



ESCOLA NAVAL



ta sãntõr bñ-faire

Guilherme Polainas Nepomuceno

Estudo sobre a utilização do ECDIS na execução da
navegação em águas restritas

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Ciências Militares Navais, na especialidade de Marinha



Alfeite
2020



ESCOLA NAVAL

talant de bi-faire



Guilherme Polainas Nepomuceno

*Estudo sobre a utilização do ECDIS na execução da
navegação em águas restritas*

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Ciências Militares Navais, na especialidade de Marinha

Orientação de: CFR Vítor Fernando Plácido da Conceição

O Aluno Mestrando,

O Orientador,

Guilherme Nepomuceno

Vítor Conceição

Alfeite
2020

“A ciência nunca resolve um problema sem criar pelo menos outros dez”.

-George Bernard Shaw

Dedico esta dissertação aos meus pais por todo o apoio que me têm dado durante este percurso na Escola Naval e por todos os dias me mostrarem que com esforço e dedicação os nossos objetivos podem ser alcançados.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, quero deixar aqui expresso o meu agradecimento ao meu orientador, Capitão-de-Fragata Vítor Fernando Plácido da Conceição, primeiro por ter aceite orientar a minha dissertação de mestrado, mas também por me ter apoiado e incentivado desde o primeiro momento, auxiliando-me na construção de um percurso e proporcionando-me uma inestimável liberdade de pensamento e ação.

Ao camarada Carlos André Pesseto Teles pelo material cedido e partilhado e pelos conselhos que por vezes sugeriram caminhos a seguir.

À Professora Doutora Maria Filomena Alves Teodoro pelas sugestões feitas na área da estatística que permitiram melhorar este trabalho.

Ao meu pai, Francisco Nepomuceno, pelas experientes sugestões e úteis apreciações críticas, tendo seguido de perto o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos, Cláudia Espadinha e Sebastião Beirão pelos conselhos dados ao longo deste percurso.

Agradeço a todos os restantes elementos que participaram neste estudo por se disponibilizarem para serem monitorizados e ter as suas atividades registadas.

Acrescento ainda o agradecimento aos camaradas de curso e amigos pelas partilhas de ideias e contribuições dadas para este trabalho.

Reservo as últimas linhas para agradecer à minha namorada, Inês, que com a sua presença, dedicação e carinho, me apoiou incondicionalmente, incentivando e motivando a realização da presente dissertação.

Resumo

Estudo sobre a utilização do ECDIS na execução da navegação em águas restritas

Os avanços tecnológicos que se têm registado na navegação marítima contribuem para o aumento da segurança da navegação, no entanto, a mesma tecnologia tem sido associada a erros críticos, causados pelo fator humano. Alterações nas interações entre o operador e os sistemas de apoio à decisão afetam os processos cognitivos do operador, como o conhecimento situacional e a capacidade de pensamento antecipado. Estudou-se o comportamento do operador do ECDIS, analisando as suas interações com o equipamento e restante equipa de navegação, para tentar compreender o impacto que a tecnologia e a dependência desta pode ter no seu comportamento. Os dados utilizados foram recolhidos a bordo de navios da Marinha Portuguesa, com recurso a eye-trackers envergados pelo operador do ECDIS, bem como observações etnográficas suportadas por registos vídeo, áudio e notas dos observadores relativos às atividades da ponte, na entrada e saída do porto de Lisboa, onde se verifica um aumento na carga de trabalho e atenção de toda a equipa de navegação. Realizaram-se dois questionários para medir o conhecimento situacional e o esforço de trabalho (SART e NASA-TLX). Foi ainda feita uma análise qualitativa e quantitativa dos dados, de modo a complementar a análise da informação. Testaram-se hipóteses relativas à atenção e carga de trabalho do operador do ECDIS, através da análise da duração e frequência de piscares de olhos, duração e frequência de fixações e da dilatação das pupilas, concluindo-se que a atenção e carga de trabalho variam consoante a tarefa a ser realizada. Fez-se, também, uma análise às interações entre os elementos da equipa de navegação e entre o operador do ECDIS e o equipamento. Pretende-se que os resultados contribuam para melhorar o arranjo espacial da ponte, a interface do ECDIS, a organização da equipa de navegação e o treino do operador, aumentando a eficiência e segurança da navegação em águas restritas.

Palavras-chave: Eye-trackers; ECDIS; Segurança da navegação; Movimento ocular; Processos cognitivos

Abstract

Technological breakthroughs have been made in maritime navigation, reducing errors and increasing navigation safety. However, the same technology has been associated with critical accidents, many of which caused by human errors. Changes in the interactions between the operator and the decision support system affect operators' cognitive processes, such as situational awareness and anticipated thinking. This dissertation presents a study about ECDIS operator's behaviour, analysing his interactions with both the equipment and the navigation team aiming to understand the effect as well that the dependency on technology might have on this behaviour. The used data was collected on board Portuguese Navy ships, using eye-trackers worn by the ECDIS operator, as well as audio records, video and notes taken by observers of all the activities occurring in the bridge, during the entrance and exit of the Port of Lisbon, two situations where there is an increase of the navigation team's attention and workload. Two inquiries were made to measure the situational awareness and workload (SART and NASA-TLX). Besides this, data qualitative and quantitative analysis were conducted to provide further insights. Two hypothesis regarding the ECDIS operator's attention and workload were tested through the blink and fixation respective duration and frequency analysis as well as through the pupil diameter, from which it is possible to conclude that the attention and workload vary with the type of activity conducted, but not with the operator's tiredness across time. It is intended that the results contribute to optimize team working interactions by improving the bridge and its equipments' design leading to an increase of efficiency and safety in restricted waters navigation.

Keywords: Eye-trackers; ECDIS; Navigation security; Eye movements; Cognitive processes

Índice

Introdução	1
1 ENQUADRAMENTO TEÓRICO	5
1.1 EYE TRACKERS	5
1.1.1 História	5
1.1.2 O que são eye-trackers e para que servem?	5
1.1.3 Funcionamento do olho humano	7
1.1.4 Movimentos associados ao olho humano	7
1.1.4.1 Duração dos piscares de olhos	8
1.1.4.2 Frequência dos piscares de olhos	8
1.1.4.3 Duração das fixações	9
1.1.4.4 Número de fixações	9
1.1.4.5 Diâmetro das pupilas	9
1.1.5 Mapas termais	11
1.1.6 Utilização de <i>eye-trackers</i> no estudo de equipas de navegação	11
1.2 O ECDIS na equipa de navegação	11
1.2.1 ECDIS	11
1.2.2 Utilização do ECDIS na navegação em águas restritas	12
1.2.3 Equipa de navegação	13
1.3 Fatores humanos	15
1.3.1 Processos cognitivos	16
1.3.1.1 Atenção	16
1.3.1.2 Perceção	17
1.3.1.3 Conhecimento situacional	18
1.3.1.4 Pensamento antecipado	20
1.3.1.5 Carga de trabalho	21
1.3.1.6 Aplicação de <i>eye-trackers</i> na compreensão de processos cognitivos e comportamentais	23
1.3.2 Coordenação em equipa	24
1.3.2.1 <i>Joint Activity</i>	25
1.4 Resumo	26
2 METODOLOGIA	29
2.1 Observações	29
2.1.1 Limitações	32
2.2 Processamento dos dados	32
2.2.1 Análise qualitativa	33
2.2.2 Análise quantitativa	34
2.2.2.1 Piscares de olhos:	35

2.2.2.2	Fixações	36
2.2.2.3	Diâmetro da pupila	36
2.3	Resumo	37
3	RESULTADOS	39
3.1	Observações	39
3.2	Questionário demográfico	40
3.3	Questionário SART	42
3.4	Questionário NASA-TLX (versão expandida)	44
3.5	Caracterização das observações	48
3.6	Estatística descritiva dos registos dos <i>eye-trackers</i>	56
3.6.1	Piscares de olhos	56
3.6.2	Fixações	59
3.6.3	Diâmetro das pupilas	61
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS	65
4.1	Correlação entre o nível de atenção do operador e a complexidade/tipo de tarefa	65
4.1.1	Processos disruptivos na atividade de equipa	66
4.1.2	Frequência piscares de olhos	67
4.1.3	Duração dos piscares de olhos	69
4.1.4	Diâmetro das pupilas	70
4.1.5	Fixações	71
4.2	Correlação entre o nível de atenção do operador e a duração da tarefa	73
4.2.1	Frequência dos piscares de olhos	74
4.2.2	Duração dos piscares de olhos	74
4.2.3	Diâmetro das pupilas	75
4.2.4	Fixações	76
4.3	Fatores determinantes da interação do operador do ECDIS com a equipa de navegação	77
4.4	Fatores determinantes da interação do operador do ECDIS com o equipamento	80
4.5	Impacto do estudo	84
	Conclusão	87
	Bibliografia	89
	Apêndices	97
	A Análise estatística ANOVA	97
	Anexos	103
	I Questionário Demográfico	103
	II Questionário SART	105

