homem o elemento central do sistema da aviação, tal como mostra o modelo SHELL, a sua interferência pode ocorrer a vários níveis. Percebeu-se que, apesar do nível 1 de falha (referente aos atos inseguros) contemplar uma grande parte dos erros relacionados com FH, muitos destes erros também estão inseridos no nível 2 (referente às condições prévias para atos inseguros), no qual se insere a problemática da fadiga cognitiva [26].

A restrição de sono é a principal responsável pela ocorrência de fadiga. Esta afeta o ser humano a vários níveis, desde perturbações fisiológicas a cognitivas, sendo responsável, por exemplo, pela redução do estado de alerta e pelo aumento dos tempos de reação, o que provoca uma redução do desempenho. Verificou-se, também, que a fadiga está presente numa grande parte dos pilotos de linha aérea europeus, o que pode constituir um risco para a segurança de voo [33].

Para que o transporte aéreo se mantenha como um dos mais seguros do mundo, os perigos nele envolvidos necessitam de uma avaliação constante e têm de ser tomadas medidas de mitigação para os mesmos. Sendo a fadiga reconhecida como um perigo, é indispensável ter particular atenção ao seu processo de gestão, no qual o sono assume um papel fulcral. Para que este seja reparador, restaurando os níveis de desempenho e alerta de um indivíduo, são necessários cerca de cinco ciclos REM/NREM ininterruptos [10], [35]. As FTL também desempenham um papel na gestão da fadiga, pois auxiliam os operadores aéreos na minimização dos seus efeitos nas tripulações de voo.

Capítulo 3

Métodos de Avaliação da Fadiga

3.1. Introdução

A fadiga dos pilotos de linha aérea em estudo foi monitorizada, tal como mencionado em 1.3., através da utilização de quatro ferramentas distintas, das quais duas avaliam-na de forma subjetiva e as outras duas de forma objetiva. Enquanto as técnicas subjetivas assentam no autorrelato do sono e do cansaço, as objetivas são construídas com base nas características fisiológicas do indivíduo ou nas suas manifestações físicas [46].

As metodologias utilizadas são as mesmas que Rocha [5] empregou na sua investigação, tendo estas sido retiradas do FMG [10] e de um trabalho da autoria de Millar [47], especialista da ICAO em desempenho humano na aviação [48], nomeadamente:

1. Ferramentas subjetivas:

- Diário de sono (DS);
- *Samn-Perelli 7-Point Fatigue Scale* (SPS).

2. Ferramentas objetivas:

- Tarefa de vigilância psicomotora, *Psychomotor Vigilance Task* (PVT);
- Actigrafia.

O capítulo termina com uma breve apresentação do instrumento utilizado pela EAA na gestão da fadiga dos tripulantes, o *Fatigue Assessment Tool by InterDynamics* (FAID®) [49].

3.2. Ferramentas Subjetivas para Avaliação da Fadiga

As ferramentas subjetivas baseiam-se no relato individual de sensações da pessoa, como “estou cansado”, ou de variáveis que dizem respeito ao sono, como “extremamente sonolento, combatendo o sono”. Atualmente, para além do DS e da escala SPS, existem várias outras metodologias subjetivas devidamente validadas para a avaliação da fadiga e do sono, onde, entre outras, estão presentes a *Fatigue Severity Scale* (FSS), a *Visual Analogue Scale for Fatigue* (VAS-F), a *Stanford Sleepiness Scale* (SSS) e a *Karolinska Sleepiness Scale* (KSS) [46].

Por um lado, todas estas ferramentas são de fácil aplicação, seja em papel ou em suporte informático, e a perturbação causada à tripulação de voo é mínima [47], mas, por outro, os dados obtidos nem sempre refletem de forma fiável a diminuição do desempenho ou a perda de sono, principalmente quando o indivíduo está a atravessar um período de várias noites consecutivas com restrição de sono [10].

3.2.1. Diário de Sono

O DS é uma ferramenta útil quando se pretende estudar a duração e a qualidade do sono de uma pessoa, especialmente se for utilizado em conjunto com outras técnicas, como a polissonografia (PSG) ou a actigrafia, visto que, neste caso, se torna possível fazer uma comparação entre os dados objetivos do sono e os percecionados pelo indivíduo em estudo [5], [10], [47].

Após alguns dias de preenchimento do DS, pode-se aferir se existe algum padrão ou práticas (por exemplo, a prática de exercício físico, o consumo de bebidas com cafeína/álcool e os hábitos alimentares) que estejam a contribuir ou a dificultar a possibilidade de se ter um sono reparador, de modo a que, posteriormente, se façam as alterações necessárias para se alcançar este objetivo [50]. Além de outras, o DS contempla, frequentemente, as seguintes informações [5], [10], [47]:

- Local onde o tripulante dormiu (casa, hotel, FCRC, lugar na *business class*, entre outros);
- Hora a que se deitou;
- Hora a que se levantou;
- Quantidade de sono que pensa ter tido;
- Qualidade do sono que pensa ter tido.

Existem diferentes configurações para o DS, isto é, consegue-se adaptá-lo para incluir informações específicas para um determinado estudo [10]. Por exemplo, no caso concreto desta dissertação, o DS inclui uma secção dedicada à escala SPS e outra aos resultados obtidos nos testes PVT (ver 4.2.).

De seguida, na Figura 21, encontra-se um exemplo de DS, o fornecido pela *National Sleep Foundation* [50], sendo os lados esquerdo (a laranja) e direito (a azul) preenchidos de manhã (ao acordar) e à noite (ao deitar), respetivamente.

The image shows a spiral-bound notebook with two pages of a sleep diary. The left page is titled "Complete in Morning" and the right page is "Complete at the End of Day". Both pages have columns for Day 1 through Day 7. The left page includes sections for bedtime, wake-up time, sleep quality, and morning feelings. The right page includes sections for caffeine intake, exercise, medications, naps, dozing off, mood, and bedtime routine.

Figura 21. DS da National Sleep Foundation [50].

3.2.2. Samn-Perelli 7-Point Fatigue Scale

Inicialmente, a escala SPS foi desenvolvida como uma ferramenta para avaliar, de forma subjetiva, a fadiga nos pilotos, mas, nos dias de hoje, é amplamente utilizada em várias pesquisas relacionadas com a temática da fadiga. O indivíduo classifica o seu estado atual numa escala de sete pontos do tipo *Likert* [51], como se pode observar na Tabela 4.

Tabela 4. Estado dos membros da tripulação, de acordo com a escala SPS [5], [10], [47].

| Pontuação | Descrição |
|-----------|--|
| 1 | Totalmente alerta, bem desperto. |
| 2 | Muito ativo, responsivo, mas não no pico. |
| 3 | Bem, relativamente fresco. |
| 4 | Um pouco cansado, não muito fresco. |
| 5 | Moderadamente cansado, em baixo. |
| 6 | Extremamente cansado, com dificuldade de concentração. |
| 7 | Completamente exausto, incapaz de funcionar de forma eficaz. |

De acordo com a pontuação escolhida na escala SPS, e com vista à minimização da probabilidade da ocorrência de erro humano, diferentes medidas mitigadoras podem ser tomadas. Na Tabela 5, são apresentadas algumas delas.

Tabela 5. Risco de erro humano associado às pontuações da escala SPS e respetivas medidas mitigadoras [52].

| Pontuação | Risco | Medidas mitigadoras |
|-----------|------------|---|
| 1 – 3 | Baixo | Não é necessário haver um controlo específico, a menos que a pessoa apresente sintomas de cansaço, como esquecimento ou distração. |
| 4 – 5 | Moderado | Documentar e trabalhar com medidas de redução do risco autocontroladas, como a utilização estratégica de caféina. |
| 6 | Alto | Documentar e trabalhar com medidas de redução do risco monitorizadas externamente, como a sesta ou a reafetação de tarefas. |
| 7 | Muito alto | Documentar e não se envolver em tarefas que sejam importantes do ponto de vista da segurança; não reiniciar o trabalho até que tenha sido obtido um sono suficientemente reparador. |

Por último, é importante destacar que foi demonstrado em laboratório, sob condições experimentais controladas, que a escala SPS é sensível aos efeitos da perda de sono e ao ciclo do relógio biológico circadiano [10]. A Figura 22 ilustra a evolução da fadiga de pilotos envolvidos em operações comerciais e, como se pode verificar, os níveis mais altos de fadiga ocorrem, maioritariamente, durante a WOCL, observando-se, também, um aumento geral destes níveis à medida que os períodos de serviço vão sendo mais longos [53].

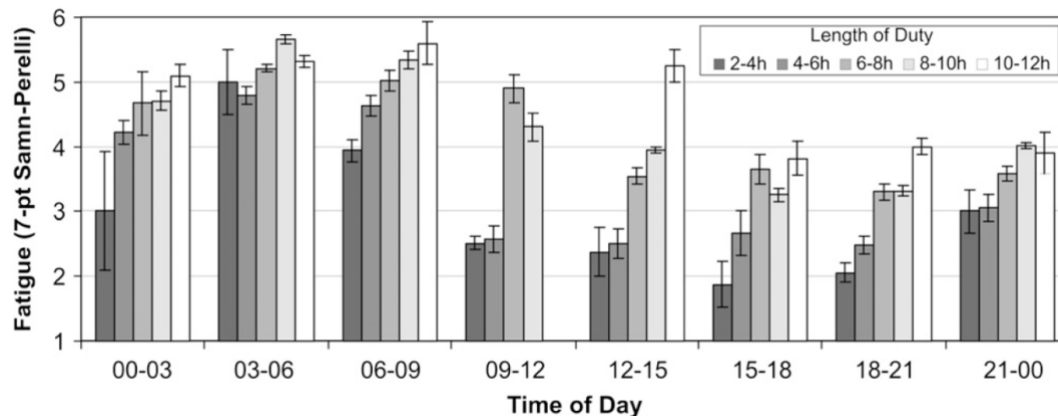


Figura 22. Evolução da fadiga dos pilotos consoante a hora do dia e a duração do período de serviço [53].

3.3. Ferramentas Objetivas para Avaliação da Fadiga

As ferramentas objetivas para avaliar a fadiga dos trabalhadores no setor da aviação são construídas tendo por base os ritmos circadianos (por exemplo, com a medição da temperatura corporal), o sono (com recurso à PSG, à eletroencefalografia (EEG) e à actigrafia) ou o desempenho psicomotor (utilizando a PVT). Assim, o objetivo destas técnicas é, como referido em 3.1., detetar as características fisiológicas do indivíduo, como as ondas cerebrais, ou as suas manifestações físicas, como a inatividade do pulso [46].

O ponto forte da PVT assenta no não requerimento de ensaios práticos, exceto os necessários para garantir que o indivíduo sabe como utilizar o dispositivo do ensaio. No entanto, como exige a atenção constante do piloto durante o período de realização do teste, acontece que, durante este espaço temporal, apenas um dos pilotos que se encontra no *cockpit* se mantém no controlo operacional da aeronave [10].

Já a actigrafia, concretizada através da utilização de um pequeno dispositivo colocado no pulso, apresenta como principal vantagem a fácil aplicação, uma vez que este aparelho não é intrusivo à operação. O ponto negativo reside no facto dos tempos de sono do indivíduo poderem ser sobrestimados (ver 3.3.2.) [5], [10], [46].

3.3.1. Tarefa de Vigilância Psicomotora

As capacidades psicomotoras correlacionam as funções cognitivas com os movimentos físicos de uma pessoa [5]. Neste sentido, a PVT é uma tarefa de atenção permanente que tem como objetivo a medição do tempo com que o indivíduo responde a um estímulo visual [47], de modo a aferir-se o seu nível de alerta. Desenvolvida na década de 1980, é, atualmente, uma técnica muito comum na avaliação dos tempos de reação, *reaction times* (RTs), sendo sensível aos períodos de restrição de sono e de vigília prolongada e às alterações nos ritmos circadianos [54].

O PVT-192, presente na Figura 23, é um dos instrumentos com o qual se pode medir os RTs, mas, para além do seu elevado custo, trata-se de um aparelho demasiado grande para alguns protocolos de investigação que requerem um dispositivo de bolso, como um *smartphone*. Recentemente, tendo em consideração esta necessidade, foram desenvolvidos esforços no sentido de criar ferramentas mais acessíveis e portáteis, como é o caso da aplicação utilizada nos casos de estudo desta dissertação, a *sleep-2-Peak* (s2P) [54].



Figura 23. Aparelho PVT-192 [55].

A s2P (Figura 24) é uma aplicação para *smartphone*, disponível para os sistemas operativos *iOS* (na *App Store*) e *Android* (na *Google Play*), que, apesar de disponibilizar funcionalidades extra através de uma versão paga, permite realizar o teste PVT de forma gratuita. Para além disso, o utilizador pode fazer vários testes durante o dia, por forma a verificar-se as alterações nos RTs ao longo do mesmo [54].

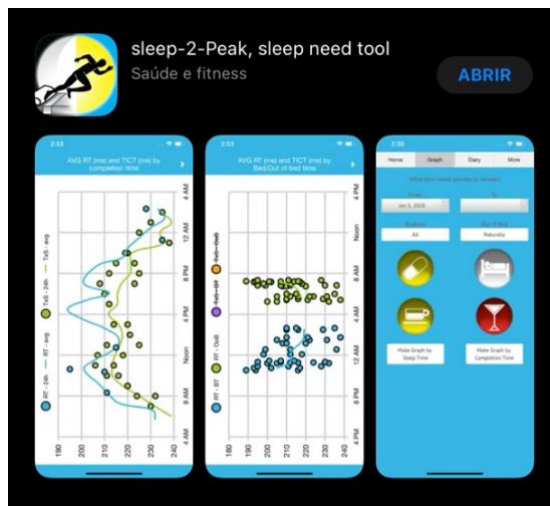


Figura 24. Aplicação s2P na *App Store* [56].

Ao iniciar a aplicação, o indivíduo tem a possibilidade de introduzir a hora a que foi dormir na noite anterior (e se estava cansado), a hora a que acordou (e se teve de fazer um esforço para se levantar) e se, no momento em que pretende realizar o teste, está sob o efeito de alguma substância, como comprimidos para dormir, álcool ou cafeína (primeira imagem da Figura 25). Para se dar início ao teste, que tem uma duração de três minutos, prime-se “*Do test*” e, depois, “*Start test*” (segunda imagem da Figura 25). A tarefa consiste em clicar no ecrã do *smartphone* quando surge o estímulo visual, uma representação do Sol (terceira imagem da Figura 25) [54]. Quando terminada, tem-se imediatamente acesso a todos os RTs, bem como ao seu valor médio (quarta imagem da Figura 25).

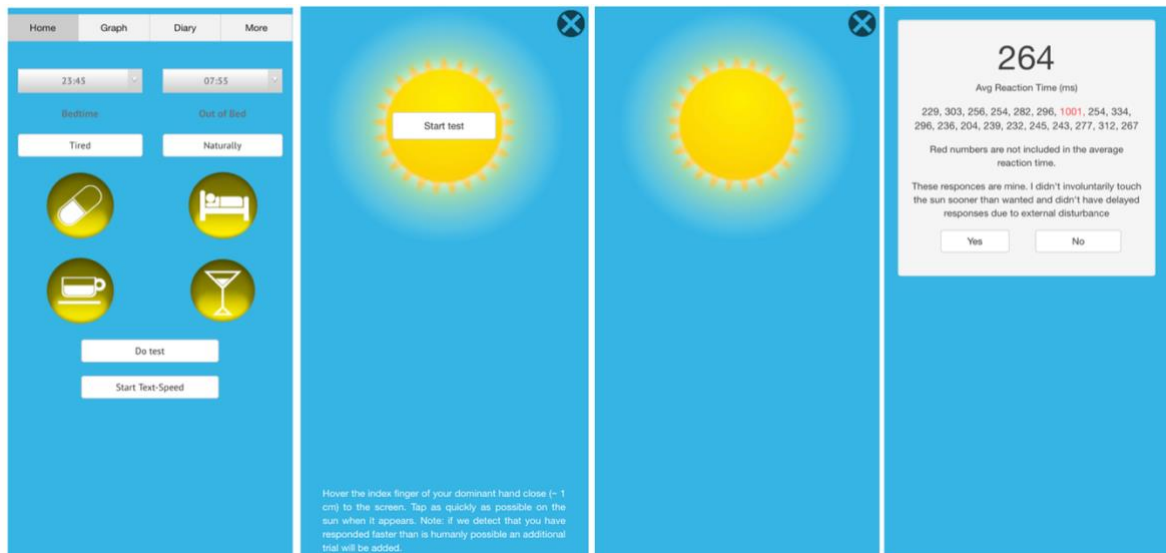


Figura 25. Utilização da aplicação s2P no sistema operativo iOS. Fonte: elaboração própria, com base em [56].

De modo a evitar-se distrações, o *smartphone* deve, idealmente, estar em modo de voo aquando da realização do teste. Para além disso, a empresa programadora da s2P sugere que a pessoa [5], [57]:

- Esteja sentada e com uma postura correta;
- Mantenha os dois pés assentes no chão;
- Mantenha os braços e costas sem estarem apoiados;
- Segure o aparelho com a mão não dominante e ao nível do abdómen;
- Coloque o dedo indicador dominante a uma distância de um centímetro do ecrã.

A aplicação apresentada encontra-se validada por um estudo conduzido por Brunet *et al.* [54], que concluiu que o teste PVT de três minutos nela realizado constitui uma ferramenta útil para diferenciar os estados de alerta e de sonolência do mesmo indivíduo, sendo tão sensível a alterações relacionadas com a fadiga quanto outros aparelhos desenvolvidos anteriormente, como é o caso do PVT-192.

3.3.2. Actigrafia

A PSG, sendo a técnica mais fiável em estudos de medição do sono, exige a utilização de múltiplos dispositivos de registo fisiológico para avaliar a quantidade e qualidade do sono. No entanto, uma vez que exige supervisão médica, esta técnica destina-se, principalmente, à investigação e ao tratamento de distúrbios do sono [58].

Neste sentido, sendo a PSG uma ferramenta impraticável para a gestão diária da fadiga [58], a actigrafia surge como uma opção alternativa e menos invasiva. O aparelho utilizado nesta técnica (*actiwatch*) contém um acelerómetro que rastreia a frequência dos movimentos do pulso. Estes são, posteriormente, processados por algoritmos que fornecem informação relativa ao ciclo dormir/despertar [59].

O *actiwatch* eleito para este trabalho foi o Readiband™ 5, ilustrado na Figura 26, da *Fatigue Science*, que se encontra validado por Russel *et al.* [59] com uma precisão de 93% relativamente aos dados retirados pela PSG. Este dispositivo tem um ecrã táctil (no qual é mostrado o nível de bateria, a hora local e a identificação do utilizador), uma pulseira ajustável ao tamanho do pulso do indivíduo [5] e uma bateria de 100 mAh (capacidade para um mês de utilização), recarregável através de uma entrada USB 2.0 [60].



Figura 26. *Actiwatch* Readiband™ 5 [58].

Os dados recolhidos pelo Readiband™ 5 podem ser acedidos pelo utilizador através da aplicação *Readi by Fatigue Science* (Figura 27), também disponível para *iOS* e *Android*, e são classificados, para além dos períodos normais de atividade diária, como:

- Sono → Quando os algoritmos detetam atividade mínima durante um certo período de tempo. Contudo, visto que é difícil diferenciar os momentos em que apenas se está sossegadamente deitado daqueles em que a pessoa está efetivamente a dormir, pode ocorrer, ocasionalmente, uma ligeira sobrestimação dos tempos de sono [5], [61];
- Inválidos → Quando os algoritmos detetam um período extenso de atividade extremamente baixa (ou mesmo inexistente), o que sugere que o *actiwatch* foi retirado do pulso [61].



Figura 27. Aplicação *Readi by Fatigue Science* na App Store [62].

Estes dados são expostos num gráfico de 24 horas (das 00:00 h às 24:00 h), como o representado na Figura 28, no qual [5], [61]:

- As linhas verticais pretas representam movimento/atividade;
- As zonas representadas a azul dizem respeito aos períodos de sono. Naturalmente, quanto maior for o movimento captado nesta zona, menor é a quantidade e qualidade do sono → Um valor superior a 0,68, resultante da divisão entre o número de vezes que se acordou durante a noite e o número de horas de sono, é um indicador de má qualidade do sono (um valor indicador de boa qualidade do sono é inferior a 0,37) [63];
- As zonas a cinzento referem-se aos períodos em que o indivíduo está acordado.

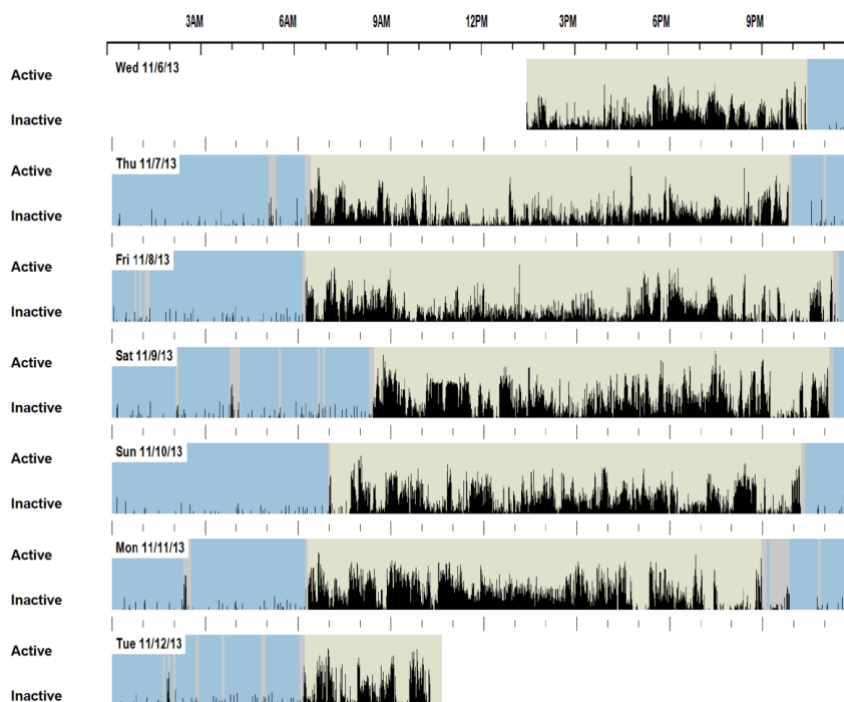


Figura 28. Registo de actigrafia com períodos de sono e atividade. Fonte: adaptado de [61].

Informação como a apresentada na figura anterior é absolutamente fundamental para a posterior aplicação do modelo de fadiga SAFTE™ (*Sleep, Activity, Fatigue and Task Effectiveness*) [61]. Este modelo biomatemático é um dos mais utilizados em pesquisas realizadas na área da fadiga e do desempenho humano, tendo sido testado e validado por diversas entidades, como o *US Army*, o *US Department of Transportation* e a *FAA* [5], [58].

O modelo SAFTE™, após a pessoa utilizar o *Readiband™ 5* por três noites consecutivas, analisa toda a informação recolhida, fornecendo, depois, uma pontuação (de 0 a 100%) conhecida como *SAFTE™ Alertness Score* [5], [58], podendo esta ser observada na Figura 29. Repare-se que, para uma pontuação de 70% (desempenho cognitivo reduzido em 30%), a fadiga afeta o desempenho de forma semelhante a um teor alcoólico no sangue de 0,08% [64]. Na Tabela 6, é mostrado o risco de acidente ou erro grave subjacente a cada pontuação e ao aumento do RT.

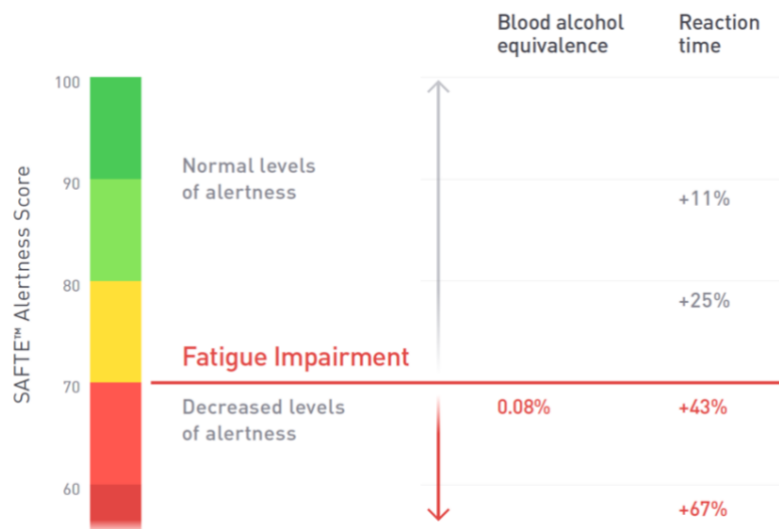


Figura 29. SAFTE™ *Alertness Score* [58].

Tabela 6. Risco de acidente ou erro grave associado à SAFTE™ *Alertness Score* e ao aumento do RT. Fonte: elaboração própria, com base em [58], [63].

| SAFTE™ [%] | Aumento do RT [%] | Risco |
|------------|-------------------|-------------|
| [90;100] | [0;11] | Muito baixo |
| [80;90[|]11;25] | Baixo |
| [70;80[|]25;43] | Elevado |
| [60;70[|]43;67] | Alto |
| [0;60[|]67;100] | Muito alto |

Finalmente, importa ainda salientar que este modelo, analisando o sono e prevendo a progressão dos ritmos circadianos do indivíduo, é capaz de produzir uma série temporal de pontuações de fadiga para o dia seguinte (Figura 30). Desta forma, torna-se possível ter uma noção do momento do dia no qual se atingirão níveis perigosos de fadiga [64].



Figura 30. Evolução da SAFTE™ *Alertness Score* ao longo do dia [58].

3.4. FAID®

O FAID® é uma ferramenta analítica que, tendo em consideração as diretrizes de gestão do risco associado à fadiga de uma organização, auxilia na gestão dos períodos de serviço dos seus colaboradores [65]. Com base em fórmulas testadas e validadas no *Centre for Sleep Research*, da *University of South Australia*, este programa foi criado com o objetivo de avaliar o nível de fadiga a que um trabalhador está exposto durante um determinado turno. O algoritmo tem em consideração, fundamentalmente, fatores como o horário e a duração dos turnos, os tempos de pausa, os períodos de serviço anteriores e a oportunidade para dormir entre os diferentes horários de trabalho [65], [66].