Lista de Figuras

1.1	<i>Eye-tracker Pupil Core</i>	6
1.2	Imagem <i>display</i> do ECDIS.	13
1.3	Sequência de relatos dos navios da Marinha Portuguesa.	14
1.4	As doze falhas fatais na navegação. Adaptado de (Maritime Coast-guard Agency, 2016).	15
1.5	Modelo do Iceberg	16
1.6	Conhecimento situacional adaptado do Modelo de Endsley (1995). Adaptado de Endsley (1995)	18
1.7	Modelo de conhecimento situacional adaptado ao navegador. Adaptado de Hareide (2019)	19
1.8	Modelo com os componentes fundamentais do trabalho em equipa. Adaptado de Salas et al. (2015).	25
1.9	Representação do modelo <i>Joint Activity</i> . Adaptado de (Klein et al., 2005).	26
2.1	Imagem descaracterizada do operador do ECDIS a envergar <i>eye-trackers</i> na ponte do navio durante observação.	29
2.2	Marcas ArUco colocadas nas extremidades do monitor do ECDIS	30
2.3	Video <i>world</i> com <i>eye-overlay</i> e vídeo da <i>action cam</i> num único <i>screen</i> de vídeo.	33
2.4	Exemplo de um mapa de projeção retirado do Nvivo.	34
3.1	Planeamento praticado pelos navios durante as observações #2, #3, #4 e #5 na entrada e saída do porto de Lisboa.	40
3.2	Respostas dos operadores do ECDIS ao questionário SART relativas às observações #1, #2, #3, #4 e #5	43
3.3	Compilação das respostas de todos os elementos presentes na ponte dos navios durante as observações #1, #2, #3, #4 e #5 (45 elementos) através de <i>boxplots</i>	44
3.4	Respostas do operador do ECDIS ao questionário NASA-TLX (versão expandida) relativas às observações #1, #2, #3, #4 e #5.	45
3.5	Respostas ponderadas do operador do ECDIS ao questionário NASA-TLX (versão simples) relativas às observações #3, #4 e #5.	46
3.6	Respostas ponderadas do operador do ECDIS ao questionário NASA-TLX (versão simples) relativas às observações #3, #4 e #5.	47
3.7	Média das respostas ponderadas das equipas de navegação ao questionário NASA-TLX (versão simples) relativas à observação #3, #4 e #5.	48

3.8	Categorias identificadas para análise das interações e comportamento dos elementos da equipa de navegação na observação #3.	49
3.9	Interações entre os vários elementos da equipa de navegação durante a observação #3.	50
3.10	Categorias das atividade do operador do ECDIS quando não se encontra a interagir com os elementos da equipa durante a observação #3.	53
3.11	Categorias das interações entre o operador do ECDIS e o equipamento durante a observação #3.	54
3.12	Gráfico <i>boxplot</i> com dados da Figura 3.12.	57
3.13	Gráfico <i>boxplot</i> com dados da Figura 3.12.	58
3.14	Histograma dos piscares de olhos após concluída a seleção dos dados entre os 50 ms e os 400 ms da observação #3.	59
3.15	Gráfico <i>boxplot</i> com dados da Figura 3.14	60
3.16	Histograma relativo à duração das fixações da observação #3.	61
3.17	Gráfico <i>boxplot</i> com dados da Figura3.15	62
4.1	Planeamento praticado pelo navio durante a observação relativa à saída do porto de Lisboa	65
4.2	Modelo explicativo da linha temporal com os eventos e respetivos piscares de olhos.	67
4.3	Diagrama explicativo do evento e respetiva duração temporal e média da duração dos piscares de olhos.	70
4.4	Modelo explicativo da linha temporal com os eventos e respetivas fixações.	72
4.5	Organograma da equipa de navegação durante a navegação em águas restritas.	78
4.6	Organograma da equipa de navegação com as interações entre o operador do ECDIS e outros elementos da equipa (a tracejado).	79
4.7	Esquema com ponte dos navios vista de cima, com posição dos sistemas e respetivos operadores (ponte do navio do tipo A, à esquerda; ponte do navio do tipo B, à direita).	79
4.8	Mapa termal relativo à observação #3 com a sequência de relatos definida pela Marinha Portuguesa.	82
4.9	Menu <i>route</i> do ECDIS.	82
4.10	Menu <i>contact information</i> do ECDIS.	83
4.11	Modelo dos modos de desempenho dos operadores de sistemas de informação. Adaptado de Reason (1990).	84
A.1	<i>Boxplot</i> resultante da análise ANOVA para comparação da média da frequência de piscares de olhos.	97
A.2	<i>Boxplot</i> resultante da análise estatística ANOVA para comparação da média da duração de piscares de olhos.	98
A.3	<i>Boxplot</i> resultante da análise estatística ANOVA para comparação da média da duração das fixações.	99
A.4	<i>Boxplot</i> resultante da análise ANOVA para comparação da média da frequência de piscares de olhos.	100

A.5	<i>Boxplot</i> resultante da análise ANOVA para comparação da média da duração de piscares de olhos.	101
A.6	<i>Boxplot</i> resultante da análise ANOVA para comparação da duração das fixações.	102

Lista de Tabelas

1.1	Tabela-resumo dos parâmetros observáveis pelos <i>eye-trackers</i> os respectivos processos cognitivos e fatores de influência.	10
1.2	Definição dos campos abrangidos pelo questionário NASA-TLX, versão expandida. Adaptado de Coelho et al. (2015).	22
2.1	Tabela com características dos operadores do ECDIS (informações retiradas do questionário demográfico)	31
3.1	Identificação das observações e respectivas características	39
3.2	Dados demográficos dos participantes da observação #1 e #2.	40
3.3	Dados demográficos dos participantes da observação #3 e #4.	41
3.4	Dados demográficos dos participantes da observação #5.	42
3.5	Interações entre elementos da equipa de navegação com o operador do ECDIS durante a observação #2.	51
3.6	Interações entre elementos da equipa de navegação com o operador do ECDIS durante a observação #3.	51
3.7	Interações entre elementos da equipa de navegação com o operador do ECDIS durante a observação #4.	52
3.8	Interações entre elementos da equipa de navegação com o operador do ECDIS durante a observação #5.	53
3.9	Número de interações entre o operador do ECDIS e o equipamento durante a observação #3.	54
3.10	Número de interações entre o operador do ECDIS e o equipamento durante a observação #4.	55
3.11	Número de interações entre o operador do ECDIS e o equipamento durante a observação #5.	55
3.12	Análise estatística relativa à totalidade dos dados da duração dos piscares de olhos da observação #3.	56
3.13	Análise estatística dos dados relativos à duração dos piscares de olhos filtrados entre os 50ms e os 400ms relativos da observação #3.	58
3.14	Análise estatística relativa à totalidade dos dados das fixações da observação #3.	59
3.15	Análise estatística relativa à totalidade das medições do diâmetro das pupilas da observação #3.	61
3.16	Análise estatística relativa às medições do diâmetro da pupila esquerda da observação #3.	63
4.1	Teste t para comparação de médias das frequências de piscares de olhos de grupos diferentes referentes à observação #3.	68

4.2	Resultados da análise estatística ANOVA para comparação da média da frequência de piscares de olhos relativa à observação #3.	69
4.3	Resultados da análise estatística ANOVA para comparação da média da duração de piscares de olhos relativas à observação #3.	70
4.4	Resultados da análise estatística ANOVA para comparação da média do diâmetro da pupila relativa à observação #3.	71
4.5	Resultados da análise estatística ANOVA para comparação da média da duração das fixações relativas à observação #3.	72
4.6	Resultados da análise ANOVA para comparação da média da frequência de piscares de olhos relativa à observação #3.	74
4.7	Resultados da análise ANOVA para comparação da média da duração de piscares de olhos relativa à observação #3.	75
4.8	Resultados da análise ANOVA para comparação da média do diâmetro da pupila relativa à observação #3.	76
4.9	Resultados da análise ANOVA para comparação da média da duração das fixações relativas à observação #3.	77

Lista de Abreviaturas, Acrónimos e Símbolos

Abreviaturas

AOI - Área de interesse

BB - Bombordo

BNL - Base Naval de Lisboa

BRG - Bearing

COG - Course over ground

CS - Conhecimento Situacional

DTG - Distance to goal

EB - Estibordo

EBL - Eletronic Bearing Line

ECDIS - Eletronic chart display and information system

EMA - Estado Maior da Armada

EMSA - European Maritime Safety Agency

EOG - Eletro-oculografia

ETA - Estimated time of arrival

GNSS - Sistema de navegação por satélite

GPS - Global positioning system

IMO - International Maritime Organization

LAT - Latitude

LDPs - Linhas de posição

LON - Longitude

MAIB - Maritime Accident Investigation Branch

MG - Momento de guinada

ms - Milissegundos

NASA-TLX - NASA Task Load Index

OQP - Oficial de quarto à ponte

POG - Foto-oculografia

POR - Point of Regard

SART - Situation Awareness Rating Technique

SENC - Sistema de cartas de navegação eletrónicas

SOG - Speed over ground

TTG - Time to goal

VHF - Very High Frequency

VOG - Vídeo-oculografia

VRM - Variable Range Marker

Introdução

Nas últimas décadas temos vindo a presenciar vários avanços tecnológicos no domínio marítimo, não só para se alcançar uma maior eficiência operacional, mas também para mitigar as causas, geralmente conhecidas, da maioria dos acidentes marítimos (IMO, 2006c). Segundo o plano estratégico da *International Maritime Organisation* (IMO), é aprovado o uso da melhor tecnologia para impulsionar a melhoria contínua e a inovação na facilitação do tráfego marítimo em linha com o objetivo de um desenvolvimento sustentável (IMO, 2015a, 2015b). Reconhece-se que as novas tecnologias revolucionaram a navegação marítima e, atualmente, têm um grande potencial para aumentar a segurança na navegação (ALLIANZ, 2012). No entanto, a incorporação destas novas tecnologias no apoio à navegação também trouxe consequências imprevistas, contribuindo para práticas inseguras, ou mesmo para acidentes ou incidentes (Dekker, 2014; IMO, 2006b).

Vários estudos reforçaram a preocupação de que os fatores humanos são a base dos acidentes marítimos (Berg, 2013; Butt et al., 2013; Grech, Horberry & Koester, 2008; IMO, 2009a; Rothblum, 2000). Segundo o relatório anual da *European Maritime Safety Agency* (EMSA) entre 2011 e 2018 estiveram envolvidos em acidentes ou incidentes marítimos 23073 navios, de onde resultaram 665 navios com danos graves ou irrecuperáveis e 696 mortes em elementos da tripulação (EMSA, 2019).

Apesar de não se terem verificado mortes nem danos materiais graves, damos como exemplo um encalhe ocorrido a 18 de setembro de 2013 no “*Varne Bank*”, (banco de areia com 8,5km, no estreito de *Dover*, em *Kent*, Inglaterra) (MAIB, 2014). O referido acidente ocorreu com o navio-tanque de transporte de químicos “*Ovit*” e a causa principal foi atribuída à má utilização do *eletronic chart and information system* (ECDIS). Segundo o relatório elaborado pela *Maritime Accident Investigation Branch* MAIB (2014), o planeamento de passagem pelo canal foi efetuado no ECDIS por um oficial pouco experiente e sem supervisão, passando diretamente sobre o banco de areia, não tendo o planeamento sido confirmado por um superior experiente antes da largada do navio. O oficial de quarto à ponte (OQP) que tomava conta da manobra na passagem do estreito limitou-se a seguir o planeamento apresentado no ECDIS, sendo a configuração inadequada para o tipo de navegação praticada e os alarmes auditivos encontravam-se desligados (MAIB, 2014).

O ECDIS é um sistema de informações geográficas usado para navegação que cumpre com a regulamentação da IMO (1995, 1998, 2006a), apresentando-se como uma alternativa às cartas náuticas em papel. Este sistema compila informação retirada de diversos equipamentos, como por exemplo o GPS, odómetro,

anemómetro, entre outros, apresentando toda esta informação num único ecrã, onde também podem ser exibidas cartas náuticas eletrónicas (IMO, 2006a). O *design* destes sistemas deve suavizar a carga de trabalho da equipa e, em particular, do navegador, tornando a navegação mais segura e eficiente, quando levadas a cabo funções de navegação complexas (Hareide et al., 2017)

Turna e Ozturk (2019) realizaram um estudo onde analisaram 80 acidentes ocorridos entre 2008 e 2018, que resultaram no encalhe de navios, concluindo que 22 desses acidentes (aproximadamente 27,5%) foram causados pela má utilização do ECDIS, devido a procedimentos incorretos, à falta de treino ou à má seleção de configurações, especialmente de alarmes.

Todo o navio deve assegurar permanentemente uma vigilância visual e auditiva apropriada (Instituto Hidrográfico, 2007, Regra 5). Cabe ao navegador coordenar uma vigia atenta com todos os meios disponíveis na ponte. Os sistemas e equipamentos disponíveis devem ser utilizados para auxiliar no planeamento, execução e monitorização da rota não devendo ser menosprezados. Cada operador deve estar treinado e qualificado a trabalhar com o seu equipamento, detetando e relatando os possíveis perigos antecipadamente, de modo a evitar colisões ou encalhes, controlar o tráfego à volta do navio, reproduzir os *displays* no modo correto e fazer uma boa gestão dos alarmes gerados pelos equipamentos, especialmente na navegação em águas restritas. A navegação em águas restritas é o tipo de navegação praticado em portos, rios, canais, barra e proximidades ou em quaisquer situações em que a navegação e manobra do navio são limitadas, exigindo grande exatidão e rapidez no controlo da posição do navio (EMA, 2008, p.6.1).

Para tratar adequadamente a adoção da mais nova tecnologia em apoio à navegação segura, a IMO (2009b) estabeleceu o conceito de e-navegação, atualmente em implementação. A avaliação e o *design* das tecnologias previstas por este conceito requerem uma melhor compreensão da forma como as equipas realizam o trabalho de navegação na prossecução de uma navegação segura (Conceição, Dahlman & Navarro, 2018).

Com o aparecimento do conceito da navegação segura, Hareide et al. (2017) demonstram preocupações relativas ao aumento do foco da atenção dos operadores nos monitores dos equipamentos presentes na ponte dos navios, em substituição da observação direta para o exterior dos navios.

O seguimento ocular é uma tecnologia que recorre a sensores que permitem que um equipamento saiba exatamente como o olho se está a movimentar e onde se está a focar. Esta informação pode ser usada para conhecer o comportamento do utilizador ou para desenhar *interfaces* de vários dispositivos, de acordo com as necessidades dos operadores (Hareide, 2019). O *eye-tracker* é o nome dado aos aparelhos que permitem conhecer a posição do olho do utilizador e o seu movimento ocular através da medição de alguns parâmetros. Os *eye-trackers* utilizados com maior frequência são no formato de óculos que garantem ao utilizador liberdade de movimento e permitem detetar e seguir os movimentos associados à pupila, estando este no ambiente normal, a realizar as tarefas e funções que lhe competem (Hareide, 2019).

Ao seguir o movimento ocular do utilizador de um equipamento, pode analisar-se o seu foco de atenção, permitindo compreender que informação captou, como a captou e a sua interpretação da mesma (Hareide, 2019). A análise da informação do movimento ocular dos operadores, enquadrada com modelos de trabalho em equipa podem ajudar a compreender o papel de um operador inserido numa equipa de navegação e compreender o seu contributo para a eficiência da navegação.

O presente estudo visa compreender o modo como as equipas de navegação realizam o seu trabalho, em particular o operador do ECDIS, com recurso à utilização de *eye-trackers*, questionários e observações etnográficas, suportadas por gravadores de vídeo, de áudio e notas dos observadores. Pretende-se perceber o papel do operador do ECDIS na equipa de navegação, em navios da Marinha Portuguesa, durante a prática de navegação em águas restritas, nomeadamente, na entrada e saída do porto de Lisboa.

Com base nos dados recolhidos, tratamento e respetiva análise, pretende-se contribuir para o desenvolvimento de soluções, nomeadamente, arranjo espacial da ponte dos navios, *interface* do ECDIS, organização da equipa de navegação e compreensão da relação entre o treino do operador do ECDIS e as funções desempenhadas. Estas soluções têm como objetivo conciliar o uso de tecnologia de apoio à navegação com práticas mais seguras, minimizando o trabalho e o erro humano.

Estruturalmente, este estudo divide-se em quatro capítulos.

O Capítulo 1 inicia-se com uma explicação sobre os *eye-trackers*, nomeadamente, o que são, a sua história e o seu propósito neste estudo. Aborda-se o funcionamento do olho humano e os movimentos associados, relacionando-os com os processos cognitivos e comportamentais associados. De seguida, explica-se o funcionamento do sistema de navegação em análise (ECDIS), especificando a sua utilização nos navios da Marinha Portuguesa, o papel do operador e o funcionamento de toda a equipa de navegação em águas restritas. O capítulo termina com uma abordagem dos fatores humanos na navegação, os processos cognitivos mais importantes na tomada de decisão e os mecanismos necessários à coordenação em equipa.

No Capítulo 2 aborda-se a metodologia adotada durante as observações nos navios da Marinha Portuguesa durante a recolha de dados para o presente estudo e as respetivas limitações. Na parte final do capítulo referem-se os métodos de processamento de dados pós-observação.

O Capítulo 3, “Resultados”, foca-se na descrição das observações e dos seus participantes, com base no questionário demográfico. Posteriormente, apresentam-se os resultados dos questionários SART e NASA-TLX e caracterizam-se as observações realizadas, aprofundando as interações entre os elementos da equipa de navegação e entre o operador do ECDIS e o equipamento. O capítulo termina com o tratamento estatístico dos dados quantitativos relativos aos movimentos oculares recolhidos pelos *eye-trackers*.

No último Capítulo analisam-se e testam-se hipóteses de investigação, com base nos dados qualitativos e quantitativos recolhidos durante as observações, tendo

em conta testes estatísticos para correlacionar os movimentos oculares dos participantes com os processos cognitivos do operador do ECDIS, permitindo tirar conclusões ou apontar caminhos sobre as hipóteses equacionadas.

O estudo culmina com a apresentação de conclusões e com a exposição de questões que ficaram em aberto, propondo sugestões para estudos futuros.

Capítulo 1

ENQUADRAMENTO TEÓRICO

1.1 EYE TRACKERS

1.1.1 História

Eye-tracker é o nome dado aos aparelhos eletrônicos que permitem conhecer a posição, movimento e diâmetro da pupila do olho do utilizador através da medição de determinados parâmetros. Os primeiros aparelhos que surgiram, no final do século XIX, eram maioritariamente mecânicos e de construção muito complexa, sendo pouco confortáveis para o utilizador. Por volta de 1950 já vários investigadores tinham desenvolvido técnicas para monitorizar o movimento do olho humano, porém, cada um necessitava de desenvolver o seu próprio aparelho, o que trazia desvantagens para os cientistas na normalização dos procedimentos, tornando-se por vezes impraticável (Holmqvist et al., 2011). Por outro lado, a principal vantagem de construir o próprio aparelho residia no facto do programa ser desenhado e operado pelo mesmo cientista, o que tornava mais fácil conhecer as definições e os filtros ideais a utilizar no equipamento (Holmqvist et al., 2011).