Na indústria da aviação, as tripulações de voo, principalmente as que operam voos L-H, são obrigadas a lidar com múltiplos fusos horários, o que resulta num maior nível de fadiga. Neste sentido, foi desenvolvida uma versão especializada do FAID® que é mais indicada para lidar com os efeitos transmeridianos e que tem por base o modelo FAID® *Time Zone* [43]. Trata-se de um modelo biomatemático que, para além dos fatores mencionados no parágrafo anterior, considera o número de fusos horários atravessados e o sentido do voo (Este – Oeste ou Oeste – Este) [67].

Após introduzidas as informações necessárias, o programa fornece pontuações (FAID® *Score*) que devem ser interpretadas como um indicador do impacto da fadiga na redução do desempenho. Estas pontuações assumem valores de 0 a 150, sendo que quanto maiores

forem os mesmos, maior é o risco associado à fadiga [65], [68]. Por sua vez, e como evidenciado na Tabela 6, a SAFTE™ *Alertness Score* contempla pontuações de 0 a 100%, mas, desta vez, um valor mais elevado corresponde a um menor risco de acidente ou erro grave. Neste sentido, e com o objetivo de tornar mais intuitiva a comparação entre estas duas escalas, optou-se por comprimir e inverter a escala do FAID®, conforme se pode observar na segunda e na terceira coluna da Tabela 7, respetivamente. Assim, é de realçar que os valores referentes à FAID® *Score* apresentados no Capítulo 4 estão de acordo com a terceira coluna da Tabela 7.

Tabela 7. Risco associado à FAID® *Score*, de acordo com a EAA. Fonte: elaboração própria, com base em [68].

| FAID® | Nova escala [%] | Inversão da nova escala [%] | Risco |
|--------------|------------------------|------------------------------------|--------------|
| [120;150] | [80;100] | [0;20] | Extremo |
| [90;120[| [60;80[|]20;40] | Alto |
| [70;90[| [46,67;60[|]40;53,33] | Moderado |
| [0;70[| [0;46,67[|]53,33;100] | Baixo |

3.5. Conclusão

Neste capítulo foram apresentadas não só as metodologias a que se recorreu para avaliar a evolução da fadiga, tanto de forma subjetiva como objetiva, no grupo de indivíduos analisado, mas também a ferramenta utilizada pela EAA no processo de gestão da fadiga das tripulações. Optou-se por este conjunto específico de técnicas porque, além de estarem devidamente validadas e serem sensíveis a alterações que ocorrem como consequência da restrição de sono e da fadiga, a perturbação que causam à tripulação de *cockpit* é mínima, pelo que têm sido frequentemente utilizadas em várias investigações, o que permite dispor de dados para comparação futura [47].

No que diz respeito às técnicas subjetivas (DS e SPS), deve-se ressaltar que os dados recolhidos podem não ser inteiramente fiáveis, uma vez que estão sujeitos à autoavaliação. No entanto, são particularmente úteis na monitorização do sono e da fadiga quando utilizadas em conjunto com outras metodologias (como a PVT e a actigrafia) [10], [47].

Para além das razões mencionadas no primeiro parágrafo, o Readiband™ 5, que, quando comparado à PSG, tem uma precisão de 93% nos dados que recolhe [59], também foi escolhido pelo facto do modelo SAFTE™ ser propriedade exclusiva da *Fatigue Science*, empresa que detém este modelo de *actiwatch* [58].

Capítulo 4

Caso de Estudo

4.1. Introdução

O presente capítulo começa por explicar como foi feita a implementação dos quatro métodos de avaliação da fadiga selecionados, anteriormente expostos em 3.2. e 3.3. Seguidamente, são apresentadas, numa primeira fase, as respostas obtidas no questionário aplicado aos quatro pilotos de linha aérea intervenientes, que abordava, fundamentalmente, a temática da fadiga cognitiva, e, numa segunda, os resultados do trabalho experimental são expostos e discutidos. No que diz respeito à componente experimental, o risco associado à fadiga foi classificado, em termos quantitativos e qualitativos, durante todo o período de recolha de dados, de acordo com:

- Autoavaliação na escala SPS;
- RTs provenientes dos resultados dos testes PVT;
- Modelo biomatemático SAFTE™ (SAFTE™ *Alertness Score*).

Ao longo dos FDPs, ainda se classificou o risco de acordo com o modelo biomatemático FAID® *Time Zone*. Para isto, os valores da FAID® *Score* foram diretamente fornecidos pela EAA, através de relatórios de fadiga dos pilotos envolvidos.

4.2. Implementação

A maioria do material necessário para realização deste estudo foi fornecido aos pilotos de linha aérea, nomeadamente o questionário (ponto 2. do Apêndice I), o DS (ponto 3. do Apêndice I), a Tabela dos Dias de Voo (ponto 4. do Apêndice I) e, naturalmente, o *actiwatch* Readiband™ 5. Os participantes apenas necessitaram de instalar, no seu *smartphone*, as aplicações gratuitas *s2P* e *Readi by Fatigue Science*, através da *App Store* ou *Google Play*.

O questionário era composto por 17 perguntas de resposta rápida, não tendo sido definido um dia específico para o seu preenchimento. Apenas foi solicitado que, no dia em que se fizesse a recolha dos documentos e do *actiwatch* (na sede da EAA), o mesmo estivesse devidamente respondido.

Durante todo o período de recolha de dados, o dia começava com o preenchimento do DS, na secção “Preencher de manhã, ao acordar” (Tabela 8). Para além das informações comuns, como a hora a que se deitaram e levantaram, também era requerido que os pilotos classificassem o seu estado ao acordar, de acordo com a escala SPS, e que fizessem um teste PVT na aplicação s2P (seguindo o procedimento descrito em 3.3.1.). Após esta etapa relacionada com o DS, os participantes sincronizavam o *actiwatch* com a aplicação *Ready by Fatigue Science*, de modo a terem acesso aos dados recolhidos pelo mesmo.

Tabela 8. Secção do DS a preencher de manhã, ao acordar. Fonte: elaboração própria, com base em [5], [50].

| Dia | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|
| Preencher de manhã, ao acordar | | | | | |
| Hora a que se deitou: | | | | | |
| Hora a que se levantou: | | | | | |
| Tempo que demorou até adormecer: | | | | | |
| Número de vezes que acordou durante a noite: | | | | | |
| Como classificaria, de 1 a 7, o seu estado ao acordar (SPS)? | | | | | |
| Resultado do teste PVT (s2P) [ms]: | | | | | |

Nos dias em que os pilotos realizavam um ou mais setores de voo, foi pedido que preenchessem a Tabela dos Dias de Voo (Figura 31). Esta fornecia informações relevantes acerca do FDP, nomeadamente: a data, de modo a poder-se relacionar o desempenho durante o(s) voo(s) com os períodos de sono considerados relevantes; a diferença de fuso horário entre o local de partida e o destino final; as horas de descolagem, no Tempo Universal Coordenado (*Universal Coordinated Time - UTC*); a duração de cada setor. Antes do primeiro setor, os pilotos classificavam o seu estado atual (SPS) e faziam um teste PVT (s2P), anotando os resultados na secção “Antes:”. Estas informações eram atualizadas depois de cada setor, sendo os novos resultados inseridos nas secções “Após:”.

Data: ____ / ____ / 2020

O período de serviço de voo terá início e fim no mesmo local? Sim ____ Não ____

No caso de ter respondido “Não” à pergunta anterior, qual a diferença de fuso horário entre o local de partida e o destino final do período de serviço de voo? + ____ h / - ____ h

| | Setor 1 | | Setor 2 | Setor 3 |
|-----------------------------|-------------|------------|-------------|-------------|
| Hora (UTC) | __ h __ min | ----- | __ h __ min | __ h __ min |
| Duração | __ h __ min | ----- | __ h __ min | __ h __ min |
| Escala SPS (1 a 7) | Antes: ____ | Após: ____ | Após: ____ | Após: ____ |
| Teste PVT (s2P) [ms] | Antes: ____ | Após: ____ | Após: ____ | Após: ____ |

Figura 31. Tabela dos Dias de Voo. Fonte: elaboração própria.

Por último, e novamente ao longo de todo o período de recolha de dados, o dia terminava com o preenchimento do DS, mas, desta vez, na secção “Preencher à noite, ao deitar” (Tabela 9). Tal como acontecia de manhã, os pilotos classificavam o seu estado ao deitar (SPS) e faziam um novo teste PVT (s2P), para além de fornecerem outras informações típicas, como a realização de uma sesta ou a ingestão de cafeína/álcool.

Tabela 9. Secção do DS a preencher à noite, ao deitar. Fonte: elaboração própria, com base em [5], [50].

| Preencher à noite, ao deitar | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|
| Fez uma sesta? Se sim, a que horas e qual a duração? | | | | | |
| Praticou exercício físico? Se sim, a que horas e qual a duração? | | | | | |
| Número de bebidas com cafeína: | | | | | |
| Número de bebidas alcoólicas: | | | | | |
| Número de cigarros: | | | | | |
| Ingeriu uma refeição pesada nas 2/3 horas que antecederam o momento a que se está a deitar? | | | | | |
| Como classificaria, de 1 a 7, o seu estado ao deitar (SPS)? | | | | | |
| Resultado do teste PVT (s2P) [ms]: | | | | | |

Os pilotos mantiveram o *actiwatch* Readiband™ 5 no pulso durante todo o período do estudo (exceto num caso, exposto em 4.4.1.), retirando-o somente para atividades que o

pudessem colocar em contacto direto com água. Todos eles iniciaram a utilização do aparelho, pelo menos, três dias antes do seu primeiro FDP, visto que apenas desta forma seria possível que, no dia do(s) voo(s), o modelo SAFTE™ já tivesse toda a informação necessária para a disponibilização das pontuações referentes à SAFTE™ *Alertness Score*, essenciais para a realização deste trabalho.

Os procedimentos que acabaram de ser descritos podem ser observados, de forma esquemática, nas Figuras 32 e 33, que dizem respeito, respetivamente, aos dias sem e com FDP.

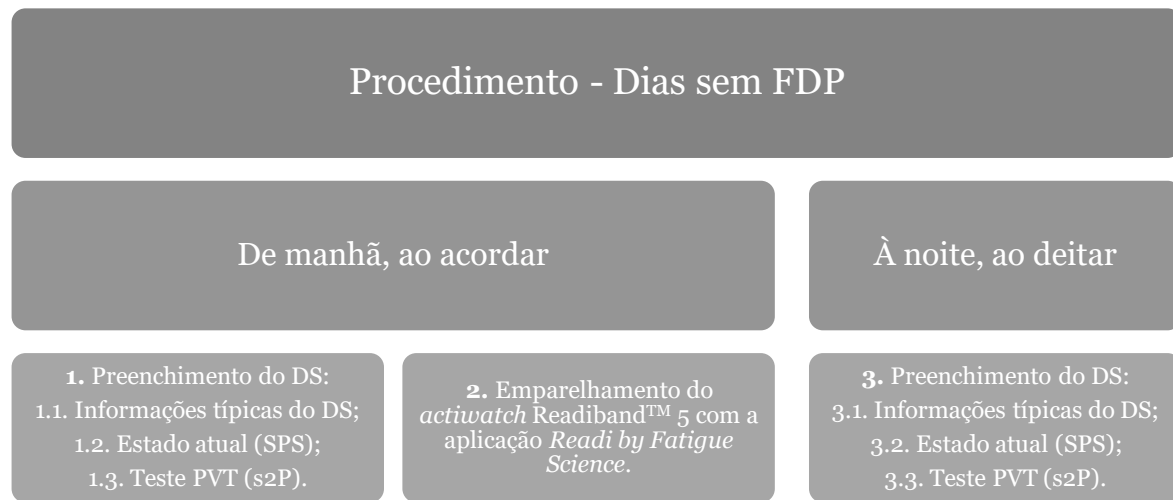


Figura 32. Procedimento a seguir pelos pilotos de linha aérea nos dias sem FDP. Fonte: elaboração própria.



Figura 33. Procedimento a seguir pelos pilotos de linha aérea nos dias com FDP. Fonte: elaboração própria.

4.3. Questionário³ – Resultados Obtidos

As questões 1 a 4 apenas tinham como objetivo dar a conhecer alguns dados sobre os quatro pilotos de linha aérea participantes no estudo. Todos são do género masculino e a sua média de idades situa-se nos 44,75 anos. Em média, possuem a Licença de Piloto de Transporte de Linha Aérea de Aviões, *Airline Transport Pilot License for Aeroplanes* (ATPL(A)), há cerca de 12 anos e realizaram 3400 horas de voo (como pilotos de linha aérea). Todos estes dados podem ser observados, para cada um dos pilotos, na Tabela 10.

Tabela 10. Dados dos pilotos participantes no estudo. Fonte: elaboração própria.

| | Idade | Género | ATPL(A) | Horas de voo |
|-----------------|--------------|---------------|-----------------|---------------------|
| Piloto 1 | 43 anos | Masculino | 15 anos 4 meses | 7000 h |
| Piloto 2 | 45 anos | Masculino | 13 anos | 450 h |
| Piloto 3 | 53 anos | Masculino | 3 anos 9 meses | 1050 h |
| Piloto 4 | 38 anos | Masculino | 16 anos | 5100 h |

Na questão 5, perguntava-se se os pilotos já sentiram, durante a atividade de pilotagem, os efeitos da fadiga cognitiva, ou seja, se alguma vez se aperceberam de uma diminuição geral da atenção e da capacidade de realizar tarefas com a eficiência desejável, o que poderia provocar, por exemplo, o aumento do tempo de reação. Apenas o piloto 2 mencionou que nunca sentiu estes efeitos, os restantes três responderam afirmativamente.

A questão 6 pretendia dar a conhecer os fatores que os pilotos consideram que afetam, de forma negativa, o seu estado de alerta e, conseqüentemente, os seus níveis de desempenho. Foram dadas cinco opções: horas de sono na noite anterior, caféina, nicotina (esta opção não foi relevante, visto que nenhum dos participantes é fumador), álcool e tipo de alimentação. Como se verifica na Tabela 11, só três destas opções foram escolhidas, mas apenas a opção relativa às horas de sono foi unânime.

Tabela 11. Fatores que afetam negativamente o estado de alerta dos pilotos. Fonte: elaboração própria.

| | Piloto 1 | Piloto 2 | Piloto 3 | Piloto 4 |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Horas de sono na noite anterior | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Álcool | | | ✓ | |
| Tipo de alimentação | | ✓ | ✓ | |

³ O questionário pode ser consultado no ponto 2. do Apêndice I.

O propósito da questão 7 era conhecer as medidas que os pilotos adotam, nos dias em que se sentem cansados, para mitigar a fadiga. Os pilotos 1 e 4 não tomam qualquer medida, já os pilotos 2 e 3 referiram que fazem uma sesta para combater os efeitos adversos que dela podem advir.

As três questões seguintes estavam relacionadas com o período de sono dos pilotos. Apesar de todos considerarem que o seu sono é reparador (questão 8), também referiram, sem exceção, que acordam demasiadas vezes durante a noite (questão 10). Relativamente à quantidade de sono obtido por noite (questão 9), os pilotos mencionaram valores entre as 6 e as 8 h, sendo estes apresentados na Tabela 12.

Tabela 12. Quantidade de sono dos pilotos 1, 2, 3 e 4 (questão 9). Fonte: elaboração própria.

| | Piloto 1 | Piloto 2 | Piloto 3 | Piloto 4 |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Horas de sono por noite (em média) | 8 h | 6 h | 8 h | 7,5 h |

A questão 11 abordava a temática do exercício físico. Apenas o piloto 1 referiu que não o pratica regularmente.

As questões 12 a 14, cujas respostas estão presentes na Tabela 13, diziam respeito ao tipo de voo que os pilotos mais operam (transmeridianos ou não) e às suas consequências ao nível da fadiga cognitiva. À exceção do piloto 1, todos sentem os efeitos da fadiga cognitiva de forma mais acentuada após a realização de voos transmeridianos, nos quais ocorrem alterações significativas do fuso horário.

Tabela 13. Voos operados e fadiga cognitiva. Fonte: elaboração própria.

| | Piloto 1 | Piloto 2 | Piloto 3 | Piloto 4 |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Voos operados (questão 12) | | | | |
| Mais voos transmeridianos | | ✓ | ✓ | |
| Mais voos segundo o mesmo meridiano | ✓ | | | ✓ |
| Efeitos mais acentuados da fadiga cognitiva (questões 13 e 14) | | | | |
| Após voos transmeridianos | | ✓ | ✓ | ✓ |
| Após voos segundo o mesmo meridiano | ✓ | | | |

Por último, as questões 15 a 17 eram muito semelhantes às três anteriores, mas, desta vez, remetem o assunto para os FDPs que mais vezes são atribuídos aos pilotos. Como ilustrado na Tabela 14, todos responderam que operam, maioritariamente, apenas um setor por FDP

e, à exceção do piloto 2, referiram que sentem os efeitos da fadiga cognitiva de forma mais acentuada após um FDP composto por mais do que um setor.

Tabela 14. FDPs e fadiga cognitiva. Fonte: elaboração própria.

| | Piloto 1 | Piloto 2 | Piloto 3 | Piloto 4 |
|---|----------|----------|----------|----------|
| FDPs (questão 15) | | | | |
| Mais FDPs com apenas um setor | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Mais FDPs com mais do que um setor | | | | |
| Efeitos mais acentuados da fadiga cognitiva (questões 16 e 17) | | | | |
| Após FDPs com apenas um setor | | ✓ | | |
| Após FDPs com mais do que um setor | ✓ | | ✓ | ✓ |

4.4. Trabalho Experimental – Resultados Obtidos e Discussão

Na Tabela 15, pode observar-se o código de cores utilizado para a apresentação dos resultados obtidos pelos pilotos de linha aérea participantes no estudo e, na Tabela 16, encontram-se os códigos dos aeroportos, e respetiva localização, envolvidos nos setores de voo analisados⁴.

Tabela 15. Código de cores utilizado na apresentação dos resultados. Fonte: elaboração própria.

| Tempo de sono [h] | Despertares por hora de sono | SPS | Aumento do RT [%] | SAFTE™ Alertness Score [%] | FAID® Score [%] |
|-------------------|------------------------------|---------|-------------------|----------------------------|-----------------|
| [0;7[| [0;0,37[| 1, 2, 3 | [0;25] | [80;100] |]53,33;100] |
| [7;9] | [0,37;0,68] | 4, 5 |]25;43] | [70;80[|]40;53,33] |
|]9;+∞[|]0,68;+∞[| 6, 7 |]43;100] | [0;70[| [0;40] |

Tabela 16. Códigos (IATA e ICAO) e localização dos aeroportos. Fonte: elaboração própria, com base em [69].

| País (Cidade) | Código IATA | Código ICAO |
|--------------------------------|-------------|-------------|
| Portugal (Lisboa) | LIS | LPPT |
| Nigéria (Lagos) | LOS | DNMM |
| São Tomé e Príncipe (São Tomé) | TMS | FPST |
| Emirados Árabes Unidos (Dubai) | DWC | OMDW |
| Afganistão (Cabul) | KBL | OAKB |

⁴ Todos os voos analisados foram realizados nos meses de julho e agosto de 2020, ao abrigo do “EASA temporary exemptions under Article 71(1) of Regulation (EU) 2018/1139” e com o respetivo aval da Autoridade Nacional da Aviação Civil (ANAC).

4.4.1. Piloto de Linha Aérea 1

O piloto 1, durante o período de recolha de dados, não relatou, no DS, a realização de sestas, a prática de exercício físico ou a ingestão de bebidas com cafeína/álcool. Relativamente aos hábitos alimentares nas horas que antecederam o momento a que se deitou, ingeriu uma refeição pesada nos dias 1 e 2.

A Tabela 17 expõe os dados referentes à quantidade (tempo de sono) e qualidade (despertares por hora de sono) de sono do piloto 1, obtidos pelo Readiband™ 5. Os valores das noites 9 e 10 não são apresentados, porque o piloto interrompeu a utilização do *actiwacth* na tarde do dia 8, tendo-o colocado novamente apenas na noite 11. Contudo, pelos registos no DS, na noite 9, terá dormido apenas cerca de 01:20 h, valor muito baixo explicado pela realização de um voo na madrugada do dia 9, e, na noite 10, cerca de 10:50 h (o piloto não mencionou qualquer despertar ao longo das duas noites referidas).

Nas noites monitorizadas pelo *actiwacth*, em média, o piloto dormiu 7,2 h, valor que se encontra no intervalo de 7 a 9 h (recomendado para a maioria dos adultos), e despertou 0,62 vezes por cada hora de sono, valor consideravelmente superior a 0,37 e que indica que a qualidade do sono durante este período não foi a melhor. Repare-se que, na noite 16, apesar de ter dormido 7,6 h, o piloto registou a segunda pior qualidade de sono, despertando 1,05 vezes por hora de sono. O contrário também se verificou, pois, na noite 7, embora a quantidade de sono tenha sido ligeiramente inferior à recomendada (6,8 h), o piloto teve um sono com a melhor qualidade possível, não tendo despertado qualquer vez. Assim, quantidade e qualidade de sono nem sempre estão diretamente relacionadas.

Tabela 17. Quantidade e qualidade de sono do piloto 1. Fonte: elaboração própria, com base em [63].

| Noite | Data ⁵ | Tempo de sono [h] | Despertares | Despertares por hora de sono |
|-------|-------------------|-------------------|-------------|------------------------------|
| 1 | (...) | 7,4 | 1 | 0,14 |
| 2 | (...) | 6,8 | 6 | 0,88 |
| 3 | (...) | 9,3 | 6 | 0,65 |
| 4 | (...) | 5,8 | 3 | 0,52 |
| 5 | (...) | 5,8 | 7 | 1,21 |
| 6 | (...) | 6,8 | 5 | 0,74 |
| 7 | (...) | 6,8 | 0 | 0,00 |
| 8 | (...) | 7,3 | 5 | 0,68 |

⁵ Nas tabelas 17 e 18 (piloto 1), 21 e 22 (piloto 2), 25 e 26 (piloto 3), 29 e 30 (piloto 4), as datas foram ocultadas para assegurar a proteção da identidade dos pilotos.

| Noite | Data ⁵ | Tempo de sono [h] | Despertares | Despertares por hora de sono |
|-------|-------------------|-------------------|-------------|------------------------------|
| 9 | (...) | | | |
| 10 | (...) | | | |
| 11 | (...) | 7,7 | 2 | 0,26 |
| 12 | (...) | 6,9 | 5 | 0,72 |
| 13 | (...) | 7,6 | 2 | 0,26 |
| 14 | (...) | 8,8 | 9 | 1,02 |
| 15 | (...) | 5,6 | 3 | 0,54 |
| 16 | (...) | 7,6 | 8 | 1,05 |
| | Média | 7,2 | 4,43 | 0,62 |

A Tabela 18 apresenta os resultados que refletem o desempenho do piloto 1, através da SAFTE™ *Alertness Score*, do RT (teste PVT) e da autoavaliação proveniente da escala SPS. O aumento do RT foi calculado em relação ao melhor resultado obtido: 413 ms, assumido como sendo o RT mais rápido do piloto 1.

Na manhã do dia 1, o piloto não fez o teste PVT, pelo que o resultado não é apresentado. A ausência de valores da SAFTE™ *Alertness Score*, entre os dias 9 e 12, prende-se com o facto de, tal como referido anteriormente, o piloto ter interrompido a utilização do *actiwatch*. Assim, após a nova colocação do aparelho, foram necessárias três noites consecutivas de sono (noites 11, 12 e 13) para que o modelo SAFTE™ conseguisse produzir novas pontuações, que passaram a estar disponíveis a partir do dia 13. O valor médio da SAFTE™ *Alertness Score* foi de 92,90%, enquadrando-se na categoria de risco muito baixo para a ocorrência de acidente ou erro grave. No que diz respeito aos RTs, os valores médios obtidos foram de:

- 487,60 ms, ao acordar → Aumento de 18,06% em relação aos 413 ms;
- 514,25 ms, ao deitar → Aumentos de 24,52 e de 23,32% em relação aos 413 ms e ao melhor resultado nos testes realizados à noite (417 ms), respetivamente.

Tabela 18. Resultados obtidos pelo piloto 1: SAFTE™ *Alertness Score*, SPS e PVT. Fonte: elaboração própria.

| Dia | Data | SAFTE™ [%] | SPS de manhã | SPS à noite | PVT de manhã [ms] | Aumento do RT [%] | PVT à noite [ms] | Aumento do RT [%] |
|-----|-------|------------|--------------|-------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| 1 | (...) | | 5 | 3 | | | 417 | 0,97 |
| 2 | (...) | | 3 | 5 | 535 | 29,54 | 594 | 43,83 |
| 3 | (...) | 98 | 3 | 6 | 523 | 26,63 | 574 | 38,98 |
| 4 | (...) | 91 | 4 | 5 | 520 | 25,91 | 527 | 27,60 |

| Dia | Data | SAFTE™ [%] | SPS de manhã | SPS à noite | PVT de manhã [ms] | Aumento do RT [%] | PVT à noite [ms] | Aumento do RT [%] |
|-----|--------------|---------------|-----------------|----------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| 5 | (...) | 87 | 5 | 5 | 510 | 23,49 | 532 | 28,81 |
| 6 | (...) | 88 | 5 | 6 | 470 | 13,80 | 522 | 26,39 |
| 7 | (...) | 97 | 3 | 3 | 428 | 3,63 | 449 | 8,72 |
| 8 | (...) | 94 | 2 | 5 | 413 | 0,00 | 521 | 26,15 |
| 9 | (...) | | 5 | 7 | 453 | 9,69 | 510 | 23,49 |
| 10 | (...) | | 1 | 4 | 450 | 8,96 | 500 | 21,07 |
| 11 | (...) | | 6 | 5 | 510 | 23,49 | 498 | 20,58 |
| 12 | (...) | | 4 | 5 | 525 | 27,12 | 512 | 23,97 |
| 13 | (...) | 95 | 3 | 5 | 485 | 17,43 | 533 | 29,06 |
| 14 | (...) | 96 | 3 | 6 | 495 | 19,85 | 517 | 25,18 |
| 15 | (...) | 91 | 3 | 5 | 496 | 20,10 | 510 | 23,49 |
| 16 | (...) | 92 | 6 | 5 | 501 | 21,31 | 512 | 23,97 |
| | Média | 92,90 | 3,81 | 5,00 | 487,60 | 18,06 | 514,25 | 24,52 |

Na Figura 34, mostra-se a relação entre a quantidade de sono e o estado do piloto 1 ao acordar, de acordo com a escala SPS (as áreas verde e vermelha representam, respetivamente, o tempo de sono aconselhado, de 7 a 9 h, e o tempo inferior a 7 h). A Figura 35 apresenta uma relação semelhante, mas, desta vez, com a qualidade do sono (as áreas verde e vermelha representam os despertares por hora de sono inferiores a 0,37 e superiores a 0,68, respetivamente; a área amarela representa aqueles entre 0,37 e 0,68, inclusive).