Hartridge and Thompson (1948) desenvolveram o primeiro *eye-tracker* montado na cabeça, permitindo uma maior liberdade de movimentos por parte dos utilizadores dos equipamentos. A década de 70 foi muito importante no desenvolvimento destes aparelhos, tornando-os cada vez menos intrusivos nas tarefas a realizar, permitindo obter melhores resultados e separar o movimento dos olhos do movimento da cabeça, incitando ao início do estudo dos conceitos de percepção e conhecimento situacional por parte da psicologia (Duchowski, 2017).

Desde a década de 90 até à atualidade, o desenvolvimento e o aumento da procura e utilização dos *eye-trackers* tem sofrido uma grande evolução (Duchowski, 2017). A escolha entre sistemas e fabricantes tem sido cada vez maior tornando os equipamentos inevitavelmente mais baratos e competitivos (Holmqvist et al., 2011).

1.1.2 O que são eye-trackers e para que servem?

Como referido anteriormente, *eye-tracker* é o nome dado aos aparelhos eletrônicos que permitem conhecer a posição do olho do utilizador e o seu movimento ocular através da medição de alguns parâmetros (Figura 1.1). *Eye-tracking* é o nome dado à atividade de medir o comportamento dos olhos, como por exemplo o sítio

para onde o utilizador está a olhar ou o movimento do olho relativamente à cabeça (Hareide & Ostnes, 2018). Segundo Hareide (2019), a comunidade científica foi a primeira a utilizar os *eye-trackers* para fazer experiências e recolher dados estatísticos sobre os mais variados assuntos. Posteriormente, estes aparelhos têm vindo a ser bastante utilizados pelos media e pela indústria publicitária para recolher facilmente dados sobre a aceitação de anúncios e campanhas. A evolução dos *eye-trackers* tornou-os cada vez mais acessíveis e fáceis de utilizar, o que levou analistas, cientistas desportivos, psicólogos, psiquiatras ou engenheiros a investir cada vez mais nestes equipamentos, verificando-se um maior desenvolvimento e competitividade na área (Holmqvist et al., 2011).



FIGURA 1.1: *Eye-tracker Pupil Core*

Fonte: Retirada de <https://pupil-labs.com/products/core/>

Duchowski (2017) afirma que existem duas técnicas principais para monitorizar o movimento ocular: a que mede o posicionamento dos olhos relativamente à cabeça e a que mede a orientação do globo ocular no espaço, conhecida como *point of regard* (POR). Estas técnicas são utilizadas principalmente para identificar elementos nalgum tipo de cenário visual. Embora existam metodologias diferentes para a medição do movimento ocular: a eletro-oculografia (*EOG*); as lentes de contacto esclerais com bobinas de pesquisa; a foto-oculografia (*POG*) ou vídeo-oculografia (*VOG*); a reflexão combinada da pupila e da córnea em vídeo, esta última é considerada a mais abrangente e é a que utilizaremos no presente estudo. Para fazer o seguimento ocular, é necessário medir tanto a reflexão da córnea, através duma fonte de luz, (normalmente infravermelho) e o centro da pupila. Por vezes são utilizadas câmaras e *hardwares* de processamento de imagem para que a monitorização seja em tempo real (Duchowski, 2017).

Segundo Drewes (2010), o mecanismo mais comum utilizado em testes médicos é o *eye-tracker* estacionário, onde o utilizador se encontra parado e sem poder movimentar a cabeça. Em estudos mais práticos os sistemas utilizados são, preferencialmente, os que não impedem a movimentação da cabeça, permitindo ao utilizador andar livremente com o aparelho. Apesar do primeiro mecanismo não permitir ao utilizador um ângulo de visão total, os dados são mais precisos devido à utilização de métodos intrusivos. No segundo sistema o equipamento acompanha o movimento da cabeça, permitindo uma maior naturalidade de reação do utilizador, porém, não assegura uma qualidade tão alta dos dados recolhidos.

1.1.3 Funcionamento do olho humano

Para funcionar, o olho deixa a luz entrar através da pupila, inverte a imagem e, posteriormente, projeta-a atrás do globo ocular (mais conhecido como retina), que se encontra preenchida com células fotossensíveis. Posteriormente, a retina converte a luz em impulsos elétricos, que são enviados através do nervo ótico até ao cérebro para serem processados. Ao analisar o movimento do olho através de métodos baseados em vídeo, a pupila é o elemento mais relevante nas medições. Contudo, a córnea não deve ser ignorada dado que cobre o exterior do olho, refletindo a luz (Holmqvist et al., 2011). Enquanto segue o olhar do utilizador, ao equipamento interessa apenas a reflexão da luz proveniente da córnea. Para que as medições não percam precisão é necessário diminuir a reflexão da luz natural incidente no olho, recorrendo-se, por esse motivo à luz infravermelha (Drewes, 2010).

1.1.4 Movimentos associados ao olho humano

Estão associados ao olho humano diversos movimentos, como as fixações, os piscares de olhos ou a dilatação das pupilas que, quando analisados, podem relacionar-se com o processo cognitivo que o participante está a utilizar ou serem associados à atividade que está a realizar (Hareide, 2019).

O evento mais frequente na análise de dados do olho humano é um estado em que o olho se encontra fixo durante um período, ocorrendo assim uma fixação. O olho pode permanecer neste estado por períodos que duram alguns milissegundos (Duchowski, 2017). Contudo, o olho nunca se encontra completamente parado, ocorrendo três tipos distintos de micro-movimentos: tremores (pequenos movimentos cujo objetivo ainda é desconhecido), derivas (micro-movimentos lentos responsáveis por desviar o olho do centro da fixação) e *micro-saccades* (movimento rápido que faz o olho regressar à posição original) (Holmqvist et al., 2011).

Segundo Holmqvist et al. (2011), outro evento muito relevante é o *saccade*, o movimento mais rápido que o corpo humano suporta, deixando quem o realiza temporariamente cego. É caracterizado pelo movimento rápido que ocorre entre duas fixações. Depois de ocorrer o *saccade* o olho não fica imediatamente parado na posição pretendida, divagando por momentos até se numa fixar posição. A este movimento chama-se *glissade* (Holmqvist et al., 2011). Um movimento que, por vezes, pode ser confundido com o *saccade* é a perseguição suave, não tendo, contudo, nada a ver, sendo realizado por partes diferentes do cérebro. Para ocorrer a perseguição suave, é necessário que exista um objeto a ser perseguido, enquanto que o *saccade* pode ocorrer numa parede completamente branca ou preta (Holmqvist et al., 2011).

Hareide (2019) afirma que uma ferramenta essencial para uma boa recolha de dados é a definição de uma área de interesse, isto é, uma região previamente definida pelo observador, onde vão ser recolhidos dados quantitativos e qualitativos relativamente a fixações e *saccades* e que podem ser posteriormente visualizados, por exemplo, em mapas temais ou de concentração. O número de vezes que o olhar do participante entra numa área de interesse (AOI) por minuto (*dwell rate*) pode significar a importância que o participante atribui a essa AOI. O número de

re-fixações é o número de vezes que o participante volta a olhar para uma AOI (é necessário ter existido anteriormente uma fixação). O número de retornos (*look-backs*) corresponde a *saccades* em AOIs para onde já se tinha olhado e deve-se à necessidade de confirmação da informação dessa AOI, sendo um parâmetro muito utilizado para estudos sobre a interface gráfica (Hareide, 2019).

1.1.4.1 Duração dos piscares de olhos

A duração de um piscar de olhos corresponde ao tempo desde que a pálpebra começa a efetuar um movimento descendente até ao momento em que se encontra novamente totalmente levantada (Holmqvist et al., 2011). Segundo Holmqvist et al. (2011), estudos demonstram que durações de piscar de olhos inferiores a 50ms podem ter erros de ruído do equipamento associados. Nos mesmos estudos constata-se que a percentagem de duração de piscares de olhos superior a 400ms é muito reduzida e a partir dos 1000ms é praticamente nula, resultando em parte de erros associados à perda de seguimento do olho por parte do equipamento, resultante de reflexos e de raios de luz incidentes na pupila, sendo este fenómeno mais frequente em ambientes de luz não controlada.

O valor da duração do piscar de olhos pode variar consoante o tempo da realização da tarefa (à medida que aumenta, a duração do piscar de olhos também aumenta); o estado de sonolência (aumenta consideravelmente dado que o tempo de abertura dos olhos neste estado é substancialmente maior); a falta de atenção (há um aumento na duração do piscar de olhos durante uma tarefa de atenção prolongada, o que se reflete na diminuição do desempenho); e o efeito do álcool e de anestésicos (influenciam também os piscares de olhos, aumentando-os) (Holmqvist et al., 2011).

1.1.4.2 Frequência dos piscares de olhos

A frequência de piscar de olhos corresponde ao número de vezes que os olhos piscam durante determinada unidade de tempo. Estudos mostram que durante a realização da mesma tarefa podem registar-se acentuadas variações na frequência de piscar de olhos, tornando este parâmetro mais fidedigno numa análise segmentada do que contínua (Holmqvist et al., 2011). Segundo (Haq & Hasan, 2016), a frequência do piscar de olhos é um indicador robusto para, consoante a variação em relação à média, poder afirmar-se que a pessoa está cansada ou com falta de atenção.