Nos dias 11 e 16, o piloto classificou o seu estado ao acordar com o nível 6 da escala SPS, valor associado a um risco alto para a ocorrência de erro humano. No dia 11, embora se sentisse cansado ao acordar, o piloto dormiu 7,7 h e teve apenas 0,26 despertares por hora de sono, o que indica que o sono foi de boa qualidade. No entanto, e tal como mencionado anteriormente, no dia 16, apesar de ter dormido 7,6 h, registou 1,05 despertares por hora de sono, valor muito superior a 0,68 e que indica a má qualidade do sono.

Já nos dias 2 e 7, o piloto considerou que o seu estado ao acordar se encaixava no nível 3 da escala SPS (risco baixo). No dia 2, a quantidade de sono (6,8 h) esteve muito próxima do valor mínimo recomendado, mas a qualidade foi má, com 0,88 despertares por hora de sono. Contudo, no dia 7, apesar da quantidade de sono ter sido idêntica, a qualidade do mesmo foi muito superior, visto tratar-se da noite em o piloto não despertou qualquer vez.

Os dois exemplos expostos (dias 11 e 16; dias 2 e 7) evidenciam que, apesar das características do sono serem diferentes, o piloto classificou o seu nível de fadiga de igual forma na escala SPS.

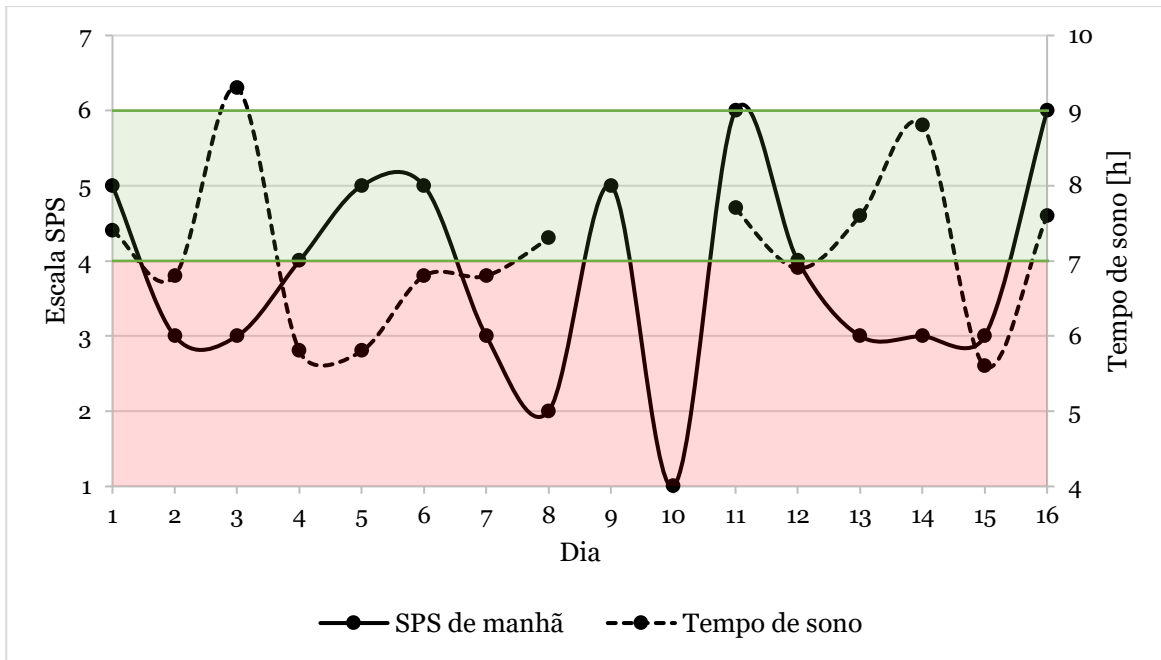


Figura 34. Quantidade de sono e SPS ao acordar (piloto 1). Fonte: elaboração própria.

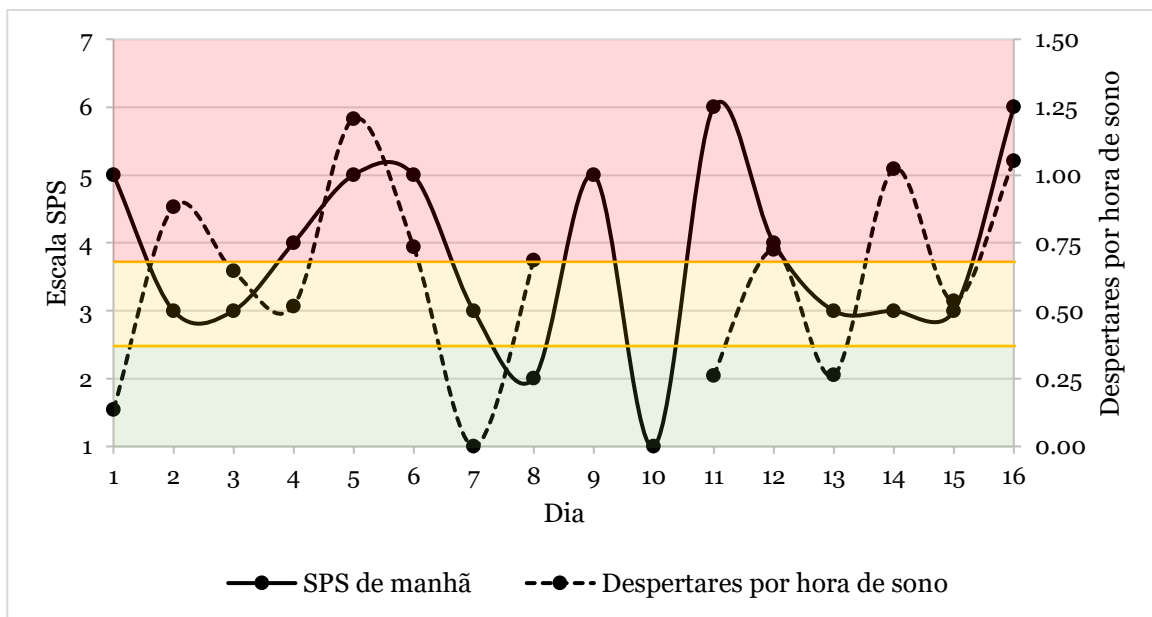


Figura 35. Qualidade do sono e SPS ao acordar (piloto 1). Fonte: elaboração própria.

As Figuras 36 e 37 apresentam a relação entre os resultados obtidos nos testes PVT (realizados ao acordar) e a quantidade e qualidade de sono do piloto 1, respetivamente.

O melhor resultado (413 ms) foi obtido na manhã do dia 8, depois de uma noite de sono com duração de 7,3 h e com 0,68 despertares por hora de sono, sendo 15,30% inferior ao valor médio dos RTs avaliados ao acordar (487,60 ms). O segundo melhor registou-se no dia 7, após o único período de sono ininterrupto. O resultado foi de 428 ms, 3,63% superior aos 413 ms e 12,22% inferior aos 487,60 ms.

Relativamente aos piores resultados, estes ocorreram nas manhãs dos dias 2 e 12, após tempos de sono próximos das 7 h (6,8 e 6,9 h, respetivamente), mas com uma má qualidade, onde foram registados 0,88 e 0,72 despertares por hora de sono, respetivamente. No dia 2, o RT foi de 535 ms, 29,54% superior ao melhor resultado e 9,72% superior ao valor médio de 487,60 ms. Já no dia 12, o resultado alcançado foi de 525 ms, sendo 27,12% superior aos 413 ms e 7,67% superior ao valor médio.

Desta forma, fazendo a avaliação do risco pelos RTs resultantes da realização dos testes PVT ao acordar, houve dias em que o risco de acidente ou erro grave era muito baixo (por exemplo, o dia 7), uma vez que não se ultrapassou o limite dos 11% de aumento em relação ao RT mais rápido do piloto, mas também houve situações em que esse risco era elevado (por exemplo, os dias 2 e 12), visto ter-se ultrapassado o limite dos 25%. Na primeira tabela do Apêndice II, pode ser consultado o risco associado a todos os RTs do piloto 1.

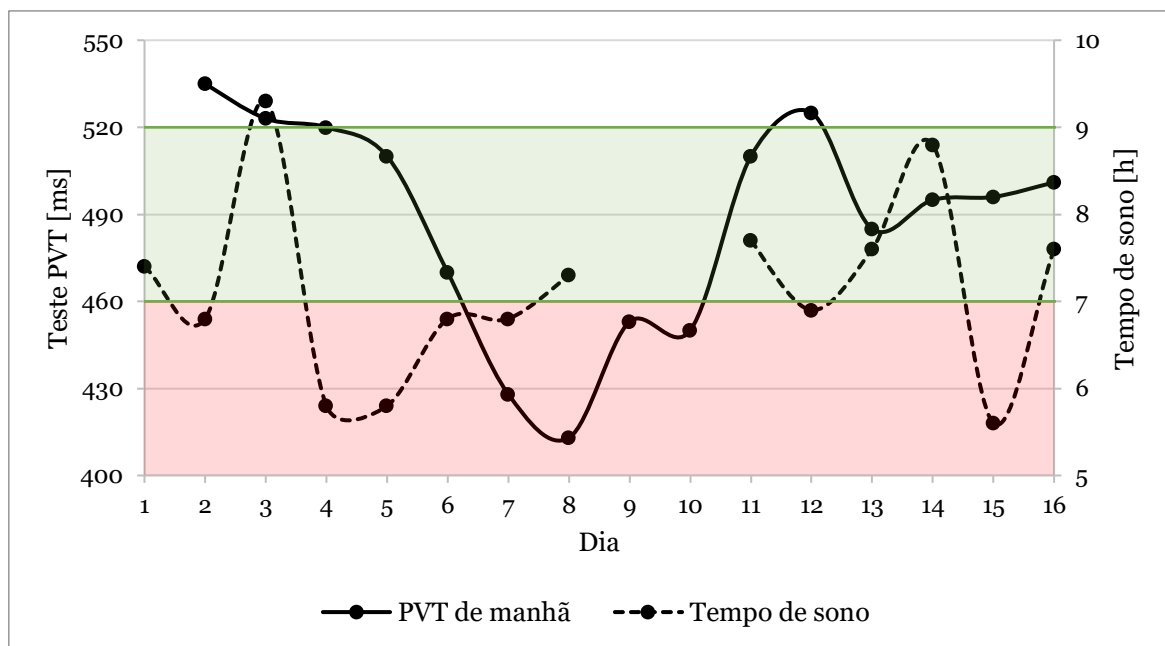


Figura 36. Quantidade de sono e PVT ao acordar (piloto 1). Fonte: elaboração própria.

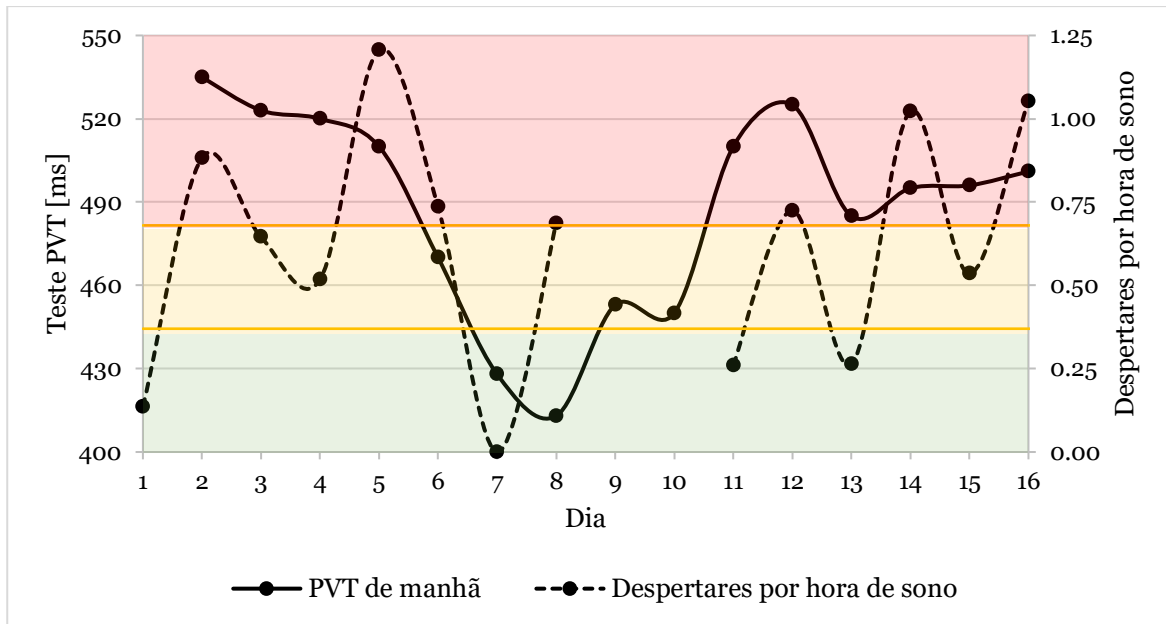


Figura 37. Qualidade do sono e PVT ao acordar (piloto 1). Fonte: elaboração própria.

A partir da Figura 38, é possível comparar, para o piloto 1, os dados objetivos resultantes da realização dos testes PVT e os subjetivos provenientes da escala SPS, tanto de manhã (ao acordar) como à noite (ao deitar).

Como se pode verificar, na grande maioria dos dias (dias 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 14, 15 e 16), foi possível observar um aumento do RT entre o período da manhã e o da noite, sendo este aumento frequentemente acompanhado por um aumento do nível escolhido na escala SPS, o que mostra que o piloto estava consciente da deterioração do seu estado de alerta. Ocorreu uma diminuição do RT apenas nos dias 11 e 12. No primeiro caso, o RT à noite (498 ms) foi 2,35% inferior ao registado de manhã (510 ms), sendo este ligeiro decréscimo acompanhado por uma diminuição de 6 (risco alto) para 5 (risco moderado) na escala SPS. No segundo caso, o resultado do teste PVT feito à noite (512 ms) foi 2,48% menor que o valor registado ao acordar (525 ms), mas, apesar disto, o piloto classificou o seu estado ao deitar com um nível 5 na escala SPS, superior ao 4 (risco moderado) registado ao acordar.

Verificou-se, também, que a manhã do dia 10 foi a única na qual o piloto classificou o seu estado ao acordar com o nível mais baixo da escala SPS (nível 1, risco baixo). No entanto, não foi neste dia que registou o melhor RT depois do período de sono. Aconteceu algo semelhante na noite do dia 9, na qual, embora o piloto tenha classificado o seu estado ao adormecer com o nível mais alto da escala SPS (nível 7, risco muito alto), não foi obtido o pior resultado dos testes PVT feitos à noite. Este ocorreu na noite do dia 2, após a ingestão de uma refeição pesada, relatada no DS, tendo o valor de 594 ms, que corresponde a um aumento de 43,83% em relação ao melhor resultado (o risco de acidente ou erro grave era

alto, uma vez que se ultrapassou o limite dos 43% de aumento do RT) e de 15,51% relativamente ao valor médio dos resultados dos testes PVT realizados à noite (514,25 ms).

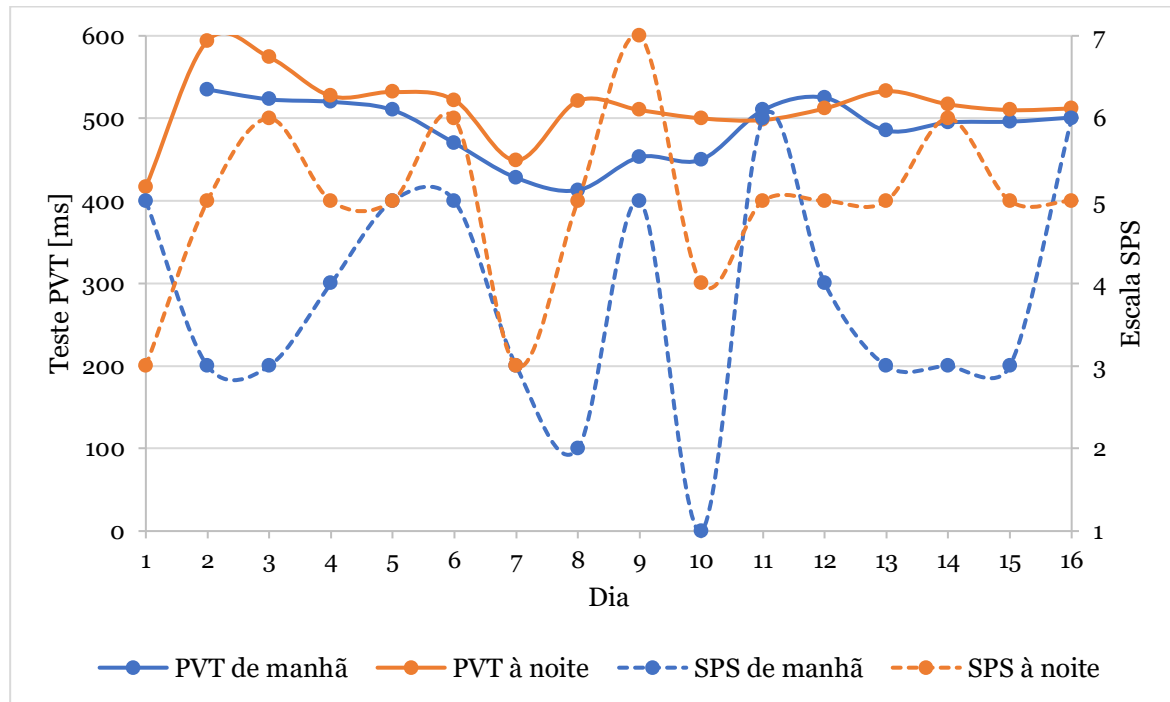


Figura 38. SPS e PVT ao acordar e ao deitar (piloto 1). Fonte: elaboração própria.

4.4.1.1. Período de Serviço de Voo 1.1.

No dia 4, o piloto 1 realizou dois setores, LIS – LOS e LOS – LIS, conforme se pode observar na Figura 39. Na noite imediatamente anterior a este FDP (noite 4), o piloto dormiu 5,8 h e registou 0,52 despertares por hora de sono, o que significa que tanto a quantidade como a qualidade do sono ficaram fora dos valores aconselhados. Ao acordar, o piloto classificou o seu estado com o nível 4 (risco moderado) da escala SPS, tendo obtido, no teste PVT, um resultado de 520 ms, sendo este 25,91 e 6,64% superior aos 413 e aos 487,60 ms, respetivamente.



Figura 39. Setores LIS – LOS e LOS – LIS [69].

Ao iniciar o primeiro setor (LIS – LOS), o piloto sentia-se mais cansado do que ao acordar, visto que passou a classificar o seu estado, de acordo com a escala SPS, com o nível 5, valor associado a um risco moderado para a ocorrência de erro humano. De facto, verificou-se um ligeiro aumento no RT, passando a ser de 533 ms, ao qual corresponde um aumento de 2,50% em relação ao valor registado de manhã e de 29,06% em relação ao seu RT mais rápido. Após este setor, o piloto classificou o seu estado com o nível 6 da escala SPS (risco alto) e o RT teve, novamente, um pequeno aumento, sendo agora de 541 ms, apenas 1,50% superior ao registado antes do voo, mas 30,99% superior aos 413 ms. Como se compreende, fazendo a avaliação pelos resultados dos testes PVT, o piloto iniciou e terminou este setor com um risco elevado de acidente ou erro grave, uma vez que o aumento do RT ultrapassou o limite dos 25%.

Depois do segundo setor (LOS – LIS), a fadiga percebida pelo piloto não sofreu alterações, pois continuou a ser classificada com o nível 6 da escala SPS. No entanto, desta vez, observou-se uma melhoria no RT, que, sendo de 522 ms, é 2,06 e 3,51% inferior aos registados antes e depois do primeiro setor, respetivamente. Contudo, sendo 26,39% superior aos 413 ms, o risco de acidente ou erro grave manteve-se elevado.

Relativamente ao modelo SAFTE™, antes do início do voo LIS – LOS, a pontuação produzida pelo mesmo era de 92,7%, ou seja, o risco para a ocorrência de acidente ou erro grave era muito baixo. No entanto, após este setor, a pontuação passou a ser de 89,7%, o que significa que houve um aumento do risco, passando este a ser baixo. No final do segmento LOS – LIS, a SAFTE™ *Alertness Score* não registou uma alteração assinalável (o

risco manteve-se baixo). De acordo com este modelo biomatemático, a redução do desempenho cognitivo do piloto, ao longo da operação, foi de 4,3%.

Finalmente, de acordo com o *software* FAID®, o risco associado à fadiga, tanto no final do primeiro setor como no final do segundo, era baixo. No entanto, a FAID® *Score* diminuiu de 94,17 para 83,35%.

Na Tabela 19, podem observar-se os resultados obtidos pelo piloto 1 durante os dois setores de voo. A variação no RT ali apresentada foi calculada em relação ao valor registado antes do primeiro setor (533 ms).

Tabela 19. Desempenho do piloto 1 nos setores LIS – LOS e LOS – LIS. Fonte: elaboração própria.

| | Setor LIS – LOS | | Setor LOS – LIS |
|---------------------------|-----------------|--------------|-----------------|
| Hora (UTC) | 09:10 h | | 17:50 h |
| Duração | 05:10 h | | 04:55 h |
| Escala SPS | Antes: 5 | Após: 6 | Após: 6 |
| Teste PVT [ms] | Antes: 533 | Após: 541 | Após: 522 |
| Variação no RT [%] | | Após: + 1,50 | Após: - 2,06 |
| SAFTE™ [%] | Antes: 92,7 | Após: 89,7 | Após: 88,4 |
| FAID® [%] | | Após: 94,17 | Após: 83,35 |

4.4.1.2. Período de Serviço de Voo 1.2.

No dia 16, o piloto 1 realizou um setor, TMS – LIS, como ilustrado na Figura 40. As características da noite imediatamente anterior a este FDP (noite 16) foram expostas no início da secção 4.4.1. Ao acordar, o piloto considerou que o seu estado se enquadrava no nível 6 da escala SPS, nível que está associado a um risco alto para a ocorrência de erro humano, e obteve um RT de 501 ms, sendo este 21,31 e 2,75% superior aos 413 e aos 487,60 ms, respetivamente.

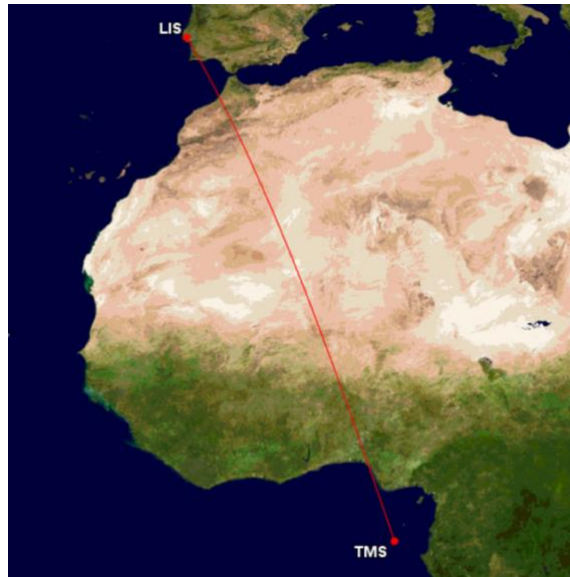


Figura 40. Setor TMS – LIS [69].

Antes do início do voo, o piloto sentia-se consideravelmente menos cansado do que quando acordou, uma vez que passou a classificar o seu estado com um 2 (risco baixo) na escala SPS. Associada a esta diminuição da fadiga percebida pelo piloto, esteve uma melhoria de 1,60% no resultado do teste do PVT, que diminuiu de 501 para 493 ms, sendo, no entanto, 19,37% superior ao seu RT mais rápido. Após o voo, o piloto sentiu um maior nível de fadiga, classificando-o com o nível 4 (risco moderado) da escala SPS. O seu RT passou a ser de 514 ms, que corresponde a um aumento de 4,26% em relação ao resultado do teste realizado antes do início do setor e de 24,46% em relação aos 413 ms. Desta forma, avaliando pelos resultados dos testes PVT, o piloto iniciou e terminou este setor com um risco baixo de acidente ou erro grave, uma vez que o aumento do RT ultrapassou o limite dos 11%.

No que diz respeito ao modelo SAFTE™, antes do início do voo, a pontuação produzida pelo mesmo era de 93,9%, o que significa que o risco para a ocorrência de acidente ou erro grave era muito baixo. No final do voo, a pontuação referente à SAFTE™ *Alertness Score* era muito próxima da anterior (o risco manteve-se muito baixo), ou seja, de acordo com este modelo biomatemático, o desempenho cognitivo do piloto, ao longo da operação, não sofreu uma alteração importante.

Finalmente, de acordo com o *software* FAID®, o risco associado à fadiga, no final do setor, era baixo, sendo a FAID® *Score* de 93,78%.

A Tabela 20 apresenta os resultados que refletem o desempenho do piloto 1 durante o setor realizado (novamente, a variação no RT ali apresentada foi calculada em relação ao registado antes do primeiro setor, 493 ms).

Tabela 20. Desempenho do piloto 1 no setor TMS – LIS. Fonte: elaboração própria.

| | Setor TMS – LIS | |
|---------------------------|------------------------|--------------|
| Hora (UTC) | 13:00 h | |
| Duração | 05:25 h | |
| Escala SPS | Antes: 2 | Após: 4 |
| Teste PVT [ms] | Antes: 493 | Após: 514 |
| Variação no RT [%] | | Após: + 4,26 |
| SAFTE™ [%] | Antes: 93,9 | Após: 94,7 |
| FAID® [%] | | Após: 93,78 |

Nas duas últimas tabelas do Apêndice II, pode ser observado, de forma sintetizada, o risco associado aos três voos realizados pelo piloto 1.

4.4.2. Piloto de Linha Aérea 2

O piloto 2, durante o período de recolha de dados, relatou, no DS, a realização de sestas e o consumo de bebidas com cafeína (média de 0,94 bebidas por dia; ver Apêndice III). A ingestão de bebidas alcoólicas, de refeições pesadas nas horas que antecederam o momento a que se deitou e a prática de exercício físico não foram consideradas relevantes.

A Tabela 21 expõe os dados referentes à quantidade (tempo de sono) e qualidade (despertares por hora de sono) de sono do piloto 2, obtidos pelo Readiband™ 5. Os valores da noite 4 diferem muito dos restantes, porque, na manhã do dia 4, o piloto tentou editar os dados do sono na aplicação s2P, o que fez com que se perdesse a informação referente ao número de despertares durante a noite (e, conseqüentemente, os despertares por hora de sono). Contudo, no DS, o piloto registou dois despertares nesta mesma noite, mas não foi possível quantificar o tempo que demorou a voltar a adormecer.

Nas noites monitorizadas pelo *actiwacth*, em média, o piloto dormiu 5,2 h, valor que se encontra abaixo do mínimo de 7 h (recomendado para a maioria dos adultos), e despertou 1,19 vezes por cada hora de sono, valor consideravelmente superior a 0,68 e que reflete a má qualidade do sono durante este período. Repare-se que, na noite 13, o piloto teve um sono com duração de 4,9 h, registando 2,24 despertares por hora de sono, que corresponde à pior qualidade por ele alcançada no período de recolha de dados. Já na noite 17, embora a quantidade de sono tenha sido ainda mais reduzida (2,2 h), o piloto registou uma

qualidade de sono muito superior, despertando 0,45 vezes por hora de sono (no entanto, este valor ainda é superior a 0,37, pelo que não indica que o sono foi de boa qualidade). Desta forma, verifica-se, novamente, que quantidade e qualidade de sono nem sempre estão diretamente relacionadas.

Tabela 21. Quantidade e qualidade de sono do piloto 2. Fonte: elaboração própria, com base em [63].

| Noite | Data | Tempo de sono [h] | Despertares | Despertares por hora de sono |
|-------|--------------|-------------------|-------------|------------------------------|
| 1 | (...) | 5,3 | 6 | 1,13 |
| 2 | (...) | 6,7 | 11 | 1,64 |
| 3 | (...) | 5,6 | 7 | 1,25 |
| 4 | (...) | 8,5 | 0 | 0,00 |
| 5 | (...) | 4,6 | 2 | 0,43 |
| 6 | (...) | 3,1 | 6 | 1,94 |
| 7 | (...) | 3,1 | 2 | 0,65 |
| 8 | (...) | 5,8 | 6 | 1,03 |
| 9 | (...) | 4,9 | 10 | 2,04 |
| 10 | (...) | 6,8 | 12 | 1,76 |
| 11 | (...) | 4,7 | 7 | 1,49 |
| 12 | (...) | 6,2 | 7 | 1,13 |
| 13 | (...) | 4,9 | 11 | 2,24 |
| 14 | (...) | 6,4 | 8 | 1,25 |
| 15 | (...) | 4,6 | 3 | 0,65 |
| 16 | (...) | 4,5 | 6 | 1,33 |
| 17 | (...) | 2,2 | 1 | 0,45 |
| 18 | (...) | 6,3 | 6 | 0,95 |
| | Média | 5,2 | 6,17 | 1,19 |

A Tabela 22 apresenta os resultados que refletem o desempenho do piloto 2, através da SAFTE™ *Alertness Score*, do RT (teste PVT) e da autoavaliação proveniente da escala SPS. Tal como no caso do piloto 1, o aumento do RT foi calculado em relação ao melhor resultado obtido: 157 ms, assumido como sendo o RT mais rápido do piloto 2.

O valor médio da SAFTE™ *Alertness Score* foi de 76,56%, enquadrando-se na categoria de risco elevado para a ocorrência de acidente ou erro grave, o que, tendo em conta o fraco padrão de sono deste piloto, seria expectável. No que diz respeito aos RTs, os valores médios obtidos foram de:

- 191,22 ms, ao acordar → Aumentos de 21,80 e de 14,50% em relação aos 157 ms e ao melhor resultado nos testes realizados de manhã (167 ms), respetivamente;

- 179,56 ms, ao deitar → Aumento de 14,37% em relação aos 157 ms.

Tabela 22. Resultados obtidos pelo piloto 2: SAFTE™ Alertness Score, SPS e PVT. Fonte: elaboração própria.

| Dia | Data | SAFTE™ [%] | SPS de manhã | SPS à noite | PVT de manhã [ms] | Aumento do RT [%] | PVT à noite [ms] | Aumento do RT [%] |
|-----|--------------|------------|--------------|-------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| 1 | (...) | | 4 | 3 | 216 | 37,58 | 191 | 21,66 |
| 2 | (...) | | 3 | 4 | 182 | 15,92 | 164 | 4,46 |
| 3 | (...) | 86 | 4 | 3 | 211 | 34,39 | 187 | 19,11 |
| 4 | (...) | 89 | 3 | 3 | 167 | 6,37 | 158 | 0,64 |
| 5 | (...) | 86 | 2 | 5 | 183 | 16,56 | 192 | 22,29 |
| 6 | (...) | 77 | 3 | 2 | 207 | 31,85 | 168 | 7,01 |
| 7 | (...) | 67 | 4 | 3 | 183 | 16,56 | 157 | 0,00 |
| 8 | (...) | 77 | 4 | 3 | 219 | 39,49 | 184 | 17,20 |
| 9 | (...) | 74 | 4 | 4 | 183 | 16,56 | 187 | 19,11 |
| 10 | (...) | 77 | 3 | 2 | 187 | 19,11 | 203 | 29,30 |
| 11 | (...) | 75 | 3 | 3 | 207 | 31,85 | 182 | 15,92 |
| 12 | (...) | 79 | 3 | 4 | 182 | 15,92 | 197 | 25,48 |
| 13 | (...) | 75 | 3 | 4 | 193 | 22,93 | 207 | 31,85 |
| 14 | (...) | 79 | 3 | 2 | 197 | 25,48 | 157 | 0,00 |
| 15 | (...) | 76 | 2 | 4 | 170 | 8,28 | 161 | 2,55 |
| 16 | (...) | 72 | 2 | 3 | 175 | 11,46 | 167 | 6,37 |
| 17 | (...) | 63 | 3 | 4 | 199 | 26,75 | 178 | 13,38 |
| 18 | (...) | 73 | 3 | 4 | 181 | 15,29 | 192 | 22,29 |
| | Média | 76,56 | 3,11 | 3,33 | 191,22 | 21,80 | 179,56 | 14,37 |

As Figuras 41 e 42 apresentam a relação entre a quantidade e qualidade de sono do piloto 2 e o seu estado ao acordar, de acordo com a escala SPS, respetivamente.

Nos dias 5, 15 e 16, o piloto classificou o seu estado ao acordar com o nível 2 da escala SPS, valor associado a um risco baixo para a ocorrência de erro humano. Nestes três dias, o tempo de sono registado foi muito semelhante, entre as 4,5 e as 4,6 h, observando-se uma maior diferença na qualidade do sono. No dia 16, o piloto registou 1,33 despertares por hora de sono, o que indica que o sono foi de má qualidade. No entanto, apesar da qualidade ter sido consideravelmente pior que aquela registada nos dias 5 e 15 (com 0,43 e 0,65 despertares por hora de sono, respetivamente), não se revelou suficiente para que a fadiga percebida pelo piloto fosse classificada com um nível mais elevado da escala SPS.

Como referido anteriormente, no dia 13, foi registado o período de sono com a pior qualidade, com 2,24 despertares por hora de sono, e, no dia 17, aquele com a menor duração, somente 2,2 h. Apesar disto, o nível 4 da escala SPS, o mais elevado que o piloto utilizou para classificar o seu estado ao acordar (e que corresponde a um risco moderado), não foi atribuído em nenhum destes dois dias. O piloto optou pelo nível 3 (risco baixo).

Novamente, os dois exemplos expostos (dias 5, 15 e 16; dias 13 e 17) evidenciam que, apesar das características do sono serem tão diferentes, o piloto classificou o seu nível de fadiga de igual forma na escala SPS.

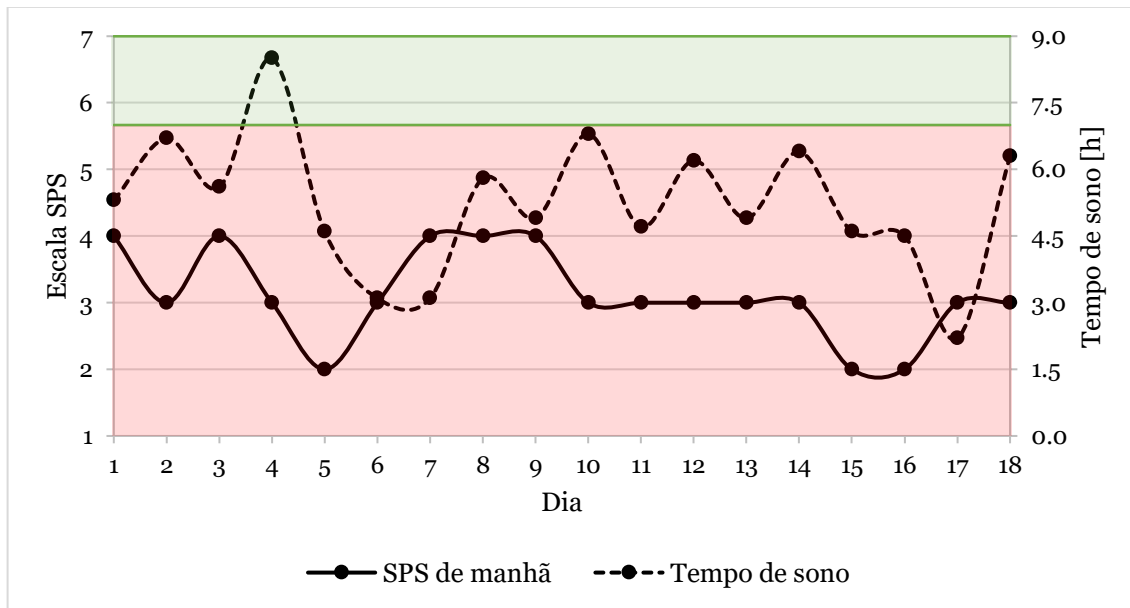


Figura 41. Quantidade de sono e SPS ao acordar (piloto 2). Fonte: elaboração própria.

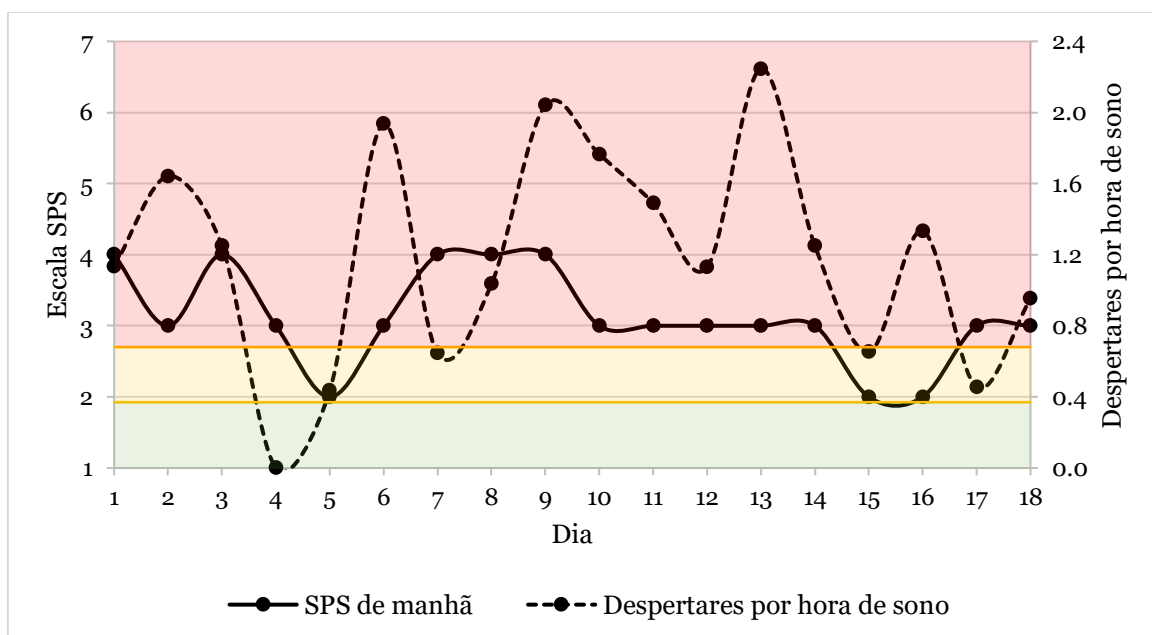


Figura 42. Qualidade do sono e SPS ao acordar (piloto 2). Fonte: elaboração própria.

As Figuras 43 e 44 apresentam a relação entre os resultados obtidos nos testes PVT (realizados ao acordar) e a quantidade e qualidade de sono do piloto 2, respetivamente.

Na manhã do dia 4, foi obtido um RT de 167 ms, o mais rápido de todos os registados após o sono, sendo 6,37% superior ao melhor resultado (157 ms) e 12,67% menor que o valor médio dos RTs avaliados ao acordar (191,22 ms). Relativamente ao pior resultado, este ocorreu na manhã do dia 8, após uma noite onde tanto a quantidade (5,8 h) como a qualidade (1,03 despertares por hora de sono) do sono ficaram fora dos valores aconselhados. O resultado foi de 219 ms, 39,49% superior aos 157 ms e 14,53% superior aos 191,22 ms.

Desta forma, fazendo a avaliação do risco pelos RTs resultantes da realização dos testes PVT ao acordar, houve dias em que o risco de acidente ou erro grave era muito baixo (por exemplo, o dia 4), uma vez que não se ultrapassou o limite dos 11% de aumento em relação ao RT mais rápido do piloto, mas também houve situações em que esse risco era elevado (por exemplo, o dia 8), visto ter-se ultrapassado o limite dos 25%. Na primeira tabela do Apêndice IV, pode ser consultado o risco associado a todos os RTs do piloto 2.

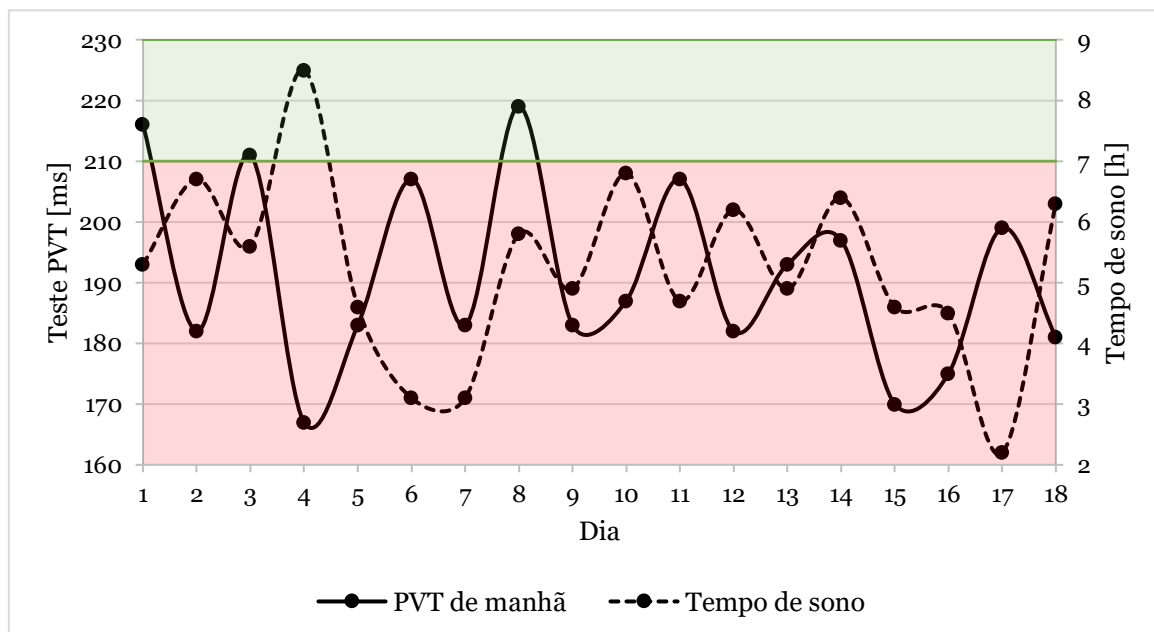


Figura 43. Quantidade de sono e PVT ao acordar (piloto 2). Fonte: elaboração própria.

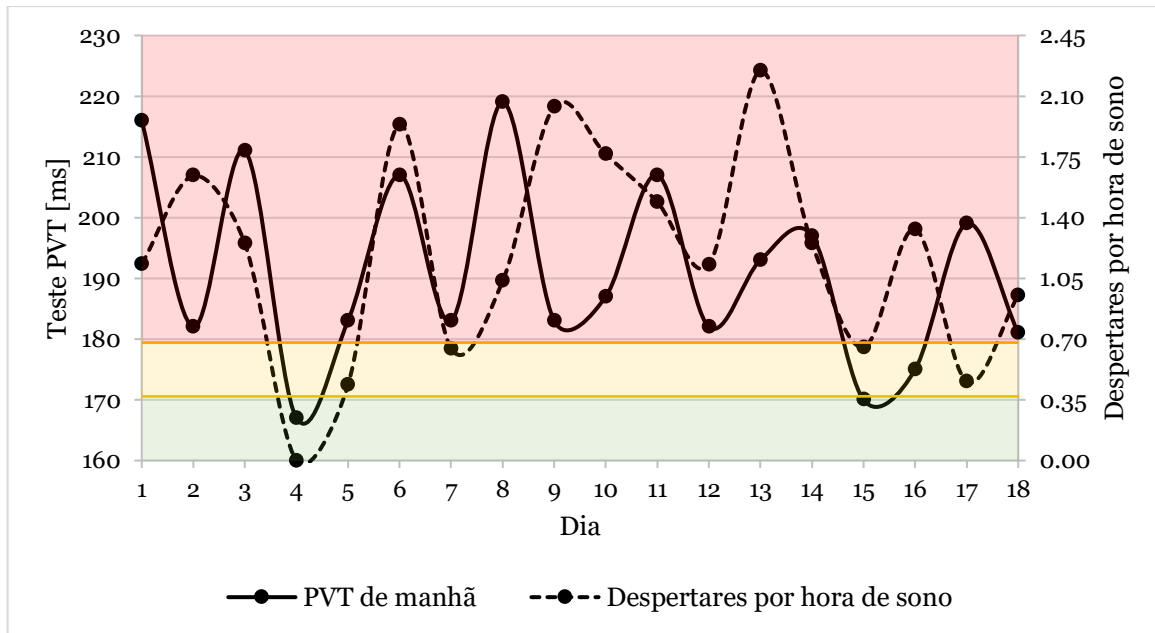


Figura 44. Qualidade do sono e PVT ao acordar (piloto 2). Fonte: elaboração própria.

A partir da Figura 45, é possível comparar, para o piloto 2, os dados objetivos resultantes da realização dos testes PVT e os subjetivos provenientes da escala SPS, tanto de manhã (ao acordar) como à noite (ao deitar).

Como se pode verificar, e contrariamente ao que ocorreu com o piloto 1, foi possível observar, na maioria dos dias (dias 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 11, 14, 15, 16 e 17), uma diminuição do RT entre o período da manhã e o da noite. No entanto, esta melhoria apenas foi acompanhada por uma diminuição do nível escolhido na escala SPS em metade destes dias (dias 1, 3, 6, 7, 8 e 14), o que pode indicar que o piloto não é o melhor juiz do seu próprio estado de alerta. Por exemplo, no dia 15, apesar do resultado do teste PVT feito ao acordar (170 ms) ser 5,6% superior ao alcançado à noite (161 ms), o piloto aumentou a classificação do seu grau de fadiga, na escala SPS, de 2 (risco baixo) para 4 (risco moderado).

Conseguiu-se verificar que, apesar desta melhoria não acontecer somente nestes dias, o RT do piloto diminuiu sempre que este relatou, no DS, que fez uma sesta, nomeadamente:

- Dia 3 → Sesta de 30 minutos → RT à noite (187 ms) foi 11,37% inferior ao registado de manhã (211 ms);
- Dia 7 → Sesta de 50 minutos → RT à noite (157 ms) foi 14,21% inferior ao registado de manhã (183 ms);
- Dia 11 → Sesta de 50 minutos → RT à noite (182 ms) foi 12,08% inferior ao registado de manhã (207 ms);

- Dia 17 → Sesta de 35 minutos → RT à noite (178 ms) foi 10,55% inferior ao registado de manhã (199 ms).

É importante realçar que o RT mais rápido deste piloto (157 ms), além de ter sido alcançado na noite do dia 7, como mencionado anteriormente, também foi atingido na noite do dia 14, que corresponde ao único dia em que o piloto consumiu duas bebidas com cafeína (nos restantes dias, este consumo foi sempre menor). Este foi o dia em que se verificou uma maior melhoria entre os RTs registados de manhã (197 ms) e à noite, num decréscimo total de 20,30%. Assim, é muito provável que a cafeína tenha desempenhado um papel relevante na melhoria do desempenho cognitivo do piloto.

Relativamente aos dias em que ocorreu um aumento do RT, uma das diferenças mais significativas deu-se no dia 12, verificando-se um aumento de 8,24% do RT entre o período da manhã (182 ms) e o da noite (197 ms). Contudo, e contrariamente ao que seria esperado, o piloto classificou o seu estado à noite com o nível 4 da escala SPS, superior ao 3 (risco baixo) registado ao acordar.

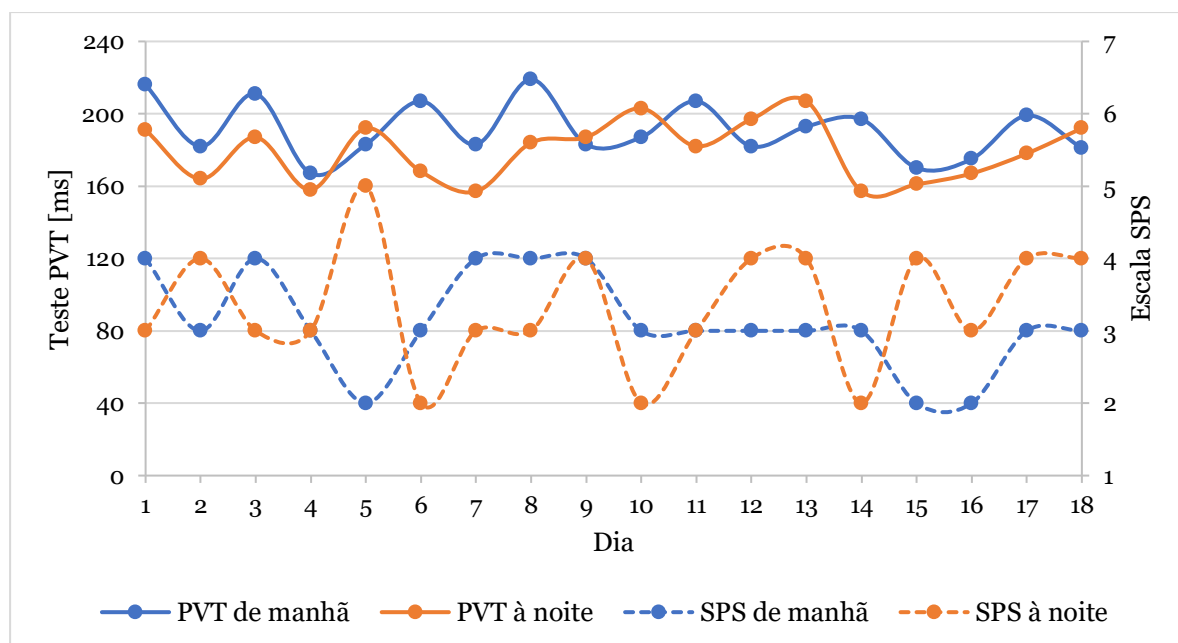


Figura 45. SPS e PVT ao acordar e ao deitar (piloto 2). Fonte: elaboração própria.

4.4.2.1. Período de Serviço de Voo 2.1.

No dia 4, o piloto 2 realizou dois setores, LIS – LOS e LOS – LIS (Figura 39), tal como o piloto 1. As características da noite imediatamente anterior a este FDP (noite 4) foram expostas no início da secção 4.4.2. Ao acordar, o piloto classificou o seu estado com o nível 3 (risco baixo) da escala SPS, tendo obtido, no teste PVT, um resultado de 167 ms, que, tal

como referido anteriormente, é 6,37% superior aos 157 ms e 12,67% inferior aos 191,22 ms, respetivamente.

Ao iniciar o primeiro setor (LIS – LOS), o piloto sentia-se menos cansado do que ao acordar, visto que passou a classificar o seu estado, de acordo com a escala SPS, com o nível 2, valor associado a um risco baixo para a ocorrência de erro humano. Apesar disto, verificou-se um aumento no RT, passando a ser de 187 ms, ao qual corresponde um aumento de 11,98% em relação ao valor registado de manhã e de 19,11% em relação ao seu RT mais rápido. Após este setor, o piloto voltou a classificar o seu estado com o nível 3 da escala SPS. Contudo, desta vez, o RT teve uma pequena melhoria, sendo agora de 174 ms, ou seja, 6,95% inferior ao registado antes do voo e 10,83% superior aos 157 ms. Como se compreende, fazendo a avaliação pelos resultados dos testes PVT, o piloto iniciou este setor com um risco baixo de acidente ou erro grave, uma vez que o aumento do RT ultrapassou o limite dos 11%, mas terminou-o com um risco muito baixo, visto que não se atingiu o referido limite.

Depois do segundo setor (LOS – LIS), a fadiga percecionada pelo piloto sofreu uma alteração significativa, passando a ser classificada com o nível 5 (risco moderado) da escala SPS. De facto, observou-se um aumento do RT, que, sendo de 193 ms, é 3,21 e 10,92% superior aos registados antes e depois do primeiro setor, respetivamente. Contudo, sendo 22,93% superior aos 157 ms, o risco de acidente ou erro grave aumentou, passando de muito baixo para baixo.

Relativamente ao modelo SAFTE™, antes do início do voo LIS – LOS, a pontuação produzida pelo mesmo era de 91,3%, ou seja, o risco para a ocorrência de acidente ou erro grave era muito baixo. No entanto, após este setor, a pontuação passou a ser de 88,2%, o que significa que houve um aumento do risco, passando este a ser baixo. No final do segmento LOS – LIS, a SAFTE™ *Alertness Score* registou uma alteração assinalável, passando a ser de 79,0% (o risco passou a ser elevado). De acordo com este modelo biomatemático, a redução do desempenho cognitivo do piloto, ao longo da operação, foi de 12,3%.

Finalmente, de acordo com o *software* FAID®, o risco associado à fadiga, tanto no final do primeiro setor como no final do segundo, era baixo. No entanto, a FAID® *Score* diminuiu de 94,33 para 83,35%.