Holmqvist et al. (2011) afirma que esta medida assume valores médios de 3 a 7 piscares de olhos por minuto durante uma tarefa de leitura e de 15 a 30 durante a maioria das outras tarefas que não envolvem leitura.

A frequência dos piscares de olhos sofre alterações devido a diversos fatores, nomeadamente, olhos secos, poluição do ar, lentes de contacto ou trabalho em monitores (em pessoas normais os monitores podem fazer diminuir o número de piscar de olhos em até 20%). Porém, para o presente estudo, o foco será maioritariamente o tempo da tarefa (quanto maior o tempo da tarefa, maior o número de piscar de olhos) e a carga de trabalho (mais piscar de olhos consoante uma maior carga de trabalho).

1.1.4.3 Duração das fixações

A duração de uma fixação é, provavelmente, a medida mais utilizada nas experiências que utilizam *eye-trackers* e é definida como o período em que o olho se encontra relativamente fixo num local (Holmqvist et al., 2011). As durações das fixações ajudam a compreender o nível de atenção atribuído a determinada área de interesse. Porém, é necessário ter em atenção que apesar da fixação ter sido registada, pode não ter sido processada pelo cérebro (Bergstrom & Schall, 2014). Segundo o mesmo autor, as fixações têm durações muito curtas com valores a variar tipicamente entre 100ms (valores inferiores podem ter erro associado ao ruído) e 600ms (valores mais elevados têm, provavelmente erro associado à perda da pupila), sendo os valores mais comuns verificados entre os 200ms e os 300ms (Holmqvist et al., 2011).

1.1.4.4 Número de fixações

Dada uma área de interesse e um intervalo de tempo, o número de fixações representa a quantidade de vezes que determinado observador olhou para essa área de interesse, independentemente da duração (Holmqvist et al., 2011). O número de fixações numa AOI pode relacionar-se com a destreza do utilizador ou com a dificuldade da tarefa (quando o número de fixações é baixo, pode significar que a tarefa é simples ou que quem a realiza é experiente. Um número de fixações maior pode significar dificuldades na interpretação da área de interesse). Esta medida pode também indicar a eficiência do *layout* de determinado equipamento na realização duma tarefa, ou seja, quanto menos fixações forem necessárias para a realizar, mais intuitivo é o *layout* para o utilizador (Holmqvist et al., 2011).

Pode também utilizar-se a taxa de fixações, sendo esta a relação entre o número de fixações e o intervalo de tempo a analisar, em segundos. Tal como o número de fixações, esta medida é relativa a uma determinada área de interesse (Holmqvist et al., 2011). A sua variação é utilizada, maioritariamente, para compreender a evolução da dificuldade da tarefa ao longo da sua realização (diminui à medida que o tempo de realização da tarefa se prolonga).

1.1.4.5 Diâmetro das pupilas

O diâmetro da pupila é um dado retirado diretamente dos *eye-trackers* e pode ser utilizado em *pixels* ou em milímetros (Holmqvist et al., 2011). Existem várias formas de medir o diâmetro da pupila, sendo as mais comuns a medida do diâmetro horizontal e vertical. O diâmetro horizontal apresenta um maior grau de confiança em relação ao vertical, dada a sensibilidade do diâmetro vertical ao movimento descendente das pálpebras, o que leva à ocorrência de mais erros de medição (Holmqvist et al., 2011).

Ao analisar o diâmetro das pupilas deve ter-se em atenção a sua sensibilidade à variação da intensidade da luz. Existem vários estudos que utilizam a variação do diâmetro das pupilas como medidas para o esforço cognitivo ou emocional (Ellis, 2009; Hyönä, Tommola & Alaja, 1995; Pfleging et al., 2016; Yamada &

Kobayashi, 2018), porém, foram todos realizados em ambiente simulado, permitindo o controlo da luz. Contudo, Pfleging et al. (2016) concluiu que independentemente da intensidade da luz é possível relacionar o diâmetro das pupilas e a dificuldade da tarefa.

Segundo Alexandridis (1985), a medida de diâmetro mínimo que a pupila do olho humano pode atingir é de 1,5 milímetros e a medida máxima é de 8 milímetros. Holmqvist et al. (2011) utiliza o diâmetro das pupilas para tirar conclusões sobre a carga de trabalho (o diâmetro aumenta com o aumento da carga de trabalho) e sobre a dificuldade da tarefa (o diâmetro aumenta com a dificuldade da tarefa, podendo também relacionar-se com a taxa de duração dos piscares de olhos e a taxa ou duração das fixações). A sonolência e a fadiga são outros fatores que podem ser medidos através do diâmetro das pupilas, sendo maiores quanto maior a diminuição das pupilas.

Uma experiência realizada por Bergstrom e Schall (2014) demonstrou que de entre vários participantes a realizar a mesma tarefa, os que demonstraram maior dificuldade apresentaram um diâmetro das pupilas superior durante toda a realização em relação aos participantes que demonstraram maior facilidade na resolução da tarefa.

Na Tabela 1.1 pode consultar-se um resumo dos movimentos oculares observáveis com recurso aos *eye-trackers* (duração dos piscares de olhos, frequência dos piscares de olhos, duração das fixações, número de fixações e diâmetro das pupilas), os respetivos processos cognitivos e comportamentais associados e, ainda, os fatores que podem influenciar os movimentos oculares e consequentemente os processos cognitivos.

TABELA 1.1: Tabela-resumo dos parâmetros observáveis pelos *eye-trackers* os respetivos processos cognitivos e fatores de influência.

		Processos cognitivos e comportamentais	Fatores de influência
PARÂMETROS OBSERVÁVEIS	Duração piscares de olhos	<ul style="list-style-type: none"> • Tempo de realização da tarefa; • Cansaço; • Atenção. 	<ul style="list-style-type: none"> • Efeito de álcool e anestésicos; • Sonolência.
	Frequência piscares de olhos	<ul style="list-style-type: none"> • Carga de trabalho; • Tempo de realização da tarefa; • Atenção; • Cansaço. 	<ul style="list-style-type: none"> • Olhos secos; • Poluição do ar; • Lentes de contacto; • Trabalho em monitores.
	Duração das fixações	<ul style="list-style-type: none"> • Nível de atenção na área de interesse. 	<ul style="list-style-type: none"> • Destreza do utilizador.
	Número de fixações	<ul style="list-style-type: none"> • Dificuldade da tarefa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Destreza do utilizador.
	Diâmetro das pupilas	<ul style="list-style-type: none"> • Carga de trabalho; • Dificuldade da tarefa; • Cansaço. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sonolência; • Fadiga; • Incidência da luz.

1.1.5 Mapas termiais

Um mapa termal é uma forma de visualização que utiliza espectros de cores diferentes para mostrar a quantidade e a duração de fixações que um participante faz em determinada área de interesse. Normalmente cada mapa termal tem o seu código de cores, sendo o vermelho a cor mais comum para indicar um grande número de fixações e a cor verde ou sem cor para indicar um número reduzido ou inexistente de fixações (Bergstrom & Schall, 2014).

Um participante pode ter olhado para uma área que aparece sem cor, o que significa apenas que não a fixou, podendo, no entanto, ter retirado informação através de um olhar periférico muito curto, não detetado pelo *eye-tracker* (Bergstrom & Schall, 2014).

1.1.6 Utilização de *eye-trackers* no estudo de equipas de navegação

A utilização de *eye-trackers* no domínio marítimo tem sido maioritariamente utilizado para compreender as interações entre o operador e o sistema, principalmente quando o operador se foca no *display* (Jacob & Karn, 2003). Os primeiros estudo com *eye-trackers* focaram-se principalmente em aspetos de segurança, nomeadamente no *design* das pontes dos navios e em programas de treino, sendo os dados recolhidos em ambiente simulado (Lützhöft & Dukic, 2015).

Forsman et al. (2012) utilizou *eye-trackers* para investigar o comportamento ocular entre navegadores experientes e novatos durante a prática de navegação a alta velocidade no mar, com o foco na utilização de ajudas à navegação. O estudo contou com a participação de 16 participantes e ocorreu a bordo de uma semirrigida. Durante a experiências as condições meteorológicas foram estáveis, contudo, o autor apontou limitações a nível da incidência de luz solar nos olhos dos participantes e a limitações ao nível do campo de visão.

Hareide e Ostnes (2017a) utilizou dois tipos diferentes de *eye-trackers* em ambiente marítimo ao conduzir um estudo para detetar problemas de usabilidade no *design* da ponte e sistemas de navegação em corvetas da classe Skjold da Marinha Norueguesa.

1.2 O ECDIS na equipa de navegação

1.2.1 ECDIS

O *Electronic Chart and Information System* (ECDIS) (IMO, 1995, 1998, 2006a) é um sistema de informações de navegação que pode atender aos requisitos das cartas náuticas em papel atualizadas e estabelecidas pela Convenção SOLAS de 1974, exibindo as informações selecionadas do sistema de cartas de navegação eletrónicas (SENC), com informações de posição provenientes dos sensores de navegação para auxiliar o planeamento, execução e monitorização da rota.

A função principal do ECDIS é contribuir para a segurança da navegação, devendo ter a capacidade de apresentar toda a informação que consta numa carta de navegação convencional, necessária à navegação segura e eficiente, distribuída pelas entidades hidrográficas autorizadas pelos governos (IMO, 2006a). O equipamento deve contribuir para a redução da carga de trabalho face àquela que se teria com o uso de cartas convencionais, possibilitando ao operador a execução e monitorização de todo o planeamento em menos tempo que numa carta convencional, dando a posição do navio em tempo real.