Na Tabela 23, podem observar-se os resultados obtidos pelo piloto 2 durante os dois setores de voo. A variação no RT ali apresentada foi calculada em relação ao registado antes do primeiro setor (187 ms).

Tabela 23. Desempenho do piloto 2 nos setores LIS – LOS e LOS – LIS. Fonte: elaboração própria.

| | Setor LIS – LOS | | Setor LOS – LIS |
|---------------------------|-----------------|--------------|-----------------|
| Hora (UTC) | 09:10 h | | 17:50 h |
| Duração | 05:10 h | | 04:55 h |
| Escala SPS | Antes: 2 | Após: 3 | Após: 5 |
| Teste PVT [ms] | Antes: 187 | Após: 174 | Após: 193 |
| Variação no RT [%] | | Após: - 6,95 | Após: + 3,21 |
| SAFTE™ [%] | Antes: 91,3 | Após: 88,2 | Após: 79,0 |
| FAID® [%] | | Após: 94,33 | Após: 83,35 |

4.4.2.2. Período de Serviço de Voo 2.2.

O piloto 2 participou numa operação que teve início no dia 6 e terminou no dia 7, sendo esta composta por quatro setores de voo: LIS – DWC, DWC – KBL, KBL – DWC e DWC – LIS. No entanto, e tendo em consideração as FTL, o piloto apenas operou nos setores DWC – KBL e KBL – DWC, como ilustrado na Figura 46, sendo os outros segmentos realizados por outros tripulantes. Nos setores LIS - DWC, que descolou às 07:20 h (UTC) e teve uma duração de 08:15 h, e DWC – LIS, que descolou às 04:50 h (UTC) do dia seguinte e teve uma duração de 08:35 h, o piloto deslocou-se na *business class* da aeronave, que disponha de assentos totalmente reclináveis.



Figura 46. Setores DWC – KBL e KBL – DWC [69].

Na noite imediatamente anterior a este FDP (noite 6), o piloto dormiu apenas 3,1 h e registou 1,94 despertares por hora de sono, o que significa que tanto a quantidade como a qualidade do sono ficaram fora dos valores aconselhados. Ao acordar, o piloto considerou que o seu estado se enquadrava no nível 3 da escala SPS, nível que está associado a um risco baixo para a ocorrência de erro humano, e obteve um RT de 207 ms, sendo este 31,85 e 8,25% superior aos 157 e aos 191,22 ms, respetivamente.

Antes do início do voo DWC - KBL, o piloto continuou a classificar o seu estado com o nível 3 da escala SPS. Contudo, observou-se uma melhoria significativa de 14,01% no resultado do teste do PVT, que diminuiu de 207 para 178 ms, sendo, no entanto, 13,38% superior ao seu RT mais rápido. Após o voo, a fadiga percebida pelo piloto voltou a não sofrer alterações, mantendo-se no nível 3 da escala SPS. O seu RT passou a ser, novamente, de 207 ms, que corresponde a um aumento de 16,29% em relação ao resultado do teste realizado antes do início do setor. Desta forma, avaliando pelos resultados dos testes PVT, o piloto iniciou este setor com um risco baixo de acidente ou erro grave, uma vez que o aumento do RT ultrapassou o limite dos 11%, mas terminou-o com um risco elevado, visto ter-se ultrapassado o limite dos 25%.

Depois do segundo setor (KBL – DWC), o piloto passou a classificar o seu estado com o nível 5 (risco moderado) da escala SPS. No entanto, apesar da maior sensação de fadiga, observou-se uma ligeira melhoria no RT, que, sendo de 197 ms, é 10,67% superior ao registado antes do primeiro setor e 4,83% inferior ao registado após o mesmo. Contudo, sendo 25,48% superior aos 157 ms, o risco de acidente ou erro grave manteve-se elevado.

Relativamente ao modelo SAFTE™, antes do início do voo DWC – KBL, a pontuação produzida pelo mesmo era de 81,4%, ou seja, o risco para a ocorrência de acidente ou erro grave era baixo. Após este setor, esta pontuação praticamente não se alterou (o risco manteve-se baixo). No entanto, no final do segmento KBL – DWC, a SAFTE™ *Alertness Score* registou uma grande mudança, diminuindo para 50,8%, o que significa que o risco passou a ser muito alto. De acordo com este modelo biomatemático, a redução do desempenho cognitivo do piloto, ao longo da operação, foi de 30,6%.

Finalmente, de acordo com o *software* FAID®, o risco associado à fadiga, tanto no início como no final do primeiro setor, era baixo. No entanto, no final do segundo setor, a FAID® *Score* diminuiu de forma considerável, assumindo o valor de 50,85%, associado a um risco moderado.

A Tabela 24 apresenta os resultados que refletem o desempenho do piloto 2 durante os setores realizados (novamente, a variação no RT ali apresentada foi calculada em relação ao registado antes do primeiro setor, 178 ms).

Tabela 24. Desempenho do piloto 2 nos setores DWC – KBL e KBL – DWC. Fonte: elaboração própria.

| | Setor DWC – KBL | | Setor KBL – DWC |
|---------------------------|-----------------|---------------|-----------------|
| Hora (UTC) | 16:50 h | | 00:00 h |
| Duração | 03:15 h | | 03:15 h |
| Escala SPS | Antes: 3 | Após: 3 | Após: 5 |
| Teste PVT [ms] | Antes: 178 | Após: 207 | Após: 197 |
| Variação no RT [%] | | Após: + 16,29 | Após: + 10,67 |
| SAFTE™ [%] | Antes: 81,4 | Após: 81,7 | Após: 50,8 |
| FAID® [%] | Antes: 78,11 | Após: 72,65 | Após: 50,85 |

Nas duas últimas tabelas do Apêndice IV, pode ser observado, de forma sintetizada, o risco associado aos quatro voos realizados pelo piloto 2.

4.4.3. Piloto de Linha Aérea 3

O piloto 3, durante o período de recolha de dados, relatou, no DS, o consumo de bebidas com cafeína (média de 2,27 bebidas por dia; ver Apêndice III) e alcoólicas (média de 1,33 bebidas por dia; ver Apêndice III), mas não referiu a ingestão de refeições pesadas nas horas que antecederam o momento a que se deitou. A realização de sestas e a prática de exercício físico não foram consideradas relevantes.

A Tabela 25 expõe os dados referentes à quantidade (tempo de sono) e qualidade (despertares por hora de sono) de sono do piloto 3, obtidos pelo Readiband™ 5. Nas noites monitorizadas pelo *actiwath*, em média, o piloto dormiu 7,3 h, valor que se encontra no intervalo de 7 a 9 h (recomendado para a maioria dos adultos), e despertou 0,35 vezes por cada hora de sono, valor inferior a 0,37 e que indica que a qualidade do sono durante este período foi boa. Repare-se que, na noite 11, apesar de ter dormido 7,2 h, o piloto registou a sua pior qualidade de sono, despertando 0,69 vezes por hora de sono. O contrário também se verificou, pois, na noite 6, embora a quantidade de sono tenha sido inferior à recomendada (5,0 h), o piloto despertou apenas 0,20 vezes por hora de sono, valor que

reflete a boa qualidade do sono. Assim, à semelhança do que se verificou com os pilotos 1 e 2, quantidade e qualidade de sono nem sempre estão diretamente relacionadas.

Tabela 25. Quantidade e qualidade de sono do piloto 3. Fonte: elaboração própria, com base em [63].

| Noite | Data | Tempo de sono [h] | Despertares | Despertares por hora de sono |
|-------|--------------|-------------------|-------------|------------------------------|
| 1 | (...) | 7,1 | 2 | 0,28 |
| 2 | (...) | 7,8 | 1 | 0,13 |
| 3 | (...) | 7,7 | 1 | 0,13 |
| 4 | (...) | 7,1 | 2 | 0,28 |
| 5 | (...) | 7,9 | 2 | 0,25 |
| 6 | (...) | 5,0 | 1 | 0,20 |
| 7 | (...) | 6,4 | 4 | 0,63 |
| 8 | (...) | 8,8 | 1 | 0,11 |
| 9 | (...) | 7,2 | 4 | 0,56 |
| 10 | (...) | 8,6 | 1 | 0,12 |
| 11 | (...) | 7,2 | 5 | 0,69 |
| 12 | (...) | 6,4 | 2 | 0,31 |
| 13 | (...) | 7,9 | 5 | 0,63 |
| 14 | (...) | 6,7 | 4 | 0,60 |
| 15 | (...) | 7,9 | 3 | 0,38 |
| | Média | 7,3 | 2,53 | 0,35 |

A Tabela 26 apresenta os resultados que refletem o desempenho do piloto 3, através da SAFTE™ *Alertness Score*, do RT (teste PVT) e da autoavaliação proveniente da escala SPS. O aumento do RT foi calculado em relação ao melhor resultado obtido: 160 ms, assumido como sendo o RT mais rápido do piloto 3.

Nas noites dos dias 4 e 5, o piloto não fez o teste PVT, pelo que os resultados não são apresentados. O valor médio da SAFTE™ *Alertness Score* situou-se nos 91,15%, enquadrando-se na categoria de risco muito baixo para a ocorrência de acidente ou erro grave. No que diz respeito aos RTs, os valores médios obtidos foram de:

- 187,80 ms, ao acordar → Aumento de 17,38% em relação aos 160 ms;
- 190,15 ms, ao deitar → Aumentos de 18,85 e de 18,11% em relação aos 160 ms e ao melhor resultado nos testes realizados à noite (161 ms), respetivamente.

Tabela 26. Resultados obtidos pelo piloto 3: SAFTE™ Alertness Score, SPS e PVT. Fonte: elaboração própria.

| Dia | Data | SAFTE™ [%] | SPS de manhã | SPS à noite | PVT de manhã [ms] | Aumento do RT [%] | PVT à noite [ms] | Aumento do RT [%] |
|-----|--------------|------------|--------------|-------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| 1 | (...) | | 3 | 4 | 227 | 41,88 | 187 | 16,88 |
| 2 | (...) | | 3 | 4 | 186 | 16,25 | 161 | 0,63 |
| 3 | (...) | 93 | 3 | 4 | 196 | 22,50 | 167 | 4,38 |
| 4 | (...) | 91 | 3 | 1 | 175 | 9,38 | | |
| 5 | (...) | 90 | 3 | 4 | 204 | 27,50 | | |
| 6 | (...) | 88 | 2 | 4 | 162 | 1,25 | 191 | 19,38 |
| 7 | (...) | 84 | 2 | 4 | 175 | 9,38 | 198 | 23,75 |
| 8 | (...) | 90 | 2 | 4 | 193 | 20,63 | 230 | 43,75 |
| 9 | (...) | 94 | 2 | 4 | 177 | 10,63 | 237 | 48,13 |
| 10 | (...) | 97 | 2 | 4 | 209 | 30,63 | 197 | 23,13 |
| 11 | (...) | 94 | 2 | 4 | 174 | 8,75 | 166 | 3,75 |
| 12 | (...) | 93 | 2 | 4 | 160 | 0,00 | 171 | 6,88 |
| 13 | (...) | 94 | 2 | 4 | 171 | 6,88 | 166 | 3,75 |
| 14 | (...) | 90 | 2 | 4 | 182 | 13,75 | 171 | 6,88 |
| 15 | (...) | 87 | 2 | 4 | 226 | 41,25 | 230 | 43,75 |
| | Média | 91,15 | 2,33 | 3,80 | 187,80 | 17,38 | 190,15 | 18,85 |

As Figuras 47 e 48 apresentam a relação entre a quantidade e qualidade de sono do piloto 3 e o seu estado ao acordar, de acordo com a escala SPS, respetivamente. Dos quatro pilotos analisados, este foi o mais constante na sua autoavaliação após o sono, uma vez que apenas escolheu os níveis 2 e 3 da referida escala, ambos associados a um risco baixo para a ocorrência de erro humano.

No dia 7, tanto a quantidade (6,4 h) como a qualidade (0,63 despertares por hora de sono) do sono ficaram fora dos valores aconselhados. Já no dia seguinte, dia 8, a duração foi adequada (8,8 h) e registou-se a melhor qualidade de sono deste piloto, com apenas 0,11 despertares por hora de sono. Apesar das melhores características do período de sono do dia 8, o piloto não se autoavaliou com um nível mais baixo da escala SPS (que refletisse um menor nível de fadiga), tendo optado pelo nível 2 em ambos os dias.

Desta forma, este exemplo (dias 7 e 8) evidencia, mais uma vez, que, apesar das características do sono serem diferentes, o piloto classificou o seu nível de fadiga de igual forma na escala SPS.

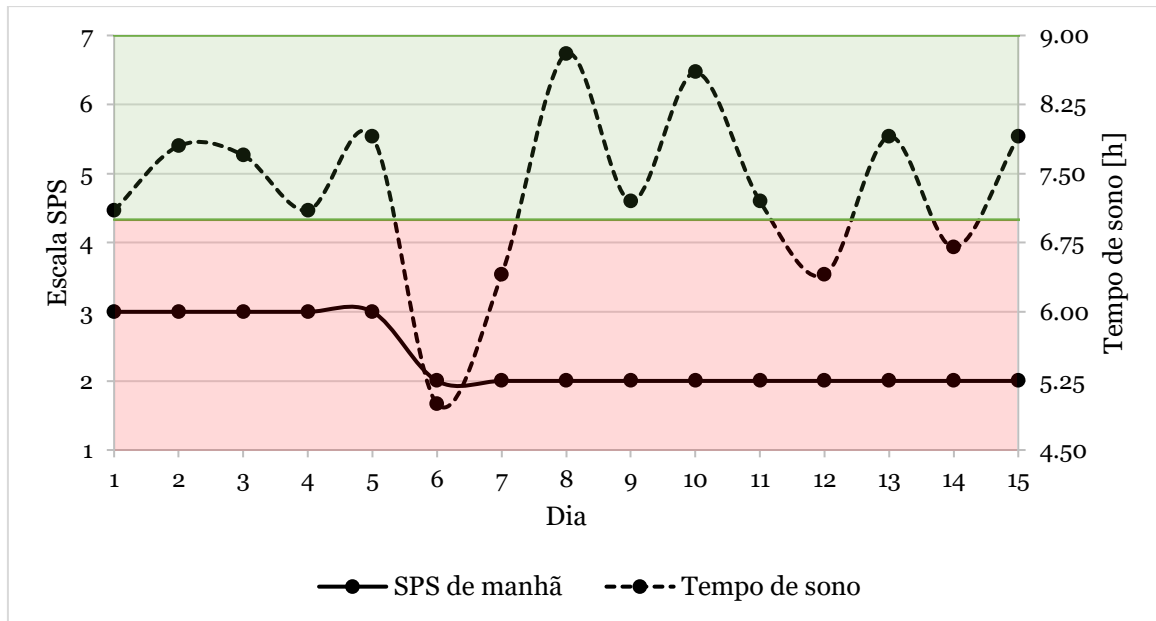


Figura 47. Quantidade de sono e SPS ao acordar (piloto 3). Fonte: elaboração própria.

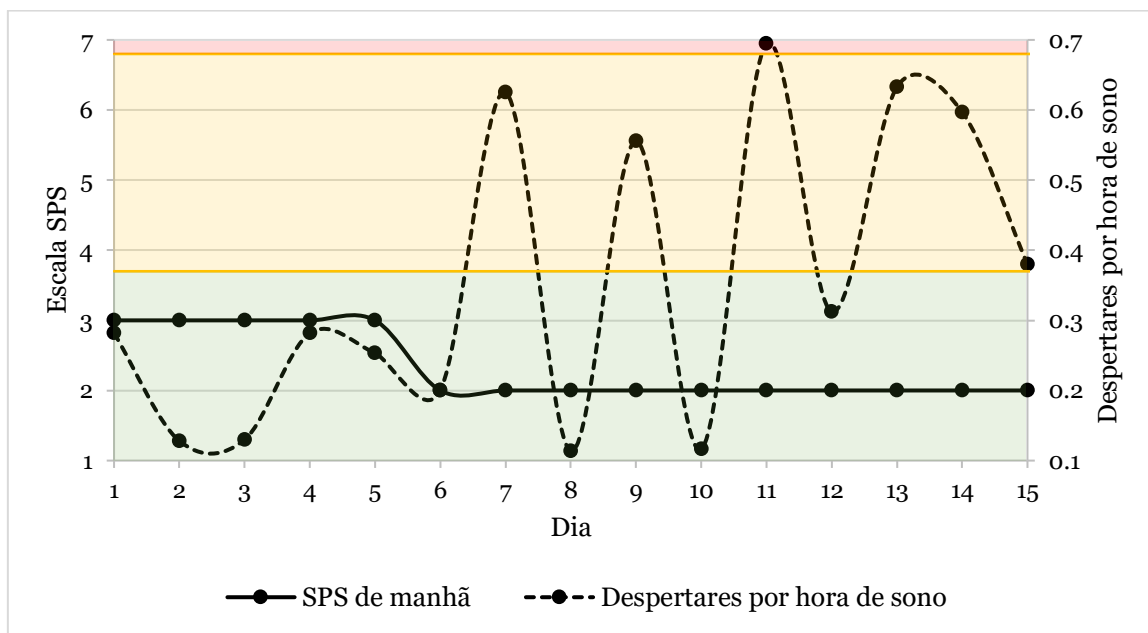


Figura 48. Qualidade do sono e SPS ao acordar (piloto 3). Fonte: elaboração própria.

As Figuras 49 e 50 apresentam a relação entre os resultados obtidos nos testes PVT (realizados ao acordar) e a quantidade e qualidade de sono do piloto 3, respetivamente.

O melhor resultado (160 ms) foi obtido na manhã do dia 12, depois de um período de sono com duração ligeiramente inferior à recomendada (6,4 h), mas com boa qualidade (0,31 despertares por hora de sono), sendo 14,80% inferior ao valor médio dos RTs avaliados ao acordar (187,80 ms). Relativamente ao pior resultado, este ocorreu logo na manhã do dia 1, apesar do sono ter tido a duração aconselhada (7,1 h) e da qualidade do mesmo ser

considerada boa (0,28 despertares por hora de sono). O resultado foi de 227 ms, 41,88% superior aos 160 ms e 20,87% superior aos 187,80 ms.

Desta forma, fazendo a avaliação do risco pelos RTs resultantes da realização dos testes PVT ao acordar, houve dias em que o risco de acidente ou erro grave era elevado, uma vez que se ultrapassou o limite dos 25% de aumento em relação ao RT mais rápido do piloto. No caso específico do dia 1, o risco esteve muito próximo de ser considerado alto, visto ter-se praticamente atingido os 43% de aumento do RT. Na primeira tabela do Apêndice V, pode ser consultado o risco associado a todos os RTs do piloto 3.

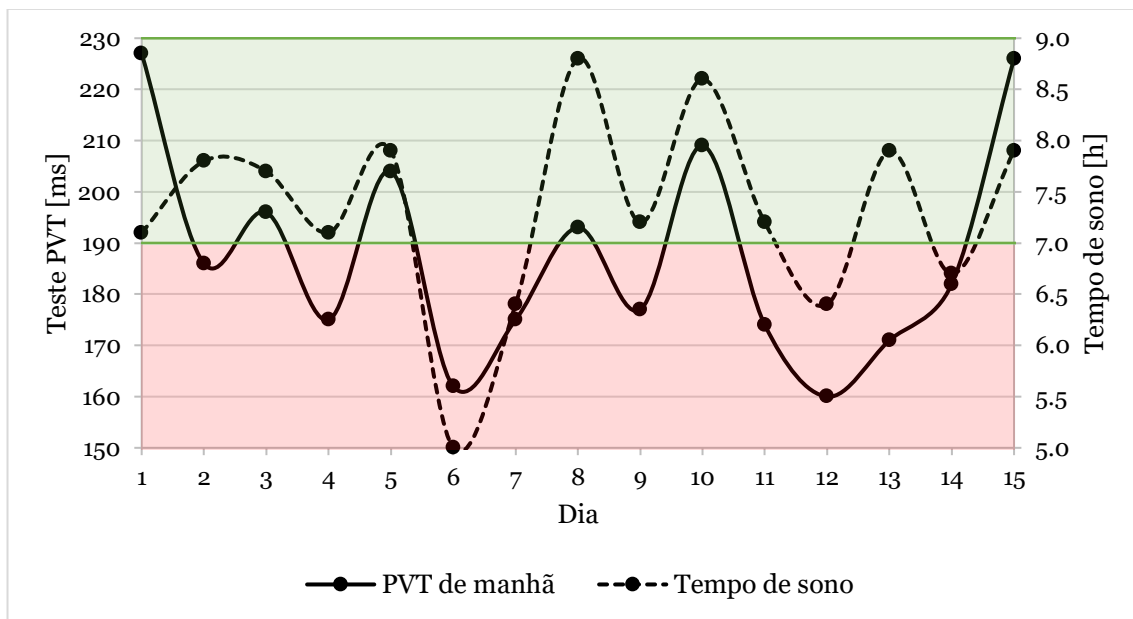


Figura 49. Quantidade de sono e PVT ao acordar (piloto 3). Fonte: elaboração própria.

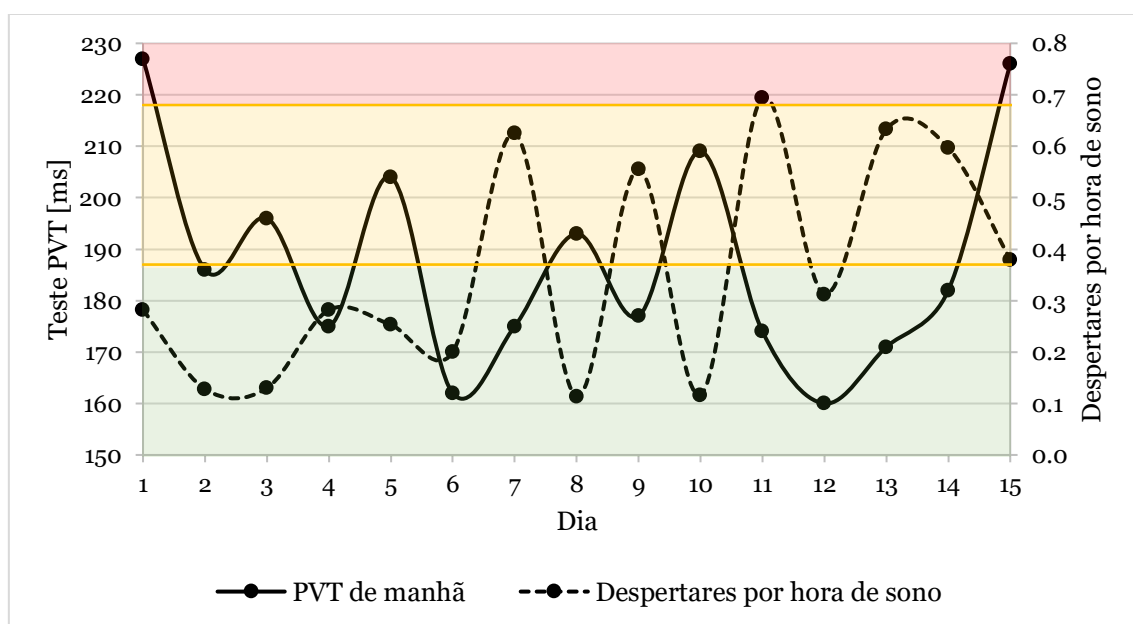


Figura 50. Qualidade do sono e PVT ao acordar (piloto 3). Fonte: elaboração própria.

A partir da Figura 51, é possível comparar, para o piloto 3, os dados objetivos resultantes da realização dos testes PVT e os subjetivos provenientes da escala SPS, tanto de manhã (ao acordar) como à noite (ao deitar).

Como se pode verificar, e contrariamente ao que se observou com os pilotos 1 e 2, que registaram, respetivamente, um aumento e uma diminuição generalizada do RT entre o período da manhã e o da noite, no caso deste piloto, esta variação foi muito equilibrada: nos dias 1, 2, 3, 10, 11, 13 e 14, o RT diminuiu; já nos dias 6, 7, 8, 9, 12 e 15, este tempo aumentou. Contudo, apesar de se ter registado uma melhoria do RT nos dias mencionados, o piloto classificou o seu estado ao deitar com o nível 4 (risco moderado) da escala SPS, nível que reflete um maior grau de fadiga do que os níveis com que se autoavaliou de manhã (níveis 2 e 3, risco baixo), o que pode indicar que o piloto não é o melhor juiz do seu próprio estado de alerta.

O consumo de três bebidas com cafeína (o máximo que o piloto ingeriu por dia) deu-se, exclusivamente, nos dias 1, 2, 3, 11, 12, 13 e 14. Em seis destes sete dias, como mencionado no parágrafo anterior, os RTs registados à noite foram menores do que os registados de manhã, o que sugere que a referida dose de cafeína auxiliou na melhoria do desempenho cognitivo do piloto. A maior diminuição deu-se logo no dia 1, no qual o resultado do teste PVT feito à noite (187 ms) foi 17,62% inferior ao alcançado de manhã (227 ms).

Relativamente aos dias em que ocorreu um aumento do RT, a diferença mais significativa deu-se no dia 9, verificando-se um aumento de 33,90% do RT entre o período da manhã (177 ms) e o da noite (237 ms). Este resultado de 237 ms foi o mais elevado de todos os testes PVT feitos à noite e corresponde a um aumento de 48,13% em relação melhor resultado (o risco de acidente ou erro grave era alto, uma vez que se ultrapassou o limite dos 43% de aumento do RT) e de 24,64% relativamente ao valor médio dos resultados dos testes PVT realizados à noite (190,15 ms). Neste dia, o piloto consumiu quatro bebidas alcoólicas (valor muito superior à média diária de 1,33), pelo que é extremamente provável que o álcool tenha contribuído para a degradação do seu estado de alerta.