O ECDIS não é um método de navegação nem um sistema de posicionamento. É um sistema de informação de navegação, pelo que a qualidade do serviço que pode efetivamente prestar depende essencialmente da qualidade da informação nele introduzida (IMO, 1995). A informação de posição é obtida através de um recetor e apresentado em tempo real, pelo que o posicionamento é tão bom quanto o sistema de navegação associado (IMO, 2006a). A informação do RADAR e do AIS é também passível de ser acedida através do ECDIS, sendo útil para o esclarecimento do panorama (por exemplo distinguindo ecos RADAR de navios, dos ecos de boias ou antecipar os movimentos da navegação circundante) (IMO (2006a)). Esta sobreposição pode indicar, também, alarmes ou erros dos equipamentos (IMO, 2006a).

Segundo a doutrina da Marinha Portuguesa, são aceites como redundâncias válidas ao ECDIS os seguintes sistemas (EMA, 2008, p.7.2):

- Um segundo ECDIS que, apesar de poder estar ligado ao primeiro para facilidade de gestão de dados, seja independente em termos de operação e de alimentação elétrica;

- Um sistema de cartas eletrónico;

- Um fólio de cartas de papel atualizado.

1.2.2 Utilização do ECDIS na navegação em águas restritas

Em águas restritas, o trabalho de verificação e registo efetuado no ECDIS não é, na generalidade das situações, essencial para o cumprimento seguro e eficaz do plano de navegação. Em nenhuma situação deverá a execução por geonavegação, visual ou radar ser comprometida em benefício daquele trabalho (EMA, 2008, p.7.11).

O operador do ECDIS aquando da navegação em águas restritas tem a obrigação de marcar pontos usando as mesmas linhas de posição (LDPs) que a carta em papel, para verificar a sua consistência. Deve ouvir os relatos do ON de modo a encontrar discrepâncias com a informação de que dispõe. Efetua relatos situacionais completos sobre a execução do planeamento, informações de anti-colisão e alterações de planeamento (EMA, 2008, Anexo F). Cada relato segue uma ordem, definida pelo navio. A sequência adotada nos navios estudados é a seguinte:

- Situação em relação ao planeamento (sobre o planeamento ou distância do afastamento lateral ao planeamento);

- Águas livres a BB;
- Águas livres a EB;
- Distância ao momento de guinada / tempo para chegar ao momento de guinada e hora de chegada;
- Distância ao fim do planeamento / tempo para terminar o planeamento e hora de fim;

Durante a navegação em águas restritas o operador do ECDIS tem também a função de efetuar outros relatos ao navegador. Quando o navio se aproxima da distância de 1000j do MG, o operador do ECDIS tem a função de confirmar esta distância ao navegador ou, caso contrário, de corrigir. Durante uma guinada, o operador do ECDIS tem a função de relatar ao navegador se o navio está a realizar uma trajetória por dentro ou por fora, prevendo a tendência do posicionamento do navio em relação ao planeamento. Durante a restante navegação é função do operador relatar ao navegador a posição do navio em relação ao planeamento (se a BB ou a EB) e informá-lo da tendência (se a aproximar ou se a afastar do planeamento).

Para relatar toda esta informação, o operador do ECDIS tem ao seu dispor informação no *display* do equipamento, atualizada em tempo real. Pode visualizar-se a informação a que o operador tem acesso durante a navegação em águas restritas no menu à esquerda da Figura 1.2.



FIGURA 1.2: Imagem *display* do ECDIS.

1.2.3 Equipa de navegação

Como mencionado anteriormente, a tecnologia tem revolucionado toda a navegação, contribuindo para a redução de erros e aumentando a segurança. Contudo, a mesma tecnologia está também associada a acidentes críticos, causados muitas vezes pelo erro humano e em parte pelos próprios navegadores (Conceição, Teles & Dahlman, 2019). O excesso de confiança nos sistemas de automação (Dekker,

2014; IMO, 2006b) aliado à falta de coordenação de toda a equipa levam o navegador a criar percepções erradas, o que demonstra que bons operadores são essenciais para o sucesso da equipa e segurança da navegação, dada a sua capacidade única de adaptação, aprendizagem, colaboração, responsabilidade, criatividade e intuição, conseguindo ajudar na decisão em situações de pressão. Para que os operadores dos sistemas numa equipa otimizem o seu trabalho, é necessário criar uma boa dinâmica, interagindo e adaptando-se.

Segundo Conceição, Teles e Dahlman (2019), nos navios da Marinha Portuguesa, o comandante deixa que a sua equipa siga o planeamento de navegação e as tarefas definidas previamente no *briefing*, supervisionando a passagem de informação entre o navegador e os operadores, tendo sempre o panorama externo ao navio claro e definido em situações de possível perigo. O navegador utiliza esquemas e marcas visuais que lhe permitam, com a ajuda dos vigias, fazer cálculos e coordenar os relatos periódicos. Os vigias têm o papel de fornecer os azimutes de marcas visuais ao navegador e à carta, devendo ser pro-ativos e quando bem treinados devem compreender as necessidades dos mesmos, facultando os azimutes antes de serem pedidos. O operador da carta utiliza os azimutes tirados pelos vigias e a informação proveniente de vários sistemas para marcar pontos na carta e confrontar com o planeamento previamente marcado. Um operador de carta bem treinado deve estar apto a realizar todos os cálculos requeridos e a fazer um relato a cada três minutos. O operador do RADAR monitoriza o equipamento com recurso ao planeamento anteriormente marcado e é responsável pela anti-colisão. O operador do ECDIS monitoriza o planeamento de navegação e transmite informação extra que o sistema disponibiliza. Visto que o ECDIS faz todos os seus cálculos com base em posições *GPS*, o seu operador é quem consegue fazer o relato no mais curto espaço de tempo e com a maior precisão (Conceição, Teles & Dahlman, 2019).

Os relatos situacionais seguem uma sequência que tem como base a comparação do tempo que cada operador demora a analisar e a reportar a informação do seu sistema em comparação com os restantes operadores da equipa. O relato começa com o navegador, seguido do operador do RADAR, do ECDIS, da sonda e da carta (como representado na Figura 1. O operador do ECDIS tem apenas que ler a informação retirada do ECDIS, que provém dos sensores de navegação (odómetro e giro-bússola) ou de sistemas (GPS, AIS, RADAR) (Conceição, Teles & Dahlman, 2019).



FIGURA 1.3: Sequência de relatos dos navios da Marinha Portuguesa.

Quando os requisitos do trabalho em equipa acima mencionados não são cumpridos, os erros começam a ocorrer, o que pode levar a acidentes, como aconteceu com o navio mercante *Leda Maersk*, um porta-contentores que encalhou na

margem de um canal, enquanto o navegador pensava que se encontrava no centro do mesmo, apesar de ter um piloto de barra embarcado (Transport Accident Investigation Commission, 2018). Segundo a comissão independente que realizou o inquérito do acidente, o planeamento do navio no ECDIS era semelhante ao do piloto, não tendo sido esse o fator do encalhe. No relatório do acidente elaborado pela Maritime Coastguard Agency (2016) são mencionados os doze erros humanos mais comuns na navegação (Figura 1.4).



FIGURA 1.4: As doze falhas fatais na navegação. Adaptado de (Maritime Coastguard Agency, 2016).

Dos doze erros apresentados, a comissão de acidentes Maritime Coastguard Agency (2016) identificou pelo menos cinco que estiveram relacionados com o encalhe: trabalho em equipa, complacência, conhecimento situacional, alertas e cultura.

1.3 Fatores humanos

Segundo Oltedal et al. (2018), em qualquer operação marítima, o trabalho humano, a tecnologia e a organização estão relacionados e influenciam-se mutuamente, sendo três elementos sempre presentes. Apesar de não existir consenso na definição de elemento humano no ambiente marítimo, em 1997 a IMO definiu-o como um fator multidimensional e complexo que afeta a segurança marítima e ambiental (IMO, 2004). Segundo Grech, Horberry e Koester (2008), todos os acidentes que ocorrem no domínio marítimo resultam de atos inseguros, que levam a que ocorram falhas e geram pequenos incidentes ou falhas de segurança, que se vão acumulando, culminando em acidentes (Figura 1.5). Contudo, ao analisar estas falhas, estamos apenas a olhar para a ponta do *iceberg*, esquecendo fatores importantes como a rotina, seja em treino ou em operações reais.



FIGURA 1.5: Modelo do Iceberg. Adaptado de Grech, Horberry e Koester (2008)

No domínio marítimo, o erro humano está na origem de uma elevada percentagem de acidentes (Anderson, 2003; Rothblum, 2000). Estudos recentes afirmam que 60% dos acidentes que ocorreram entre 1997 e 2012 tiveram como causa principal o erro humano (Butt et al., 2013). Segundo Grech, Horberry e Koester (2008) parte destes acidentes poderia ter sido prevenida através do treino e dos procedimentos de segurança corretos sendo, frequentemente, a causa do acidente atribuída ao responsável pela tomada de decisão.

1.3.1 Processos cognitivos

As decisões devem ser tomadas com consciência e segurança. Para tal, o responsável deve assegurar que o panorama se encontra bem esclarecido, com todas as informações necessárias para o suportar. Através de processos cognitivos como a atenção, a perceção, o conhecimento situacional ou o pensamento antecipado, que abordaremos posteriormente, o cérebro humano vai transformar dados em informação útil, auxiliando o responsável pela tomada de decisão a clarificar o panorama.

1.3.1.1 Atenção

A atenção é uma função cognitiva que permite ao indivíduo focar-se nos sentidos, abstraindo-se de tudo o resto aquando da realização de uma tarefa, sem interrupções nem distrações. É, porém, necessário encontrar um equilíbrio para evitar que sinais de perigo sejam ignorados em tarefas de atenção extrema (Grech, Horberry & Koester, 2008).

No ser humano a capacidade de processar informação é limitada, o que leva a que a atenção seja dividida entre tarefas e objetivos através de mecanismos desenvolvidos por cada indivíduo, selecionando a informação relevante através de estímulos (Wolfe & Horowitz, 2004).

A atenção pode assim dividir-se em três tipos: atenção seletiva, atenção dividida e atenção sustentada no tempo (Durso et al., 2007). No caso da primeira, o operador seleciona algumas fontes de informação às quais dá a devida importância e ignora outras, de acordo com a tarefa que está a realizar, o que pode levar à perda de informação importante. A atenção dividida refere-se à capacidade de o operador realizar duas ou mais tarefas ao mesmo tempo, necessitando para isso de algum treino. Sendo a capacidade de processar informação limitada, implica que o desempenho do operador em cada tarefa tenha um limite e a carga de trabalho mental aumente substancialmente. A atenção sustentada no tempo refere-se à capacidade de um operador manter o seu foco numa tarefa durante um período prolongado. Tarefas que exigem uma atenção sustentada no tempo podem tornar-se perigosas, nomeadamente, quando é exigido o controlo de informação apresentada em monitores. No caso da tarefa ser monótona, o observador pode desviar o foco de informações relevantes, degradando a sua performance na realização da tarefa (Durso et al., 2007).

1.3.1.2 Perceção

Os nossos sentidos (visão, audição e tato) fornecem-nos *inputs* constantes que são processados no sistema nervoso e transformados em informação útil. Esta informação é processada com base no conhecimento e experiência do operador, fazendo com que este tenha uma melhor ou pior perceção da situação. Uma maior experiência ou um aumento do conhecimento, permite reconhecer situações com maior facilidade. Se mal utilizada, a perceção pode levar a situações perigosas, por exemplo, pensar que se reconhece um objeto ou um fenómeno, apesar de alguns pormenores serem diferentes. Isto pode levar a uma má perceção da situação, ou seja, o operador toma decisões com base no que pensa que está a acontecer e não com base na realidade. (Grech, Horberry & Smith, 2002).

Outro fenómeno ocorre quando o operador presta atenção apenas à informação que confirma a hipótese vigente. Assim, havendo diferentes fontes de informação (pessoas e sistemas), o operador estará mais recetivo a informação que confirma a sua perceção. Isto pode tornar-se um perigo significativo visto parecer que está tudo a correr dentro da normalidade, enquanto na verdade estão a ser negligenciados sinais de perigo que poderiam ter sido facilmente detetados. A perceção espacial, de tamanhos e distâncias, baseia-se, totalmente na experiência do observador, o que pode também levar a erros (Grech, Horberry & Smith, 2002).

A perceção do risco baseia-se também na experiência de um indivíduo com acidentes e incidentes. Quando a perceção do risco de acidentes em determinada situação é baixa, a atenção vai diminuir ao longo do tempo, tornando a capacidade de reação muito mais lenta numa situação crítica e urgente. Dada a sensação de segurança devido à perceção de baixo risco, os comportamentos são também diferentes. Para colmatar este risco, as causas dos acidentes devem ser profundamente analisadas e bem compreendidas para que a experiência sobre os acidentes seja, então, adquirida de modo a que as situações de risco sejam mais facilmente detetadas e evitadas (Grech, Horberry & Smith, 2002).

1.3.1.3 Conhecimento situacional

Conhecimento situacional (CS) é um conceito que continua a ser muito discutido por parte da comunidade científica. É um termo atribuído à atenção que um indivíduo tem sobre o que se está a passar em determinada situação, compreendendo o que essa informação significa para si naquele momento e num futuro próximo (Salmon et al., 2009). O modelo de Endsley (1995) foi um grande contributo para a teoria sobre o conhecimento situacional, sendo definido formalmente pela IMO como a percepção dos elementos no ambiente, tendo em conta uma linha temporal e espacial, a sua compreensão e a previsão do seu estado num futuro próximo (IMO, 2007). Compreende, assim, três níveis hierárquicos: nível 1 - percepção dos elementos mais relevantes para a situação; nível 2 - compreensão do seu significado em relação aos objetivos da situação; nível 3 - previsão de futuros eventos (Figura 1.6) (Endsley, 1995).

O conhecimento situacional na área da navegação é crucial para manter a segurança e a eficiência, sendo estas potenciadas com o auxílio dos sistemas de navegação (Hareide & Ostnes, 2018). Através destes sistemas, como o ECDIS, o responsável pela manobra consegue identificar os elementos relevantes para a situação, sejam eles outros navios ou perigos próximos (nível 1) e compreender os seus rumos, distâncias ou velocidades (nível 2), prevendo onde vai estar o navio e o perigo (nível 3), de modo a tomar a decisão de forma mais clara e informada possível.



FIGURA 1.6: Conhecimento situacional adaptado do Modelo de Endsley (1995). Adaptado de Endsley (1995)

Apesar de reconhecer o contributo do modelo de Endsley, Wickens (2002), através de estudos efetuados com pilotos, defende que o conhecimento situacional tem de ser adaptado a uma determinada realidade. Aplicando-o ao contexto da navegação, o seu modelo consiste em três componentes: percepção espacial (que inclui fatores ambientais, como a meteorologia); percepção dos sistemas (que consiste no conhecimento por parte do navegador do estado das ações que foram e têm de ser tomadas pelos sistemas automáticos) e percepção da tarefa (consiste em assegurar, supervisionar e gerir a missão). Para o navegador, a percepção da tarefa é imperativa para a percepção dos sistemas (Hareide, 2019).

Inspirado pelo modelo de Endsley (1995) e pelo trabalho na aviação de Wickens (2002), um modelo de navegação (Figura 1.7) foi adaptado de Wickens

(2015), que consiste na percepção espacial de sistemas e da tarefa. O modelo foi estabelecido para demonstrar a aplicação do CS em situações reais enfrentadas por um navegador. As variáveis de espaço, sistema e tempo são algumas variáveis a ter em atenção pelo navegador, ganhando percepção do que se passa, compreendendo e prevendo uma situação futura, com o intuito de atingir um elevado nível de CS. Um sistema marítimo, que é constituído por uma série de variáveis, pode ser visto como um sistema aberto (sendo o navegador o seu foco principal) Flach (2012).



FIGURA 1.7: Modelo de conhecimento situacional adaptado ao navegador. Adaptado de Hareide (2019)

Torna-se, assim, relevante a medição do conhecimento situacional, tanto para o desenvolvimento como para o *design* dos equipamentos, como para sistematizar e desenhar os procedimentos de treino e avaliação (Salmon et al., 2009). Segundo Stanton et al. (2005), existem mais de trinta métodos para medir o CS, que podem ser agrupados dentro de diferentes categorias, sendo as principais: técnica de análise congelada, análise em tempo real, análise através de autoavaliação, observação pelo operador e medição de desempenho.

Nas técnicas de análise congelada, são preenchidos questionários acerca do CS durante a realização da tarefa, «congelando» a mesma durante o decorrer da ação. A vantagem destes questionários é serem diretos e objetivos, removendo quaisquer problemas associados à recolha e tratamento de dados. Porém, o nível de intrusão na tarefa é bastante elevado, pelo que tem sido severamente criticado.

A análise em tempo real consiste em desenvolver inquéritos antes ou durante a tarefa, enquanto o participante se encontra sob análise, respondendo ao mesmo no final. Neste caso, o tempo de resposta é tido em consideração, sendo o nível de intromissão bastante inferior.

Utilizadas maioritariamente no terreno, as técnicas de observação por parte do operador são de natureza não intromissora, consistindo em atribuir uma avaliação ao participante. A grande vantagem é que não influenciam em nada a tarefa, podendo ser realizadas em situações reais. Complementado pela auto-avaliação, este será o método adotado para o presente estudo.

Nas técnicas de auto-avaliação, no final de cada observação, o participante faz uma avaliação subjetiva segundo uma escala, sendo esta de natureza não intromissora. É uma avaliação com base num questionário chamado *Situation Awareness*

Rating Technique (SART) (Salmon et al., 2009). O questionário SART avalia dez campos: instabilidade da situação, complexidade da situação, variabilidade da situação, entusiasmo, concentração da atenção, divisão da atenção, capacidade mental restante, quantidade de informação e familiaridade com a situação, devendo o participante responder a cada questão numa escala de 1 a 7 - (1=baixo; 7=alto), com o objetivo de ter uma medida subjetiva, no final da realização da atividade planejada, sendo os seus resultados posteriormente combinados com os dados retirados através das observações dos *eye-trackers* com o objetivo de medir qualitativamente o conhecimento situacional do participante Taylor (1990).