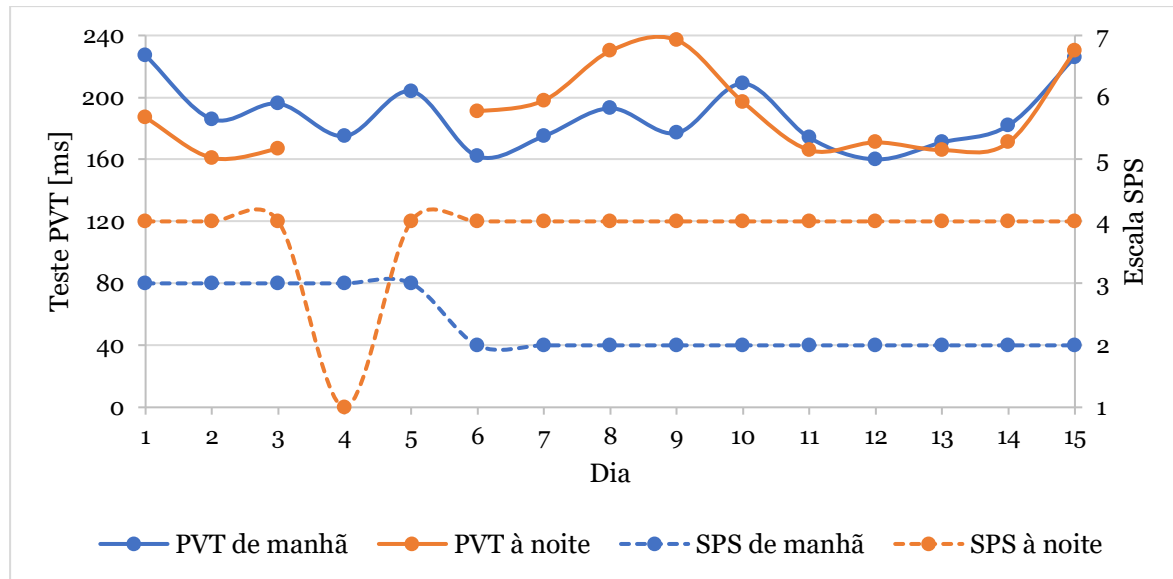


Figura 51. SPS e PVT ao acordar e ao deitar (piloto 3). Fonte: elaboração própria.

4.4.3.1. Período de Serviço de Voo 3.1.

No dia 4, o piloto 3 realizou um setor, LIS - DWC, como ilustrado na Figura 52. Na noite imediatamente anterior a este FDP (noite 4), o piloto teve um sono com a duração recomendada (7,1 h) e de boa qualidade (0,28 despertares por hora de sono). Ao acordar, o piloto considerou que o seu estado se enquadrava no nível 3 da escala SPS, nível que está associado a um risco baixo para a ocorrência de erro humano, e obteve um RT de 175 ms, sendo este 9,38% superior aos 160 ms e 6,82% inferior aos 187,80 ms.



Figura 52. Setor LIS - DWC [69].

Antes do início do voo, o piloto sentia-se menos cansado do que quando acordou, uma vez que passou a classificar o seu estado com o nível 1 (risco baixo) da escala SPS. Contudo, o resultado do teste PVT não sofreu alterações, mantendo-se nos 175 ms. Desta forma,

avaliando apenas por este valor, o piloto iniciou este setor com um risco muito baixo de acidente ou erro grave, uma vez que o aumento do RT não ultrapassou o limite dos 11%. Após o voo, o piloto sentiu um maior nível de fadiga, classificando-o com o nível 4 (risco moderado) da escala SPS, mas não foi possível verificar se, associado a esta maior percepção de fadiga, estaria um aumento do RT, uma vez que, por motivos operacionais, o piloto não teve oportunidade de fazer um novo teste PVT.

No que diz respeito ao modelo SAFTE™, antes do início do voo, a pontuação produzida pelo mesmo era de 94,2%, o que significa que o risco para a ocorrência de acidente ou erro grave era muito baixo. No final do voo, a pontuação referente à SAFTE™ *Alertness Score* era de 97,8% (o risco manteve-se muito baixo), ou seja, de acordo com este modelo biomatemático, o desempenho cognitivo do piloto, ao longo da operação, não sofreu uma alteração importante.

Finalmente, de acordo com o *software* FAID®, o risco associado à fadiga, no final do setor, era baixo, sendo a FAID® *Score* de 90,38%.

A Tabela 27 apresenta os resultados que refletem o desempenho do piloto 3 durante o setor realizado.

Tabela 27. Desempenho do piloto 3 no setor LIS – DWC. Fonte: elaboração própria.

| | Setor LIS – DWC | |
|-----------------------|------------------------|-------------|
| Hora (UTC) | 06:25 h | |
| Duração | 08:35 h | |
| Escala SPS | Antes: 1 | Após: 4 |
| Teste PVT [ms] | Antes: 175 | Após: ----- |
| SAFTE™ [%] | Antes: 94,2 | Após: 97,8 |
| FAID® [%] | | Após: 90,38 |

4.4.3.2. Período de Serviço de Voo 3.2.

No dia 15, o piloto 3 realizou dois setores, LIS – TMS e TMS – LIS (Figura 40). Na noite imediatamente anterior a este FDP (noite 15), o piloto dormiu 7,9 h e registou 0,38 despertares por hora de sono (valor muito próximo dos 0,37, mas, sendo superior, o período de sono não pode ser considerado de boa qualidade). Ao acordar, o piloto classificou o seu

estado com o nível 2 (risco baixo) da escala SPS, tendo obtido, no teste PVT, um resultado de 226 ms, sendo este 41,25 e 20,34% superior aos 160 e aos 187,80 ms, respetivamente.

Ao iniciar o primeiro setor (LIS – TMS), o piloto continuou a classificar o seu grau de fadiga com o nível 2 da escala SPS e o RT manteve-se nos 226 ms, o que significa que, avaliando apenas por este resultado do teste PVT, o piloto iniciou este setor com um risco elevado de acidente ou erro grave, uma vez que o aumento do RT ultrapassou o limite dos 25%. Após este setor, a fadiga sentida pelo piloto aumentou ligeiramente, enquadrando-se, agora, no nível 3 (risco baixo) da escala SPS, mas, tal como aconteceu no voo LIS – DWC, não foi possível verificar se o RT também teria aumentado, visto que o piloto voltou a não fazer um novo teste PVT.

Depois do segundo setor (TMS – LIS), a fadiga percecionada pelo piloto voltou a aumentar, passando a ser classificada com o nível 4 (risco moderado) da escala SPS. De facto, observou-se um pequeno aumento no RT, que, sendo de 230 ms, é apenas 1,77% superior ao registado antes do primeiro setor. Contudo, sendo 43,75% superior aos 160 ms, o risco de acidente ou erro grave passou a ser alto, visto ter-se ultrapassado o limite dos 43% de aumento do RT.

Relativamente ao modelo SAFTE™, antes do início do voo LIS – TMS, a pontuação produzida pelo mesmo era de 82,7%, ou seja, o risco para a ocorrência de acidente ou erro grave era baixo. Após o primeiro e o segundo setor, esta pontuação passou para 89,3 e 88,9%, respetivamente, mas, apesar deste aumento, o risco continuou a ser baixo. Assim, de acordo com este modelo biomatemático, o desempenho cognitivo do piloto, ao longo da operação, não sofreu uma alteração importante.

Finalmente, de acordo com o *software* FAID®, o risco associado à fadiga, tanto no final do primeiro setor como no final do segundo, era baixo. No entanto, a FAID® *Score* diminuiu de 90,53 para 81,41%.

Na Tabela 28, podem observar-se os resultados obtidos pelo piloto 3 durante os dois setores de voo. A variação no RT ali apresentada foi calculada em relação ao registado antes do primeiro setor (226 ms).

Tabela 28. Desempenho do piloto 3 nos setores LIS – TMS e TMS – LIS. Fonte: elaboração própria.

| | Setor LIS – TMS | | Setor TMS – LIS |
|---------------------------|-----------------|-------------|-----------------|
| Hora (UTC) | 04:55 h | | 13:55 h |
| Duração | 05:50 h | | 05:55 h |
| Escala SPS | Antes: 2 | Após: 3 | Após: 4 |
| Teste PVT [ms] | Antes: 226 | Após: ---- | Após: 230 |
| Variação no RT [%] | | Após: ---- | Após: +1,77 |
| SAFTE™ [%] | Antes: 82,7 | Após: 89,3 | Após: 88,9 |
| FAID® [%] | | Após: 90,53 | Após: 81,41 |

Nas duas últimas tabelas do Apêndice V, pode ser observado, de forma sintetizada, o risco associado aos três voos realizados pelo piloto 3.

4.4.4. Piloto de Linha Aérea 4

A Tabela 29 expõe os dados referentes à quantidade (tempo de sono) e qualidade (despertares por hora de sono) de sono do piloto 4, obtidos pelo Readiband™ 5. Nas noites monitorizadas pelo *actiwacth*, em média, o piloto dormiu 6,6 h, valor que se encontra abaixo do mínimo de 7 h (recomendado para a maioria dos adultos), e despertou 1,06 vezes por cada hora de sono, valor consideravelmente superior a 0,68 e que reflete a má qualidade do sono durante este período. Repare-se que, na noite 6, apesar de ter dormido durante 7,3 h, o piloto registou a sua segunda pior qualidade de sono, despertando 1,37 vezes por hora de sono. Já na noite 4, embora a quantidade de sono tenha sido muito inferior (2,3 h), a qualidade do mesmo foi superior, com 0,87 despertares por hora de sono. Assim, tal como se verificou com os pilotos 1, 2 e 3, quantidade e qualidade de sono nem sempre estão diretamente relacionadas.

Tabela 29. Quantidade e qualidade de sono do piloto 4. Fonte: elaboração própria, com base em [63].

| Noite | Data | Tempo de sono [h] | Despertares | Despertares por hora de sono |
|-------|-------|-------------------|-------------|------------------------------|
| 1 | (...) | 6,8 | 8 | 1,18 |
| 2 | (...) | 7,1 | 8 | 1,13 |
| 3 | (...) | 6,9 | 8 | 1,16 |
| 4 | (...) | 2,3 | 2 | 0,87 |
| 5 | (...) | 6,8 | 5 | 0,74 |

| Noite | Data | Tempo de sono [h] | Despertares | Despertares por hora de sono |
|-------|--------------|-------------------|-------------|------------------------------|
| 6 | (...) | 7,3 | 10 | 1,37 |
| 7 | (...) | 3,9 | 6 | 1,54 |
| 8 | (...) | 11,4 | 6 | 0,53 |
| | Média | 6,6 | 6,63 | 1,06 |

A Tabela 30 apresenta os resultados que refletem o desempenho do piloto 4, mas, desta vez, apenas através da SAFTE™ *Alertness Score* e da autoavaliação proveniente da escala SPS. Os valores dos RTs não são apresentados, porque o piloto se desviou do protocolo estabelecido, apesar do mesmo ter sido explicado presencialmente e por escrito (ponto 1. do Apêndice I), não tendo realizado os testes PVT ao acordar e ao deitar. O não cumprimento desta componente do protocolo não permitiu que fosse possível:

- Avaliar a evolução do RT entre o período da manhã e o da noite;
- Verificar se um aumento do RT está associado a um maior nível de fadiga na escala SPS (ou verificar se um RT mais rápido está associado a menor nível na escala SPS), o que permitiria perceber se o piloto é um bom juiz do seu próprio estado de alerta;
- Verificar de que forma a realização de sestas, o consumo de bebidas com cafeína/álcool e os hábitos alimentares afetam o RT do piloto;
- Classificar o risco de acidente ou erro grave com base no RT.

Apesar destas limitações, optou-se por apresentar os restantes resultados. O valor médio da SAFTE™ *Alertness Score* foi de 87,33%, enquadrando-se na categoria de risco baixo para a ocorrência de acidente ou erro grave.

Tabela 30. Resultados obtidos pelo piloto 4: SAFTE™ *Alertness Score* e SPS. Fonte: elaboração própria.

| Dia | Data | SAFTE™ [%] | SPS de manhã | SPS à noite |
|-----|--------------|--------------|--------------|-------------|
| 1 | (...) | | 6 | 4 |
| 2 | (...) | | 5 | 5 |
| 3 | (...) | 93 | 4 | 6 |
| 4 | (...) | 86 | 3 | 5 |
| 5 | (...) | 88 | 6 | 4 |
| 6 | (...) | 88 | 5 | 6 |
| 7 | (...) | 81 | 4 | 5 |
| 8 | (...) | 88 | 6 | 5 |
| | Média | 87,33 | 4,88 | 5,00 |

As Figuras 53 e 54 apresentam a relação entre a quantidade e qualidade de sono do piloto 4 e o seu estado ao acordar, de acordo com a escala SPS, respetivamente.

O dia 4 foi o único no qual piloto classificou o seu estado ao acordar com o nível 3 da escala SPS, valor associado a um risco baixo para a ocorrência de erro humano, sendo que, nos restantes dias, o nível seleccionado refletia sempre um maior grau de fadiga. Contrariamente ao que seria expectável, o piloto optou pela referida pontuação após o menor período de sono (2,3 h).

O nível 6 (risco alto) foi atribuído nos dias 1, 5 e 8, mas em nenhum destes dias foi registada a pior qualidade do sono. Esta deu-se no dia 7, depois de uma noite com 1,54 despertares por hora de sono. No entanto, neste último caso, o piloto optou por classificar o seu estado com o nível 4 (risco moderado) da escala SPS.

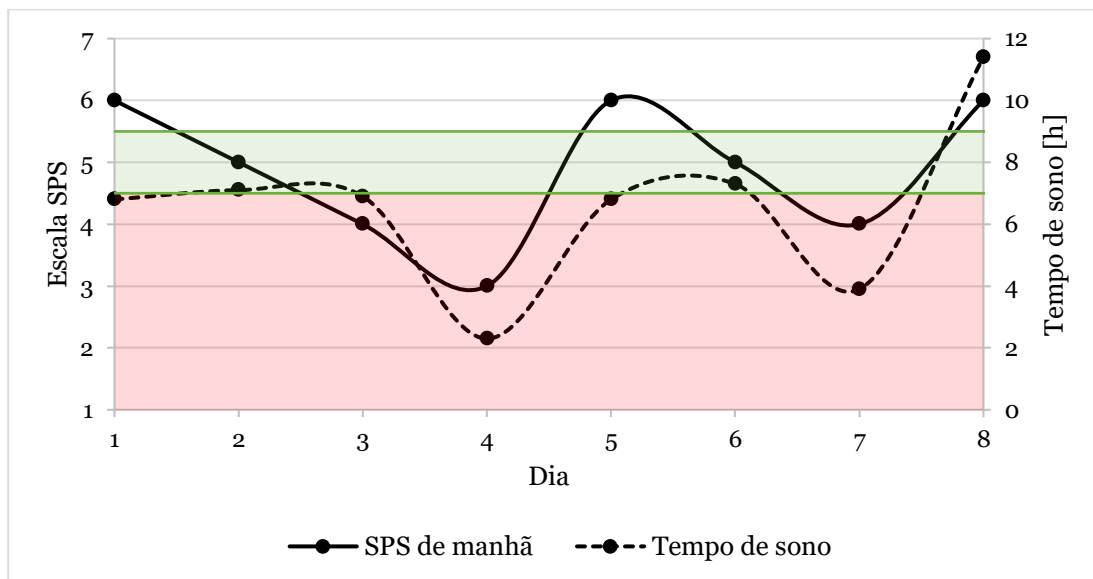


Figura 53. Quantidade de sono e SPS ao acordar (piloto 4). Fonte: elaboração própria.

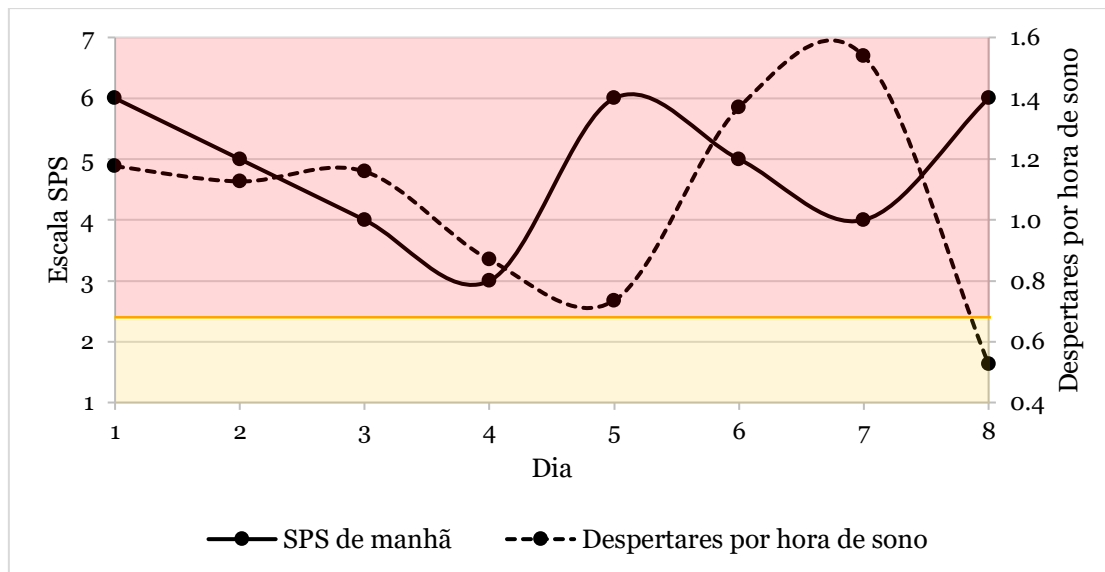


Figura 54. Qualidade do sono e SPS ao acordar (piloto 4). Fonte: elaboração própria.

4.4.4.1. Período de Serviço de Voo 4.1.

No dia 7, o piloto 4 realizou um setor, DWC – LIS (Figura 52). Na noite imediatamente anterior a este FDP (noite 7), o piloto dormiu apenas 3,9 h e registou, como referido anteriormente, 1,54 despertares por hora de sono, o que significa que tanto a quantidade como a qualidade do sono ficaram fora dos valores aconselhados. Ao acordar, o piloto considerou que o seu estado se enquadrava no nível 4 da escala SPS, nível que está associado a um risco moderado para a ocorrência de erro humano.

Antes do início do voo, o piloto sentia-se menos cansado do que quando acordou, uma vez que passou a classificar o seu estado com um 2 (risco baixo) na escala SPS, sendo o seu RT de 178 ms. Após o voo, o piloto sentiu um grau de fadiga muito superior, classificando-o com o nível 6 (risco alto) da escala SPS. O seu RT passou a ser de 197 ms, que corresponde a um aumento de 10,67% em relação ao resultado do teste anterior.

No que diz respeito ao modelo SAFTE™, antes do início do setor, a pontuação produzida pelo mesmo era de 75,3%, o que significa que o risco para a ocorrência de acidente ou erro grave era elevado. No final do voo, a pontuação referente à SAFTE™ *Alertness Score* aumentou para 82,0%, passando o risco ser baixo. Assim, de acordo com este modelo biomatemático, o desempenho cognitivo do piloto, ao longo da operação, sofreu uma melhoria de 6,7%.

Finalmente, de acordo com o *software* FAID®, o risco associado à fadiga, no final do setor, era baixo, sendo a FAID® *Score* de 85,64%.

A Tabela 31 apresenta os resultados que refletem o desempenho do piloto 4 durante o setor realizado (a variação no RT ali apresentada foi calculada em relação ao registado antes do primeiro setor, 178 ms).

Tabela 31. Desempenho do piloto 4 no setor DWC – LIS. Fonte: elaboração própria.

| | Setor DWC – LIS | |
|---------------------------|------------------------|--------------|
| Hora (UTC) | 06:45 h | |
| Duração | 08:45 h | |
| Escala SPS | Antes: 2 | Após: 6 |
| Teste PVT [ms] | Antes: 178 | Após: 197 |
| Variação no RT [%] | | Após: +10,67 |
| SAFTE™ [%] | Antes: 75,3 | Após: 82,0 |
| FAID® [%] | | Após: 85,64 |

Na tabela do Apêndice VI, pode ser observado, de forma sintetizada, o risco associado a este voo realizado pelo piloto 4.

4.4.5. Análise Geral – Pilotos de Linha Aérea 1, 2, 3 e 4

Como referido em 4.3., as questões 8 a 10 do questionário abordavam o período de sono dos participantes. Os dados recolhidos pelo *actiwatch* Readiband™ 5 mostraram que a quantidade de sono dos quatro pilotos, em média, foi inferior àquela mencionada na pergunta 9, mas as diferenças observadas não ultrapassaram os 54 minutos. Relativamente à qualidade do sono, as respostas à questão 10 evidenciaram que os pilotos estão conscientes do facto do seu sono ser demasiado fragmentado, com múltiplos despertares ao longo da noite. De facto, durante o período de recolha de dados, o piloto 3 foi o único a registar um valor médio de despertares por hora de sono que reflete a boa qualidade do mesmo. No caso dos pilotos 2 e 4, este valor ultrapassou, largamente, os 0,68 despertares por hora de sono, o que indica a má qualidade do mesmo. O piloto 2 mencionou, no dia em que foi feita a recolha do material (na sede da EAA), que as temperaturas registadas nos dias de utilização do Readiband™ 5 prejudicaram a possibilidade de ter um sono reparador. Na realidade, a temperatura ideal do quarto onde se dorme situa-se entre os 18 e os 20 °C [10], pelo que, tendo em consideração que o estudo foi realizado nos meses de verão, este fator poderá ter influenciado o padrão de sono do piloto.

O piloto 1, na pergunta 6 do questionário, mencionou que as horas de sono na noite anterior constituem o único parâmetro que afeta, de forma negativa, o seu estado de alerta. No entanto, os dados recolhidos sugerem que os hábitos alimentares também o afetam, visto que o seu pior RT foi atingido na realização de um teste PVT que sucedeu a ingestão de uma refeição pesada. Por sua vez, o piloto 3 mencionou que, além do período de sono anterior, também o álcool e os hábitos alimentares prejudicam o seu estado de alerta. Os dados confirmaram que o álcool constitui um agente perturbador do desempenho cognitivo do piloto, uma vez que o maior aumento do RT, entre o período da manhã e o da noite, deu-se num dia em que o piloto consumiu quatro bebidas alcoólicas.

Na questão 7, os pilotos 2 e 3 referiram que fazem uma sesta para mitigar os efeitos adversos da fadiga a que estão sujeitos. Foi possível comprovar que esta medida se revela muito eficaz na melhoria do desempenho do piloto 2, visto que, em todos os dias em que foram relatadas sestras (no DS), se observou uma diminuição dos seus RTs. Os dados recolhidos também sugerem que a ingestão de cafeína é útil na melhoria do desempenho destes dois pilotos, uma vez que o melhor RT do piloto 2 foi alcançado no final do dia em que ingeriu um maior número de bebidas com cafeína (duas), e, no caso do piloto 3, o seu tempo RT melhorou, de forma significativa, após o consumo (ao longo do dia) de três bebidas com cafeína.

A questão 11 abordava a temática do exercício físico, mas não foi possível observar uma alteração do padrão do sono, da classificação na escala SPS e do RT nos dias em que os pilotos o praticaram.

Como evidenciado nas Figuras 34 e 35 (piloto 1), 41 e 42 (piloto 2), 47 e 48 (piloto 3), 53 e 54 (piloto 4), os pilotos, após períodos de sono com características muito distintas, em termos de quantidade e qualidade, utilizaram o mesmo nível da escala SPS para classificar o seu grau de fadiga. Assim, para além da subjetividade que está associada à escala, o efeito cumulativo da fadiga tornou-se claro. Quer isto dizer que uma única noite de sono com características satisfatórias não foi suficiente para que os pilotos classificassem o seu estado com uma pontuação que refletisse um menor grau de fadiga. De facto, como referido em 2.5.2.2., se um indivíduo atravessou anteriormente um período de restrição de sono, são necessárias, pelo menos, duas noites consecutivas para que o padrão de sono retome a normalidade [10].

Ao longo de todos os FDPs analisados, a CT a que os pilotos estiveram sujeitos contribuiu para que a fadiga por eles percebida aumentasse progressivamente, o que se traduziu num aumento do nível escolhido na escala SPS. De uma forma geral, também foi possível observar um aumento do RT entre o início do FDP e o final do último setor. No entanto,

verificou-se uma diminuição do RT nos segmentos LOS – LIS (piloto 1), LIS – LOS (piloto 2) e KBL – DWC (piloto 2), sendo que, na base desta melhoria, podem ter estado os vários procedimentos que os pilotos têm de seguir nas fases de aproximação final e aterragem. Estes procedimentos exigem a máxima atenção dos pilotos, pelo que auxiliam na restauração do seu estado de alerta [70].

Conforme se compreende pelos resultados obtidos pelos quatro pilotos, o risco de acidente ou erro grave associado aos resultados dos testes PVT (RTs) tende a ser mais elevado do que o risco relativo aos valores fornecidos pelo modelo biomatemático SAFTE™. Assim, em vários setores de voos analisados, não foi possível verificar a correspondência entre a SAFTE™ *Alertness Score* e o aumento do RT, anteriormente ilustrada na Tabela 6 (secção 3.3.2.). É neste contexto que as diferenças entre os dados laboratoriais utilizados no desenvolvimento do modelo SAFTE™ e os métodos empregues no presente trabalho podem ser mais relevantes, nomeadamente: os testes PVT deste estudo tiveram uma duração de três minutos, enquanto os testes para desenvolvimento do modelo tiveram uma duração de dez minutos [71]; os aparelhos utilizados para medição dos RTs dos pilotos (*smartphones*) não foram os mesmos que se utilizaram no desenvolvimento do modelo, devido ao seu elevado custo e pouca praticidade [54]. Outro fator que pode ter afetado os resultados dos testes PVT feitos no *cockpit* da aeronave prende-se com as condições de ruído e de luz, que são consideravelmente diferentes daquelas presentes fora do ambiente laboral.

No final dos setores de voo analisados, foi possível obter quatro dos cinco níveis de risco de acidente ou erro grave contemplados pelo modelo SAFTE™, desde o mais baixo ao mais elevado (risco muito baixo, risco baixo, risco elevado, risco muito alto), mas, no que diz respeito ao modelo FAID® *Time Zone*, apenas se obtiveram os dois menores níveis de risco (risco baixo, risco moderado). O facto do *software* FAID® não considerar o tempo de sono efetivamente obtido pelos pilotos [67], contrariamente ao modelo SAFTE™, pode ter contribuído para que os seus reais níveis de fadiga fossem subestimados. Uma das assunções do FAID® é que todas as horas em que um piloto não está em período de serviço constituem potenciais horas de recuperação [67], [72], mas esta assunção pode não ser verificada. Ainda é importante realçar que nenhum destes dois modelos biomatemáticos tem em consideração fatores pessoais relacionados com os hábitos alimentares e consumo de cafeína/álcool [68], [72], que, como se sabe, podem alterar o desempenho dos pilotos.

Os maiores níveis de risco de acidente ou erro grave ocorreram, tanto no modelo SAFTE™ como no FAID® *Time Zone*, após voo KBL – DWC (piloto 2). No caso do primeiro modelo, o risco foi muito alto, o que seria expectável tendo em consideração que, depois do voo, já tinham decorrido praticamente 24 h desde a última noite de sono do piloto. No caso do

segundo, o risco foi moderado, tendo-se atingido a FAID® *Score* mais baixa de todas as registadas (50,85%). O FAID® tem em consideração o histórico recente de trabalho [67], pelo que a fadiga acumulada nas viagens LIS – LOS, LOS – LIS (realizadas dois dias antes do FDP 2.2.), LIS – DWC e DWC – KBL contribuiu para que houvesse um aumento do risco associado à FAID® *Score* [68].

Finalmente, é importante referir que a pandemia se prolongou por mais tempo que o esperado e, por forma a que a presente dissertação fosse entregue em tempo útil, não foi possível esperar pela retoma plena da atividade para que o quarto objetivo específico definido, referente à avaliação dos efeitos dos voos transmeridianos no desempenho dos pilotos, fosse cumprido de forma cabal. No entanto, ainda foi possível observar o efeito do *jet lag* no piloto 3, que realizou o voo LIS – DWC no dia 4 e permaneceu no Dubai até ao dia 7. Nas noites 6 e 7, registaram-se os menores períodos de sono deste piloto, com durações de 5,0 e 6,4 h, respetivamente (possivelmente, caso o piloto tivesse permanecido por mais uma noite no Dubai, o tempo de sono já se aproximaria da média diária de 7,3 h, o que seria indicador da sincronização entre o relógio biológico circadiano e o novo fuso horário). Apesar disto, nas manhãs seguintes, a fadiga percecionada pelo piloto não foi classificada com pontuações mais elevadas da escala SPS (o nível selecionado foi o 2, tal como em muitos outros dias) e o seu RT não aumentou significativamente.

4.5. Conclusão

O trabalho experimental permitiu monitorizar, durante todo o período do estudo, o sono dos pilotos e compreender de que forma a evolução da fadiga por eles percecionada se refletia, ou não, em alterações significativas nos RTs. Também foi possível encontrar, no caso dos pilotos 1, 2 e 3, alguns fatores que alteraram, positiva ou negativamente, o seu estado de alerta, verificando-se, depois, se estes estavam em concordância com o que cada piloto tinha mencionado no questionário.

No caso específico dos FDPs, a análise dos valores provenientes das metodologias apresentadas no Capítulo 3, permitiu observar a evolução, ao longo de cada setor de voo, do risco associado à fadiga.

Capítulo 5

Conclusão

5.1. Síntese da Dissertação

Nos primeiros tempos da aviação, as causas dos acidentes e incidentes estavam relacionadas, maioritariamente, com falhas que ocorriam nos equipamentos das aeronaves. No entanto, com a evolução da tecnologia, este padrão alterou-se de forma significativa, até que, atualmente, entre 60 e 80% das ocorrências tem como base o erro humano. Em território nacional, os relatórios finais das investigações conduzidas pelo GPIAAF, referentes às ocorrências registadas no setor do transporte aéreo, indicaram que, entre 2010 e 2019, FH estiveram envolvidos em mais de 70% dos episódios. Em alguns destes casos, as equipas de investigação mencionaram que a fadiga⁶ sentida pela tripulação afetou o seu desempenho durante o voo.

Neste sentido, decidiu-se que o objetivo primordial da presente dissertação seria estudar de que forma a fadiga cognitiva de um grupo de pilotos de linha aérea poderia afetar a segurança de voo, contribuindo para a ocorrência de acidentes e incidentes. Assim, numa primeira fase, foi feita uma contextualização teórica do tema do trabalho e, posteriormente, as ferramentas utilizadas para a monitorização da fadiga dos participantes foram apresentadas.

O caso de estudo contou com a participação de quatro pilotos de linha aérea e, através da realização do trabalho experimental, verificou-se que os pilotos 1 e 3 foram os únicos que atingiram, em média, a quantidade de sono aconselhada, mas que apenas o piloto 3 teve um sono de boa qualidade (os restantes registaram demasiados despertares por hora de sono). Além do sono, que todos os pilotos consideram desempenhar um papel fulcral no seu estado de alerta, foi possível encontrar, com base nos registos no DS, outros fatores que parecem afetar o desempenho dos pilotos, nomeadamente: a ingestão de refeições pesadas prejudica o RT do piloto 1; a realização de sestas e a ingestão de duas doses de cafeína contribuem para uma diminuição do RT do piloto 2; o consumo de álcool aumenta o RT do piloto 3, mas a ingestão de três bebidas com cafeína contribui para a sua melhoria.

⁶ O GPIAAF refere-se à fadiga cognitiva da tripulação de voo apenas com o termo “fadiga”.

Comparando os resultados subjetivos provenientes da autoavaliação na escala SPS com os objetivos referentes à realização dos testes PVT, os dados do piloto 1 mostraram um certo grau de correspondência entre as duas medidas, o que indica que este piloto estava consciente da alteração dos seus níveis de desempenho. Por sua vez, os dados dos pilotos 2 e 3 não mostraram a mesma correspondência, pelo que estes pilotos não são bons avaliadores do seu estado de alerta.

Foram analisados onze setores de voo, num total de sete FDPs. Ao longo destes FDPs, a sensação de fadiga dos pilotos aumentou gradualmente, havendo, inclusivamente, registos do segundo nível mais alto de fadiga da escala SPS, o nível 6, associado a um risco alto para a ocorrência de erro humano. Em muitos dos segmentos analisados, também o RT dos pilotos sofreu um aumento entre o início e o final dos voos e, classificando o risco com base nos resultados dos testes PVT, certos setores terminaram com um risco elevado ou alto de acidente ou erro grave.

Tendo em consideração a duração de alguns dos FDPs, foi possível observar variações significativas nas pontuações de fadiga produzidas pelos modelos SAFTE™ e FAID® *Time Zone*. No entanto, observou-se uma maior variação do risco quando a avaliação era feita pelo primeiro modelo referido, havendo um voo que se iniciou com um risco de acidente ou erro grave baixo, mas que terminou com o maior nível de risco contemplado pelo modelo (risco muito alto).

Como se compreende pelos resultados apresentados, todos os pilotos de linha aérea sentiram os efeitos da fadiga cognitiva nos segmentos de voo estudados, pelo que esta pode, de facto, constituir uma das causas das ocorrências registadas no ramo do transporte aéreo.

5.2. Considerações Finais

O objetivo geral e os três primeiros objetivos específicos deste trabalho foram atingidos, na medida em que foi possível avaliar, através das metodologias aplicadas, de que forma a evolução da fadiga cognitiva dos pilotos de linha aérea participantes pode contribuir para a ocorrência de acidentes e incidentes. Contudo, devido ao reduzido volume de voos no período de condução do trabalho experimental, não foi possível cumprir plenamente o último dos objetivos específicos definidos inicialmente, que dizia respeito aos efeitos das diferenças de fuso horário (voos transmeridianos) no desempenho dos pilotos.

5.3. Perspetivas para Trabalhos Futuros

A Segurança de Voo assenta numa filosofia de melhoria contínua. Assim, como comentário final, são apresentadas algumas linhas de investigação que, constituindo limitações da presente dissertação, podem ser seguidas no futuro, nomeadamente:

- Adicionar um maior número de voos transmeridianos, em ambos os sentidos (Este – Oeste e Oeste – Este), de modo a ser possível observar as diferenças dos efeitos do *jet lag* no desempenho dos pilotos;
- Analisar FDPs compostos por mais do que dois setores de voo, por forma a verificar as alterações que ocorrem nos RTs dos pilotos e na sua perceção de fadiga;
- Introduzir a realização de testes PVT e a classificação do estado atual, de acordo com a escala SPS, nas fases inicial e final do voo de cruzeiro;
- Aumentar a população do caso de estudo, analisando dados de mais pilotos, de ambos os géneros e de diversas faixas etárias.

Referências

- [1] Min, H., and Joo, S. J. “A Comparative Performance Analysis of Airline Strategic Alliances Using Data Envelopment Analysis.” *Journal of Air Transport Management*, Vol. 52, 2016, pp. 99–110. doi:10.1016/j.jairtraman.2015.12.003.
- [2] Airbus. *Global Market Forecast - Cities, Airports & Aircraft: 2019-2038*. 2019.
- [3] Rankin, W. “MEDA Investigation Process.” *AERO QTR_02*, 2007, pp. 14–21.
- [4] Shappell, S., Detwiler, C., Holcomb, K., Hackworth, C., Boquet, A., and Wiegmann, D. A. “Human Error and Commercial Aviation Accidents: An Analysis Using the Human Factors Analysis and Classification System.” *Human Factors*, Vol. 49, No. 2, 2007, pp. 227–242. doi:10.1518/001872007X312469.
- [5] Rocha, J. *Pilots Performance and Flight Safety The Case of Cognitive Fatigue in Unpressurized Aircraft Cabins*. Universidade da Beira Interior, 2019.
- [6] GPIAAF. SÍNTESE DOS ACIDENTES E INCIDENTES COM AERONAVES CIVIS. <http://www.gpiaa.gov.pt>. Accessed Oct. 18, 2020.
- [7] GPIAAF. *Aterragem Dura Com Contacto de Cauda || Hard Landing with Tail Strike (ARC)*. 2019.
- [8] GPIAAF. *Aterragem Dura Em Sequência de Porpoise Landing || Hard Landing during a Porpoise Landing*. 2019.
- [9] Reis, C., Mestre, C., and Canhão, H. “Prevalence of Fatigue in a Group of Airline Pilots.” *Aviation Space and Environmental Medicine*, Vol. 84, 2013, pp. 828–833. doi:10.3357/ASEM.3548.2013.
- [10] IATA, ICAO, and IFALPA. *Fatigue Management Guide for Airline Operators*. 2015.
- [11] Coelho, A. *Psychophysiological Factors Analysis in Unpressurized Aircraft Cabins*. Universidade da Beira Interior, 2014.
- [12] Zorro, S. *Pilots Performance and Flight Safety: Flight Physiology In Unpressurized Aircraft Cabins*. Universidade da Beira Interior, 2012.
- [13] Marques, A. *Unpressurized Light Aviation Aircrafts Flight and Physiological Data Acquisition System*. Universidade da Beira Interior, 2012.

- [14] Rocha, L. *Desempenho de Pilotos e Segurança de Voo: O Caso Da Hipoxia Em Aviação Desportiva*. Universidade da Beira Interior, 2011.
- [15] Fonseca, A. *Voo à Vela Em Altitude e Próximo de Montanhas: Efeitos Fisiológicos e Desempenho Em Pilotos de Planador*. Universidade da Beira Interior, 2010.
- [16] Boeing. Human Factors.
http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero_08/human_textonly.html. Accessed Apr. 25, 2020.
- [17] Health and Safety Executive. *Reducing Error and Influencing Behaviour*. The Stationery Office, Norwich, 1999.
- [18] Kozuba, J. “The Role of the Human Factor in Maintaining the Desired Level of Air Mission Execution Safety.” *International Conference of Scientific Paper AFASES*, 2013, pp. 629–645.
- [19] Martins, R. *Classificação e Análise de Fatores Humanos Nos Acidentes e Incidentes Na Força Aérea*. Academia da Força Aérea, 2016.
- [20] SKYbrary. The Human Factors “Dirty Dozen.”
https://www.skybrary.aero/index.php/The_Human_Factors_%22Dirty_Dozen%22#cite_note-2. Accessed Mar. 17, 2020.
- [21] Civil Aviation Safety Authority Australia. *Safety Behaviours: Human Factors for Engineers Resource Guide*. 2013.
- [22] Thompson, R. “Enhancing Aviation Maintenance Training Using Scenario-Based Education.” *National Training Aircraft Symposium*, 2018.
- [23] ICAO. *Annex 13 to the Convention on International Civil Aviation: Aircraft Accident and Incident Investigation*. 2016.
- [24] Shappell, S., and Wiegmann, D. “The Human Factors Analysis and Classification System – HFACS.” 2000. doi:10.1177/1062860613491623.
- [25] Reason, J. “The Contribution of Latent Human Failures to the Breakdown of Complex Systems.” *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, Vol. 327, 1990, pp. 475–484. doi:10.1098/rstb.1990.0090.

- [26] Dönmez, K., and Uslu, S. “The Relationship between Flight Operations and Organizations in Aircraft Accidents; The Application of the Human Factor Analysis and Classification System.” *Anadolu University Journal of Science and Technology A - Applied Sciences and Engineering*, 2018, pp. 316–333. doi:10.18038/aubtda.348219.
- [27] FAA. *Advisory Circular: Basics of Aviation Fatigue*. 2010.
- [28] Kandra, B., Škultéty, F., and Mesárošová, K. “Consequences of Flight Crew Fatigue on the Safety of Civil Aviation.” *Transportation Research Procedia*, Vol. 43, 2019, pp. 278–289. doi:10.1016/j.trpro.2019.12.043.
- [29] SKYbrary. Fatigue.
<https://www.skybrary.aero/index.php/Fatigue>. Accessed Apr. 9, 2020.
- [30] FAA. *Advisory Circular: Fitness for Duty*. 2012.
- [31] Reis, C., Mestre, C., Canhão, H., Gradwell, D., and Paiva, T. “Sleep Complaints and Fatigue of Airline Pilots.” *Sleep Science*, Vol. 9, 2016, pp. 73–77. doi:10.1016/j.slsci.2016.05.003.
- [32] SKYbrary. Fatigue Manifestations.
[https://www.skybrary.aero/index.php/Fatigue_Manifestations_\(OGHFA_BN\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Fatigue_Manifestations_(OGHFA_BN)). Accessed Apr. 9, 2020.
- [33] ECA. *Barometer on Pilot Fatigue*. 2012.
- [34] National Sleep Foundation. Stages of Human Sleep.
<https://sleepdisorders.sleepfoundation.org/chapter-1-normal-sleep/stages-of-human-sleep/>. Accessed Apr. 19, 2020.
- [35] Waterhouse, J., Fukuda, Y., and Morita, T. “Daily Rhythms of the Sleep-Wake Cycle.” *Journal of Physiological Anthropology*, Vol. 31, 2012, pp. 1–14. doi:10.1186/1880-6805-31-5.
- [36] Isaac, A. “Dying for a Rest: How Much of a Problem Is Fatigue?” *HindSight*, Vol. 13, 2011.
- [37] Hartzler, B. M. “Fatigue on the Flight Deck: The Consequences of Sleep Loss and the Benefits of Napping.” *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 62, 2014, pp. 309–318. doi:10.1016/j.aap.2013.10.010.

- [38] Orzeł-Gryglewska, J. “Consequences of Sleep Deprivation.” *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, Vol. 23, 2010, pp. 95–114. doi:10.2478/v10001-010-0004-9.
- [39] Wise, J. A., Hopkin, V. D., and Garland, D. J. *Handbook of Aviation Human Factors: Second Edition*. CRC Press Taylor & Francis Group, 2010.
- [40] Ashbrook, L. H., Krystal, A. D., Fu, Y. H., and Ptáček, L. J. “Genetics of the Human Circadian Clock and Sleep Homeostat.” *Neuropsychopharmacology Reviews*, 2019. doi:10.1038/s41386-019-0476-7.
- [41] Waterhouse, J., Reilly, T., Atkinson, G., and Edwards, B. “Jet Lag: Trends and Coping Strategies.” *Lancet*, Vol. 369, 2007, pp. 1117–1129. doi:10.1016/S0140-6736(07)60529-7.
- [42] Chai, S. Y., and Flaherty, G. T. “Lagging Behind – The Emerging Influence of Jet Lag Symptoms on Road Safety.” *International Journal of Travel Medicine and Global Health*, Vol. 7, 2019, pp. 39–44. doi:10.15171/ijtmgh.2019.09.
- [43] InterDynamics. *DATASHEET FAID Time Zone for Transmeridian Operations*. 2014.
- [44] Powell, D. M. C., Spencer, M. B., Holland, D., Broadbent, E., and Petrie, K. J. “Pilot Fatigue in Short-Haul Operations: Effects of Number of Sectors, Duty Length, and Time of Day.” *Aviation Space and Environmental Medicine*, Vol. 78, 2007, pp. 698–701.
- [45] Comissão Europeia. “Regulamento (UE) N.º 83/2014 Da Comissão de 29 de Janeiro de 2014.” *Jornal Oficial da União Europeia*, 2014.
- [46] Göker, Z. “Fatigue in The Aviation: An Overview of The Measurements and Countermeasures.” *Journal of Aviation*, Vol. 2, No. 2, 2018, pp. 185–194. doi:10.30518/jav.451741.
- [47] Millar, M. “Measuring Fatigue.” *Asia-Pacific FRMS Seminar*, 2012.
- [48] ICAO. Biographies.
[https://www.icao.int/Meetings/ngap2018/Bios/Michelle Millar.pdf](https://www.icao.int/Meetings/ngap2018/Bios/Michelle%20Millar.pdf). Accessed May 28, 2020.

- [49] InterDynamics. What Does FAID Stand For?
<https://www.interdynamics.com/faqwd/what-does-faid-stand-for/>. Accessed Oct. 8, 2020.
- [50] National Sleep Foundation. Sleep Diary.
<https://www.sleepfoundation.org/sites/default/files/inline-files/SleepDiaryv6.pdf>. Accessed May 30, 2020.
- [51] Greenberg, S., Aislinn, P., and Kirsten, D. “Development and Validation of the Fatigue State Questionnaire: Preliminary Findings.” *The Open Psychology Journal*, Vol. 9, 2016, pp. 50–65. doi:10.2174/1874350101609010050.
- [52] IOGP, and IPIECA. Managing Fatigue in the Workplace.
https://www.ipieca.org/media/4734/managing_fatigue_perelli_2019.pdf. Accessed May 31, 2020.
- [53] Powell, D., Spencer, M. B., Holland, D., and Petrie, K. J. “Fatigue in Two-Pilot Operations: Implications for Flight and Duty Time Limitations.” *Aviation Space and Environmental Medicine*, Vol. 79, 2008, pp. 1047–1050. doi:10.3357/ASEM.2362.2008.
- [54] Brunet, J. F., Dagenais, D., Therrien, M., Gartenberg, D., and Forest, G. “Validation of Sleep-2-Peak: A Smartphone Application That Can Detect Fatigue-Related Changes in Reaction Times during Sleep Deprivation.” 2016. doi:10.3758/s13428-016-0802-5.
- [55] CWE. PVT-192 Reaction Timer.
<https://www.cwe-inc.com/products/other-instruments/pvt-192-reaction-timer>. Accessed Jun. 1, 2020.
- [56] App Store. Sleep-2-Peak, Sleep Need Tool.
<https://apps.apple.com/us/app/sleep-2-peak-sleep-need-tool/id557632863>. Accessed Jun. 1, 2020.
- [57] Sleep-2-Peak. How It Works.
<https://sleep-2-peak.com/workplace-sleep-health/>. Accessed Jun. 1, 2020.
- [58] Fatigue Science. *The Science of Sleep and Workplace Fatigue*. 2017.
- [59] Russel, C. A.; Caldwell, J. A.; Arand, D.; Myers, L. J.; Wubbels, P.; Downs, H. “Validation of the Fatigue Science Readiband™.”

- [60] Fatigue Science. Readiband Technical Specifications.
<https://help.fatiguescience.com/en/articles/437365-readiband-technical-specifications>. Accessed Jun. 6, 2020.
- [61] Fatigue Science. *INDIVIDUAL SLEEP AND EFFECTIVENESS ANALYSYS*. 2013.
- [62] App Store. Readiband by Fatigue Science.
<https://apps.apple.com/us/app/readiband-by-fatigue-science/id1042111872>. Accessed Jun. 6, 2020.
- [63] Fatigue Science. Customer Area.
https://app.fatiguescience.com/users/sign_in. Accessed Aug. 30, 2020.
- [64] Fatigue Science. *Predictive Fatigue Risk Management for Mining*. 2017.
- [65] InterDynamics. *Context and Use of FAID*. 2014.
- [66] McCulloh, K., Baker, A., Ferguson, S., Fletcher, A., Dawson, D., Marcil, I., Booth-Bordeau, J., and Laurence, M. *Fatigue Risk Management System for the Canadian Aviation Industry: Introduction to Fatigue Audit Tools*. 2007.
- [67] InterDynamics. *What You Need to Know about FAID Time Zone*. 2014.
- [68] euroAtlantic Airways. *FAID: Informações Obtidas Junto Do Departamento Das Escalas*. Lisboa, 2020.
- [69] Great Circle Mapper. <http://www.gcmap.com>. Accessed Aug. 31, 2020.
- [70] euroAtlantic Airways. *RT: Informações Obtidas Junto Do Departamento de Safety*. Lisboa, 2020.
- [71] Roma, P. G., Hursh, S. R., Mead, A. M., and Nesthus, T. E. *Flight Attendant Work/Rest Patterns, Alertness, and Performance Assessment: Field Validation of Biomathematical Fatigue Modeling*. 2012.
- [72] Independent Transport Safety Regulator. *Transport Safety Alert: Use of Bio-Mathematical Models in Managing Risks of Human Fatigue in the Workplace*. 2010.

Apêndices

Apêndice I: Documento Entregue aos Pilotos de Linha Aérea Participantes no Estudo



Nuno Mota Vieira da Câmara Quental

Fatores Humanos e Segurança de Voo O Caso da Fadiga Cognitiva em Pilotos de Linha Aérea

Documentos a preencher pelos pilotos participantes no estudo

Orientador: Prof. Doutor Jorge Miguel dos Reis Silva

Índice

| | |
|--|-----|
| 1. Instruções | 105 |
| 1.1. Dias e Horários de Preenchimento dos Documentos | 105 |
| 1.2. <i>Samn-Perelli 7-Point Fatigue Scale</i> | 105 |
| 1.3. <i>Psychomotor Vigilance Task</i> | 105 |
| 1.4. <i>Actiwatch Readiband</i> TM 5..... | 106 |
| 2. Parte I – Questionário..... | 108 |
| 3. Parte II – Diário de Sono | 111 |
| 4. Parte III – Tabela dos Dias de Voo | 115 |
| 5. Nota Final..... | 120 |

1. Instruções

1.1. Dias e Horários de Preenchimento dos Documentos

O ‘Diário de Sono’ (Parte II) é preenchido todos os dias, de manhã (ao acordar) e à noite (ao deitar).

A ‘Tabela dos Dias de Voo’ (Parte III) é preenchida apenas nos dias de voo:

- Nos casos em que o período de serviço de voo é constituído apenas por um setor, a tabela deve ser preenchida antes e após a realização do mesmo;
- Nos casos em que o período de serviço de voo é constituído por mais do que um setor, a tabela deve ser preenchida antes do início do primeiro setor e após a realização de cada setor (incluindo o primeiro).

1.2. *Samn-Perelli 7-Point Fatigue Scale*

Às perguntas “Como classificaria, de 1 a 7, o seu estado ao acordar (SPS)?” e “Como classificaria, de 1 a 7, o seu estado ao deitar (SPS)?” (Parte II) e na secção “Escala SPS (1 a 7)” (Parte III), a pontuação deve ser atribuída de acordo com as seguintes descrições:

- 1 - Totalmente alerta, bem desperto;
- 2 - Muito ativo, responsivo, mas não no pico;
- 3 - Bem, relativamente fresco;
- 4 - Um pouco cansado, não muito fresco;
- 5 - Moderadamente cansado, em baixo;
- 6 - Extremamente cansado, com dificuldade de concentração;
- 7 - Completamente exausto, incapaz de funcionar de forma eficaz.

1.3. *Psychomotor Vigilance Task*

Na realização do teste PVT, cujo resultado é posteriormente anotado nas secções “Resultado do teste PVT (s2P) [ms]:” (Parte II) e “Teste PVT (s2P) [ms]” (Parte III), apenas é necessário:

- Abrir a aplicação *sleep-2-Peak (s2P)* no *smartphone*;
- Premir “*Do test*” (primeira imagem da Figura 1);
- Premir “*Start test*” (segunda imagem da Figura 1);



- Após o início do teste, clicar no ecrã do *smartphone* sempre que surge o estímulo visual, um sol (terceira imagem da Figura 1);
- Quando terminado o teste, tem-se, imediatamente, acesso ao resultado (quarta imagem da Figura 1).

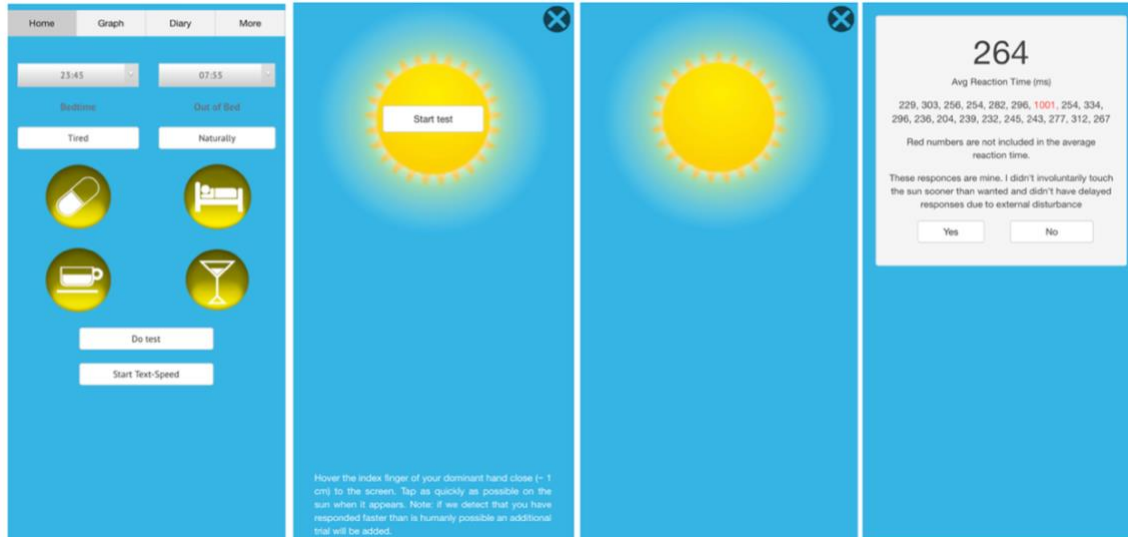


Figura 1: Utilização da aplicação s2P.

Durante os 3 minutos de realização do teste, de modo a evitar-se distrações, o *smartphone* deve, idealmente, estar em modo de voo. Para além disso, deve:

- Estar sentado(a) e com uma postura correta;
- Manter os dois pés assentes no chão;
- Manter os braços e costas sem estarem apoiados;
- Segurar o aparelho com a mão não dominante e ao nível do abdómen;
- Colocar o dedo indicador dominante a uma distância de 1cm do ecrã.

1.4. *Activatch Readiband*TM 5

Durante todo o período de realização deste estudo, o *activatch* deve ser mantido no pulso, exceto durante o banho ou outras atividades que o possam colocar em contacto direto com a água.

Idealmente, o *Readiband*TM 5 é sincronizado com o *smartphone* todos os dias de manhã, ao acordar, de modo a que a pessoa responsável pela gestão da recolha de dados verifique, diariamente (de forma remota), se os dados estão a ser devidamente recolhidos. Este emparelhamento não fornece a localização do utilizador do dispositivo, uma vez que este não possui sensor de GPS. Para efetuar esta sincronização, apenas é necessário:

- Abrir a aplicação *Readi by Fatigue Science* no *smartphone*;
- Ligar o *Wi-Fi* (ou os dados móveis) e o *Bluetooth* do *smartphone*;
- Esperar que surja no ecrã a seguinte sequência de mensagens: “*Syncing...*”
– “*Analysing your data...*” – “*Synced 1 minute ago*”.



Após estas etapas, o utilizador consegue ter acesso aos dados referentes ao seu sono, podendo fechar a aplicação e desligar o *Wi-Fi* (ou os dados móveis) e o *Bluetooth* do *smartphone*.

2. Parte I – Questionário

1. Data de nascimento: _____ / _____ / _____

2. Género: Masculino _____ Feminino _____

3. Há quanto tempo possui a licença de Piloto de Linha Aérea de Avião – ATPL(A)?

_____ anos _____ meses

4. No momento em que está a responder a este questionário, quantas horas de voo tem realizadas como Piloto de Linha Aérea de Avião?

_____ horas

5. A fadiga cognitiva resulta, frequentemente, da perda de sono ou da interrupção do padrão normal de sono. Esta diz respeito a uma diminuição geral da atenção e da capacidade de realizar tarefas com a eficiência desejável, levando, por exemplo, ao aumento do tempo de reação e à diminuição da capacidade de tomada de decisões. Alguma vez sentiu, durante a atividade de pilotagem, os efeitos da fadiga cognitiva?

Sim _____ Não _____

6. Assinale os fatores que considera terem uma influência negativa no seu estado de alerta e, conseqüentemente, nos seus níveis de desempenho?

| | |
|---------------------------------|--|
| Horas de sono na noite anterior | |
| Caféina | |
| Nicotina | |
| Álcool | |
| Tipo de alimentação | |

7. Nos dias em que se sente cansado(a), adota alguma medida para mitigar esta fadiga? Se sim, quais (ex.: fazer uma sesta)?

Sim _____ Não _____

Exemplos: _____

8. Diria que o seu sono é reparador?

Sim _____ Não _____

9. Em média, quantas horas dorme por noite?

_____ horas

10. Sente que acorda demasiadas vezes durante a noite?

Sim _____ Não _____

11. É praticante regular de exercício físico?

Sim _____ Não _____

12. De uma forma geral, realiza mais voos transmeridianos (com alterações significativas do fuso horário) ou voos segundo o mesmo meridiano?

Mais voos transmeridianos _____ Mais voos segundo o mesmo meridiano _____

13. Comparativamente a voos realizados segundo o mesmo meridiano, diria que, após os voos transmeridianos, sente os efeitos da fadiga cognitiva de forma mais acentuada?

Sim _____ Não _____

14. Comparativamente a voos transmeridianos, diria que, após os voos realizados segundo o mesmo meridiano, sente os efeitos da fadiga cognitiva de forma mais acentuada?

Sim _____ Não _____

15. De uma forma geral, realiza mais períodos de serviço de voo compostos apenas por um voo ou por mais do que um voo?

Apenas um voo _____ Mais do que um voo (em média, quantos?) _____

16. Comparativamente a um período de serviço de voo composto apenas por um voo, diria que sente os efeitos da fadiga cognitiva de forma mais acentuada quando realiza mais do que um voo?

Sim _____ Não _____

17. Comparativamente a um período de serviço de voo composto por mais do que um voo, diria que sente os efeitos da fadiga cognitiva de forma mais acentuada quando realiza apenas um voo?

Sim _____ Não _____

3. Parte II – Diário de Sono

| Dia | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| Preencher de manhã, ao acordar | | | | | |
| Hora a que se deitou: | | | | | |
| Hora a que se levantou: | | | | | |
| Tempo que demorou até adormecer: | | | | | |
| Número de vezes que acordou durante a noite: | | | | | |
| Como classificaria, de 1 a 7, o seu estado ao acordar (SPS)? | | | | | |
| Resultado do teste PVT (s2P) [ms]: | | | | | |
| Preencher à noite, ao deitar | | | | | |
| Fez uma sesta? Se sim, a que horas e qual a duração? | | | | | |
| Praticou exercício físico? Se sim, a que horas e qual a duração? | | | | | |
| Número de bebidas com cafeína: | | | | | |
| Número de bebidas alcoólicas: | | | | | |
| Número de cigarros: | | | | | |
| Ingeriu uma refeição pesada nas 2/3 horas que antecederam o momento a que se está a deitar? | | | | | |
| Como classificaria, de 1 a 7, o seu estado ao deitar (SPS)? | | | | | |
| Resultado do teste PVT (s2P) [ms]: | | | | | |

| Dia | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|----------|----------|----------|----------|-----------|
| Preencher de manhã, ao acordar | | | | | |
| Hora a que se deitou: | | | | | |
| Hora a que se levantou: | | | | | |
| Tempo que demorou até adormecer: | | | | | |
| Número de vezes que acordou durante a noite: | | | | | |
| Como classificaria, de 1 a 7, o seu estado ao acordar (SPS)? | | | | | |
| Resultado do teste PVT (s2P) [ms]: | | | | | |
| Preencher à noite, ao deitar | | | | | |
| Fez uma sesta? Se sim, a que horas e qual a duração? | | | | | |
| Praticou exercício físico? Se sim, a que horas e qual a duração? | | | | | |
| Número de bebidas com cafeína: | | | | | |
| Número de bebidas alcoólicas: | | | | | |
| Número de cigarros: | | | | | |
| Ingeriu uma refeição pesada nas 2/3 horas que antecederam o momento a que se está a deitar? | | | | | |
| Como classificaria, de 1 a 7, o seu estado ao deitar (SPS)? | | | | | |
| Resultado do teste PVT (s2P) [ms]: | | | | | |

| Dia | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Preencher de manhã, ao acordar | | | | | |
| Hora a que se deitou: | | | | | |
| Hora a que se levantou: | | | | | |
| Tempo que demorou até adormecer: | | | | | |
| Número de vezes que acordou durante a noite: | | | | | |
| Como classificaria, de 1 a 7, o seu estado ao acordar (SPS)? | | | | | |
| Resultado do teste PVT (s2P) [ms]: | | | | | |
| Preencher à noite, ao deitar | | | | | |
| Fez uma sesta? Se sim, a que horas e qual a duração? | | | | | |
| Praticou exercício físico? Se sim, a que horas e qual a duração? | | | | | |
| Número de bebidas com cafeína: | | | | | |
| Número de bebidas alcoólicas: | | | | | |
| Número de cigarros: | | | | | |
| Ingeriu uma refeição pesada nas 2/3 horas que antecederam o momento a que se está a deitar? | | | | | |
| Como classificaria, de 1 a 7, o seu estado ao deitar (SPS)? | | | | | |
| Resultado do teste PVT (s2P) [ms]: | | | | | |

| Dia | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Preencher de manhã, ao acordar | | | | | |
| Hora a que se deitou: | | | | | |
| Hora a que se levantou: | | | | | |
| Tempo que demorou até adormecer: | | | | | |
| Número de vezes que acordou durante a noite: | | | | | |
| Como classificaria, de 1 a 7, o seu estado ao acordar (SPS)? | | | | | |
| Resultado do teste PVT (s2P) [ms]: | | | | | |
| Preencher à noite, ao deitar | | | | | |
| Fez uma sesta? Se sim, a que horas e qual a duração? | | | | | |
| Praticou exercício físico? Se sim, a que horas e qual a duração? | | | | | |
| Número de bebidas com cafeína: | | | | | |
| Número de bebidas alcoólicas: | | | | | |
| Número de cigarros: | | | | | |
| Ingeriu uma refeição pesada nas 2/3 horas que antecederam o momento a que se está a deitar? | | | | | |
| Como classificaria, de 1 a 7, o seu estado ao deitar (SPS)? | | | | | |
| Resultado do teste PVT (s2P) [ms]: | | | | | |

4. Parte III – Tabela dos Dias de Voo

Dia de Voo 1

Data: _____ / _____ / 2020

O período de serviço de voo terá início e fim no mesmo local? Sim _____ Não _____

No caso de ter respondido “Não” à pergunta anterior, qual a diferença de fuso horário entre o local de partida e o destino final do período de serviço de voo? + _____ h / - _____ h

| | Setor 1 | | Setor 2 | Setor 3 |
|-----------------------------|-----------------|-------------|-----------------|-----------------|
| Hora (UTC) | ____ h ____ min | ----- | ____ h ____ min | ____ h ____ min |
| Duração | ____ h ____ min | ----- | ____ h ____ min | ____ h ____ min |
| Escala SPS (1 a 7) | Antes: _____ | Após: _____ | Após: _____ | Após: _____ |
| Teste PVT (s2P) [ms] | Antes: _____ | Após: _____ | Após: _____ | Após: _____ |

Dia de Voo 2

Data: _____ / _____ / 2020

O período de serviço de voo terá início e fim no mesmo local? Sim _____ Não _____

No caso de ter respondido “Não” à pergunta anterior, qual a diferença de fuso horário entre o local de partida e o destino final do período de serviço de voo? + _____ h / - _____ h

| | Setor 1 | | Setor 2 | Setor 3 |
|-----------------------------|-----------------|-------------|-----------------|-----------------|
| Hora (UTC) | ____ h ____ min | ----- | ____ h ____ min | ____ h ____ min |
| Duração | ____ h ____ min | ----- | ____ h ____ min | ____ h ____ min |
| Escala SPS (1 a 7) | Antes: _____ | Após: _____ | Após: _____ | Após: _____ |
| Teste PVT (s2P) [ms] | Antes: _____ | Após: _____ | Após: _____ | Após: _____ |

Dia de Voo 3

Data: _____ / _____ / 2020

O período de serviço de voo terá início e fim no mesmo local? Sim _____ Não _____

No caso de ter respondido “Não” à pergunta anterior, qual a diferença de fuso horário entre o local de partida e o destino final do período de serviço de voo? +_____h / -_____h

| | Setor 1 | | Setor 2 | Setor 3 |
|-----------------------------|----------------|-------------|----------------|----------------|
| Hora (UTC) | ____h ____min | ----- | ____h ____min | ____h ____min |
| Duração | ____h ____min | ----- | ____h ____min | ____h ____min |
| Escala SPS (1 a 7) | Antes: _____ | Após: _____ | Após: _____ | Após: _____ |
| Teste PVT (s2P) [ms] | Antes: _____ | Após: _____ | Após: _____ | Após: _____ |

Dia de Voo 4

Data: _____ / _____ / 2020

O período de serviço de voo terá início e fim no mesmo local? Sim _____ Não _____

No caso de ter respondido “Não” à pergunta anterior, qual a diferença de fuso horário entre o local de partida e o destino final do período de serviço de voo? +_____h / -_____h

| | Setor 1 | | Setor 2 | Setor 3 |
|-----------------------------|----------------|-------------|----------------|----------------|
| Hora (UTC) | ____h ____min | ----- | ____h ____min | ____h ____min |
| Duração | ____h ____min | ----- | ____h ____min | ____h ____min |
| Escala SPS (1 a 7) | Antes: _____ | Após: _____ | Após: _____ | Após: _____ |
| Teste PVT (s2P) [ms] | Antes: _____ | Após: _____ | Após: _____ | Após: _____ |

Dia de Voo 5

Data: _____ / _____ / 2020

O período de serviço de voo terá início e fim no mesmo local? Sim _____ Não _____

No caso de ter respondido “Não” à pergunta anterior, qual a diferença de fuso horário entre o local de partida e o destino final do período de serviço de voo? + _____ h / - _____ h

| | Setor 1 | | Setor 2 | Setor 3 |
|-----------------------------|-----------------|-------------|-----------------|-----------------|
| Hora (UTC) | ____ h ____ min | ----- | ____ h ____ min | ____ h ____ min |
| Duração | ____ h ____ min | ----- | ____ h ____ min | ____ h ____ min |
| Escala SPS (1 a 7) | Antes: _____ | Após: _____ | Após: _____ | Após: _____ |
| Teste PVT (s2P) [ms] | Antes: _____ | Após: _____ | Após: _____ | Após: _____ |

Dia de Voo 6

Data: _____ / _____ / 2020

O período de serviço de voo terá início e fim no mesmo local? Sim _____ Não _____

No caso de ter respondido “Não” à pergunta anterior, qual a diferença de fuso horário entre o local de partida e o destino final do período de serviço de voo? + _____ h / - _____ h

| | Setor 1 | | Setor 2 | Setor 3 |
|-----------------------------|-----------------|-------------|-----------------|-----------------|
| Hora (UTC) | ____ h ____ min | ----- | ____ h ____ min | ____ h ____ min |
| Duração | ____ h ____ min | ----- | ____ h ____ min | ____ h ____ min |
| Escala SPS (1 a 7) | Antes: _____ | Após: _____ | Após: _____ | Após: _____ |
| Teste PVT (s2P) [ms] | Antes: _____ | Após: _____ | Após: _____ | Após: _____ |

Dia de Voo 7

Data: ____ / ____ / 2020

O período de serviço de voo terá início e fim no mesmo local? Sim ____ Não ____

No caso de ter respondido “Não” à pergunta anterior, qual a diferença de fuso horário entre o local de partida e o destino final do período de serviço de voo? + ____ h / - ____ h

| | Setor 1 | | Setor 2 | Setor 3 |
|-----------------------------|-----------------|------------|-----------------|-----------------|
| Hora (UTC) | ____ h ____ min | ----- | ____ h ____ min | ____ h ____ min |
| Duração | ____ h ____ min | ----- | ____ h ____ min | ____ h ____ min |
| Escala SPS (1 a 7) | Antes: ____ | Após: ____ | Após: ____ | Após: ____ |
| Teste PVT (s2P) [ms] | Antes: ____ | Após: ____ | Após: ____ | Após: ____ |

Dia de Voo 8

Data: ____ / ____ / 2020

O período de serviço de voo terá início e fim no mesmo local? Sim ____ Não ____

No caso de ter respondido “Não” à pergunta anterior, qual a diferença de fuso horário entre o local de partida e o destino final do período de serviço de voo? + ____ h / - ____ h

| | Setor 1 | | Setor 2 | Setor 3 |
|-----------------------------|-----------------|------------|-----------------|-----------------|
| Hora (UTC) | ____ h ____ min | ----- | ____ h ____ min | ____ h ____ min |
| Duração | ____ h ____ min | ----- | ____ h ____ min | ____ h ____ min |
| Escala SPS (1 a 7) | Antes: ____ | Após: ____ | Após: ____ | Após: ____ |
| Teste PVT (s2P) [ms] | Antes: ____ | Após: ____ | Após: ____ | Após: ____ |

Dia de Voo 9

Data: _____ / _____ / 2020

O período de serviço de voo terá início e fim no mesmo local? Sim _____ Não _____

No caso de ter respondido “Não” à pergunta anterior, qual a diferença de fuso horário entre o local de partida e o destino final do período de serviço de voo? + _____ h / - _____ h

| | Setor 1 | | Setor 2 | Setor 3 |
|-----------------------------|-----------------|-------------|-----------------|-----------------|
| Hora (UTC) | ____ h ____ min | ----- | ____ h ____ min | ____ h ____ min |
| Duração | ____ h ____ min | ----- | ____ h ____ min | ____ h ____ min |
| Escala SPS (1 a 7) | Antes: _____ | Após: _____ | Após: _____ | Após: _____ |
| Teste PVT (s2P) [ms] | Antes: _____ | Após: _____ | Após: _____ | Após: _____ |

Dia de Voo 10

Data: _____ / _____ / 2020

O período de serviço de voo terá início e fim no mesmo local? Sim _____ Não _____

No caso de ter respondido “Não” à pergunta anterior, qual a diferença de fuso horário entre o local de partida e o destino final do período de serviço de voo? + _____ h / - _____ h

| | Setor 1 | | Setor 2 | Setor 3 |
|-----------------------------|-----------------|-------------|-----------------|-----------------|
| Hora (UTC) | ____ h ____ min | ----- | ____ h ____ min | ____ h ____ min |
| Duração | ____ h ____ min | ----- | ____ h ____ min | ____ h ____ min |
| Escala SPS (1 a 7) | Antes: _____ | Após: _____ | Após: _____ | Após: _____ |
| Teste PVT (s2P) [ms] | Antes: _____ | Após: _____ | Após: _____ | Após: _____ |

5. Nota Final

Caso necessite de esclarecer alguma questão, não hesite, por favor, em recorrer a qualquer um dos seguintes contactos:

- Telemóvel: (+351) 96*****;
- E-mail: n*****@ubi.pt ou n*****@gmail.com.

Todos os dados preenchidos são anónimos. No documento final da dissertação de mestrado em que se integra este estudo da fadiga cognitiva, nunca será mencionado o nome dos participantes. A identificação será feita como ‘Piloto de Linha Aérea 1’, ‘Piloto de Linha Aérea 2’, e assim sucessivamente.

Muito obrigado por participar neste trabalho.

Apêndice II: Risco Associado ao Piloto de Linha Aérea 1

| Aumento do RT [%] | RT (teste PVT) [ms] | Risco de acidente ou erro grave |
|-------------------|---------------------|---------------------------------|
| [0;11] | [413,00 ; 458,43] | Muito baixo |
|]11;25] |]458,43 ; 516,25] | Baixo |
|]25;43] |]516,25 ; 590,59] | Elevado |
|]43;67] |]590,59 ; 689,71] | Alto |
|]67;100] |]689,71 ; 826,00] | Muito alto |

| Risco \ Voo | Setor LIS – LOS | | Setor LOS – LIS |
|----------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| | SPS | Antes: Moderado | Após: Alto |
| Teste PVT (RT) | Antes: Elevado | Após: Elevado | Após: Elevado |
| SAFTE™ | Antes: Muito baixo | Após: Baixo | Após: Baixo |
| FAID® | | Após: Baixo | Após: Baixo |

| Risco \ Voo | Setor TMS – LIS | |
|----------------|--------------------|-------------------|
| | SPS | Antes: Baixo |
| Teste PVT (RT) | Antes: Baixo | Após: Baixo |
| SAFTE™ | Antes: Muito baixo | Após: Muito baixo |
| FAID® | | Após: Baixo |

Apêndice III: Bebidas com Cafeína/Álcool (Pilotos 2 e 3)

| Dia | Piloto 2 | Piloto 3 | |
|-----|---------------------|---------------------|--------------------|
| | Bebidas com cafeína | Bebidas com cafeína | Bebidas alcoólicas |
| 1 | 1 | 3 | 0 |
| 2 | 1 | 3 | 0 |
| 3 | 1 | 3 | 0 |
| 4 | 1 | 1 | 8 |
| 5 | 1 | 1 | 2 |
| 6 | 1 | 2 | 0 |
| 7 | 1 | 1 | 0 |
| 8 | 1 | 2 | 0 |
| 9 | 1 | 2 | 4 |
| 10 | 1 | 2 | 0 |
| 11 | 0 | 3 | 3 |
| 12 | 1 | 3 | 0 |
| 13 | 1 | 3 | 3 |
| 14 | 2 | 3 | 0 |
| 15 | 1 | 2 | 0 |
| 16 | 1 | | |
| 17 | 1 | | |
| 18 | 0 | | |

Apêndice IV: Risco Associado ao Piloto de Linha Aérea 2

| Aumento do RT [%] | RT (teste PVT) [ms] | Risco de acidente ou erro grave |
|-------------------|---------------------|---------------------------------|
| [0;11] | [157,00 ; 174,27] | Muito baixo |
|]11;25] |]174,27 ; 196,25] | Baixo |
|]25;43] |] 196,25 ; 224,51] | Elevado |
|]43;67] |]224,51 ; 262,19] | Alto |
|]67;100] |]262,19 ; 314,00] | Muito alto |

| Risco \ Voo | Setor LIS – LOS | | Setor LOS – LIS |
|----------------|--------------------|-------------------|-----------------|
| | SPS | Antes: Baixo | Após: Baixo |
| Teste PVT (RT) | Antes: Baixo | Após: Muito baixo | Após: Baixo |
| SAFTE™ | Antes: Muito baixo | Após: Baixo | Após: Elevado |
| FAID® | | Após: Baixo | Após: Baixo |

| Risco \ Voo | Setor DWC – KBL | | Setor KBL – DWC |
|----------------|-----------------|---------------|------------------|
| | SPS | Antes: Baixo | Após: Baixo |
| Teste PVT (RT) | Antes: Baixo | Após: Elevado | Após: Elevado |
| SAFTE™ | Antes: Baixo | Após: Baixo | Após: Muito alto |
| FAID® | Antes: Baixo | Após: Baixo | Após: Moderado |

Apêndice V: Risco Associado ao Piloto de Linha Aérea 3

| Aumento do RT [%] | RT (teste PVT) [ms] | Risco de acidente ou erro grave |
|-------------------|---------------------|---------------------------------|
| [0;11] | [160,0 ; 177,6] | Muito baixo |
|]11;25] |]177,6 ; 200,0] | Baixo |
|]25;43] |]200,0 ; 228,8] | Elevado |
|]43;67] |]228,8 ; 267,2] | Alto |
|]67;100] |]267,2 ; 320,0] | Muito alto |

| Risco \ Voo | Setor LIS - DWC | |
|----------------|--------------------|-------------------|
| SPS | Antes: Baixo | Após: Moderado |
| Teste PVT (RT) | Antes: Muito baixo | Após: ---- |
| SAFTE™ | Antes: Muito baixo | Após: Muito baixo |
| FAID® | | Após: Baixo |

| Risco \ Voo | Setor LIS – TMS | | Setor TMS – LIS |
|----------------|-----------------|-------------|-----------------|
| SPS | Antes: Baixo | Após: Baixo | Após: Moderado |
| Teste PVT (RT) | Antes: Elevado | Após: ---- | Após: Alto |
| SAFTE™ | Antes: Baixo | Após: Baixo | Após: Baixo |
| FAID® | | Após: Baixo | Após: Baixo |

Apêndice VI: Risco Associado ao Piloto de Linha Aérea 4

| Risco \ Voo | Setor DWC – LIS | |
|---------------------------|------------------------|--------------------|
| SPS | Antes: Baixo | Após: Alto |
| Teste PVT (RT) | Antes: ----- | Após: ----- |
| SAFTE™ | Antes: Elevado | Após: Baixo |
| FAID® | | Após: Baixo |

Apêndice VII: Artigos para Publicação

a) Artigo Submetido ao *Journal of Airline and Airport Management*

The Impact of Cognitive Fatigue on Airline Pilots Performance

Nuno Quental^{1,2}, João Rocha^{1,2}, Jorge Silva^{1,2}, Lídia Menezes³, Jorge Santos³

¹*Universidade da Beira Interior, Aerospace Sciences Department, R. Marquês D'Ávila e Bolama, 6201-001, Covilhã, Portugal*

²*CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1, 1049-001, Lisboa, Portugal*

³*Safety Department, euroAtlantic Airways, R. das Sesmarias, 3, Quinta da Beloura, 2710-692, Sintra, Portugal*

Abstract

Purpose: Air transport is a highly regulated branch of aviation, but it continues to show occurrences where human error is present. Fatigue is now recognized as a hazard which degrades human performance and can put flight safety at risk. In this regard, the general objective of this study is to assess the impact of cognitive fatigue on airline pilots and how it can contribute to the occurrence of accidents and incidents.

Methodology: Four airline pilots participated in the case study. The participants' cognitive fatigue was monitored according to four methods, being two of them of a subjective nature – the sleep diary (SD) and the Samn-Perelli 7-Point Fatigue Scale (SPS), and the other two of an objective nature – the Psychomotor Vigilance Task (PVT) and the actigraphy (actiwatch Readiband™ 5). During their flight duty periods (FDPs), the pilots' performance was also assessed according to the score delivered by a fatigue management software (FAID®).

Findings: The obtained results allowed to understand whether the pilots are aware of their alert state and to identify factors which affect their performance levels. Between the beginning and the end of each FDP, significant changes were observed concerning the assessment on the SPS scale, the reaction time (RT) and the fatigue score generated by the biomathematical models associated to the technique of the actigraphy and the software FAID®.

Originality/value: The risk of accident or serious error was classified according to the four methodologies used. Thus, it is possible to verify if there is a correspondence between the different scales or if there are scales more conservative (with a higher associated risk) than others.

Keywords: Cognitive Fatigue, Airline Pilots Performance, Flight Safety, Accidents and Incidents.

b) Artigo Submetido ao *Safety Science Journal*

The Evolution of Airline Pilots' Cognitive Fatigue Throughout the Flight Duty Period

Nuno Quental^{a,b}, João Rocha^{a,b}, Jorge Silva^{a,b}, Lídia Menezes^c, Jorge Santos^c

^a*Universidade da Beira Interior, Aerospace Sciences Department, R. Marquês D'Ávila e Bolama, 6201-001, Covilhã, Portugal*

^b*CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1, 1049-001, Lisboa, Portugal*

^c*Safety Department, euroAtlantic Airways, R. das Sesmarias, 3, Quinta da Beloura, 2710-692, Sintra, Portugal*

ABSTRACT

Despite being a highly regulated branch of aviation, air transport continues to show occurrences where human error is present. Pilot fatigue is now recognized as a hazard which affects their performance and can put flight safety at risk. In this regard, the general objective of this study is to assess the impact of cognitive fatigue on airline pilots and how it can contribute to the occurrence of accidents and incidents.

The participants' cognitive fatigue was monitored according to four methods indicated by the *International Civil Aviation Organization* (ICAO), being two of them of a subjective nature – the sleep diary (SD) and the *Samn-Perelli 7-Point Fatigue Scale* (SPS), and the other two of an objective nature – the Psychomotor Vigilance Task (PVT) and the actigraphy, which could be achieved by using the *actiwatch* Readiband™ 5. During their flight duty periods (FDPs), the pilots' performance was also assessed according to the score delivered by a fatigue management software, the FAID®.

Eleven flight sectors were analysed, in a total of seven FDPs: between the beginning and the end of each FDP, significant changes were observed concerning the assessment on the SPS scale, the reaction time (RT) and the fatigue score generated by the biomathematical models associated to the technique of the actigraphy and the *software* FAID®. These variations in the results induce a change in the risk of accident or serious error, as a result, this was classified in three different moments of the FDPs: before the first sector, after the first sector and, finally, after the second sector.

Keywords: Cognitive Fatigue, Airline Pilots Performance, Flight Safety, Accidents and Incidents.