1.3.1.4 Pensamento antecipado

Uma das características inerentes ao ser humano é a sua capacidade limitada de processamento de informação. Não conseguimos ver, processar, lembrar ou reagir a tudo o que se passa à nossa volta (Durso et al., 2007). A tecnologia veio acrescentar a capacidade de lidar com uma quantidade muito superior de informação, facilitando a interligação de diversos sistemas que auxiliam as tarefas da navegação. Contudo, trouxe também consequências críticas que contribuem para práticas inseguras, que facilmente levam a acidentes. Essas práticas estão muitas vezes relacionadas com o excesso de confiança na automação, na falta de conhecimento dos dados que os sistemas apresentam ou na falha do seu processamento por parte dos operadores (Conceição, Teles & Dahlman, 2019). Conhecer as capacidades e as limitações humanas torna-se essencial para desenhar sistemas resilientes (Danielsen, 2019).

A elaboração de um planeamento de navegação ajuda a estabelecer um mapa cognitivo que permite criar mecanismos racionais e intuitivos, que bem compreendidos ajudam o navegador e a equipa de navegação a manter a parametrização das suas tarefas. Este planeamento deve ser elaborado pelo navegador para auxiliar a tomada de decisão recorrendo ao seu conhecimento e experiência, ao invés de serem tomadas com base na incerteza (Conceição, Teles & Dahlman, 2019).

Assim, o pensamento antecipado consiste em antever problemas que ainda não aconteceram, pensando nas suas consequências e antecipando possíveis soluções (Kallet, 2014). Existem três tipos de pensamento antecipado: correspondência de padrões, seguimento da trajetória e convergência (Klein, Snowden & Pin, 2011).

Através da correspondência de padrões é possível identificar indícios do passado que forneçam indicações para eventos semelhantes que possam vir a acontecer. Através da experiência, o operador a realizar determinada tarefa desenvolveu um reportório com vários padrões que lhe dão um aviso antecipado antes do problema ocorrer. O pensamento antecipado vai-se desenvolvendo com a experiência e com a especialização em determinado assunto, tornando-se cada vez mais preciso e assertivo. Porém, é necessário ter em atenção que pode tornar-se perigoso no caso de ser utilizado com excesso de confiança, podendo, por vezes, a experiência levar a um diagnóstico incorreto ou a negligenciar alguma evidência (Klein, Snowden & Pin, 2011).

O pensamento antecipado através do método de seguimento da trajetória exige que o operador pense à medida que os eventos se desenrolam, tendo sempre em consideração o tempo que tem para reagir (Klein, Snowden & Pin, 2011). Este processo é mais exigente com o acima mencionado porque requer uma resposta ao que realmente está a acontecer, enquanto o anterior exige uma resposta ao que se espera que aconteça.

O método de convergência faz com que o operador estabeleça ligações entre os eventos, em vez de responder a uma só indicação, como nos métodos anteriormente mencionados. Este método exige uma capacidade cognitiva mais elevada por parte do operador, tendo este que relacionar todos os eventos, compreendendo as implicações que cada um terá e as respetivas resoluções (Klein, Snowden & Pin, 2011).

Em ambiente marítimo, os três métodos (para reagir a eventos futuros individuais, para reagir em eventos a acontecer e para reagir a uma combinação de eventos), em coordenação com um bom planeamento são extremamente importantes para vários propósitos: resolver problemas, coordenação da equipa, previsão de eventos e pro-atividade (Conceição, Teles & Dahlman, 2019). A combinação de todos estes fatores leva a que possam ser prevenidos acidentes.

1.3.1.5 Carga de trabalho

No domínio marítimo, a carga de trabalho define-se como a quantidade de esforço cognitivo necessário à realização de uma ou mais tarefas (Grech, Horberry & Koester, 2008). Com o aumento da sua complexidade é esperado que a carga de trabalho aumente. Quando a carga de trabalho é excessiva, a performance começa a deteriorar-se e, por outro lado, no caso de uma tarefa demasiado fácil, a atenção e motivação podem diminuir, degradando também a *performance* (Grech, Horberry & Koester, 2008).

Em operações marítimas a carga de trabalho a que um operador está sujeito pode variar com vários fatores, destacando-se o tempo atribuído para a realização duma tarefa (normalmente quanto menos tempo para realizar a tarefa, maior carga de trabalho associado), o número de tarefas a realizar simultaneamente, a dificuldade de cada tarefa, o nível de conhecimento necessário, os fatores ambientais da ponte do navio (calor ou barulho) e os fatores individuais do operador (experiência, inteligência ou personalidade) (Grech, Horberry & Koester, 2008).

Para medir o esforço cognitivo, pode utilizar-se um método que consiste na autoavaliação por parte do operador. É um método não intrusivo que dispensa a utilização de qualquer equipamento e não afeta o desempenho do utilizador.

O questionário NASA *Task Load Index* (NASA-TLX) baseia-se numa construção multidimensional para atribuir uma pontuação geral da carga de trabalho com base na média ponderada das classificações baseadas em seis campos diferentes: exigência mental, exigência física, exigência temporal, desempenho, esforço e frustração (Hart & Staveland, 1988). Cada um destes campos está dividido em vinte espaços, devendo o participante responder no espaço correspondente à classificação

que quer atribuir. No final a classificação será convertida numa escala de 0 a 100 (NASA, 1986). Depois de preenchidos os seis campos, será necessário compará-los entre si, existindo para isso quinze pares possíveis. O participante deve escolher de entre cada par o fator que na sua opinião contribuiu mais para a carga de trabalho da tarefa que realizou. O número de vezes que cada fator é escolhido deve ser registado, sendo-lhe atribuído um valor entre 0 (menos relevante, portanto escolhido menos vezes) e 5 (mais importante que qualquer outro fator) que posteriormente servirá para multiplicar pelo valor de 0 a 20 escolhido inicialmente, resultando um valor ponderado (NASA, 1986).

Funcionando o operador do ECDIS inserido na equipa de navegação, foi considerada a realização do questionário NASA-TLX, versão expandida, que para além dos campos acima mencionados, acrescenta mais seis campos (exigência de coordenação, exigência de comunicação, exigência de partilha do tempo, eficácia da equipa, apoio da equipa e insatisfação da equipa). Estes campos não carecem de ponderação e são direcionados para avaliação da carga de trabalho a nível da equipa Coelho et al. (2015).

TABELA 1.2: Definição dos campos abrangidos pelo questionário NASA-TLX, versão expandida. Adaptado de Coelho et al. (2015).

Título	Descrição
Exigência mental	Quanta atividade mental e percetiva foi necessária (por exemplo, pensar, decidir, calcular, lembrar, olhar, pesquisar, etc.)? A tarefa foi fácil ou exigente, simples ou complexa?
Exigência física	Quanta atividade física foi necessária (por exemplo, empurrar, puxar, girar, controlar, etc.)? A tarefa foi fácil ou exigente, lenta ou rápida, frouxa ou extenuante, repousante ou laborioso?
Exigência temporal	Quanta pressão de tempo sentiu devido à taxa ou ritmo em que as tarefas ou elementos da tarefa ocorreram? O ritmo foi lento e vagaroso ou rápido e frenético?
Desempenho	Quão bem sucedido acha que foi na realização dos objetivos da tarefa definidos pelo observador (ou o próprio participante)? Quão satisfeito estava com o seu desempenho na realização dos objetivos?
Esforço	Quão árduo foi o trabalho exigido (mentalmente e fisicamente) para alcançar o seu nível de desempenho?
Frustração	Quão inseguro, desanimado, irritado, stressado e irritado <i>versus</i> seguro, grato, satisfeito, relaxado e complacente se sentiu durante a tarefa?
Exigência de coordenação	Quanta atividade de coordenação foi necessária (por exemplo, correção, ajuste)? A coordenação exigia trabalhar muito ou pouco em equipa, com muita ou pouca frequência?

Exigência de comunicação	Quanta atividade de comunicação foi necessária (por exemplo, discutir, negociar, enviar e receber mensagens)? A comunicação exigida foi baixa ou alta, pouco frequente ou muito frequente, simples ou complexa?
Exigência de partilha de tempo	Quão difícil foi partilhar e administrar o tempo entre tarefas (trabalho realizado em equipa)? Foi fácil ou difícil gerir tarefas individuais e tarefas que exigiam esforço conjunto?
Eficiência da equipa	Quão eficiente acha que foi o trabalho em equipa? Quão satisfeito ficou com os aspetos de desempenho relacionados com a equipa?
Apoio da equipa	Quão difícil foi fornecer e receber apoio dos membros da equipa? Foi fácil ou difícil apoiar / orientar e receber apoio / orientação de outros membros da equipa?
Insatisfação da equipa	Quão emocionalmente desgastante e irritante versus emocionalmente gratificante e satisfatório foi trabalhar em equipa?

1.3.1.6 Aplicação de *eye-trackers* na compreensão de processos cognitivos e comportamentais

Através da análise de alguns parâmetros recolhidos através dos *eye-trackers* (como a duração e a frequência dos piscares de olhos ou o diâmetro das pupilas, referidos anteriormente), é possível avaliar a carga de trabalho a que um operador se encontra sujeito aquando da realização de uma tarefa de navegação.

De modo a indicar a existência de uma relação entre a carga de trabalho e a dilatação das pupilas, vários autores fizeram experiências. Hyönä, Tommola e Alaja (1995) para verificar se o diâmetro variava com a dificuldade da tarefa, conduziu uma experiência que consistiu em medir a dilatação das pupilas dos participantes em três atividades de tradução com dificuldades distintas. A experiência foi feita com recurso a *eye-trackers* e contou com nove participantes, tendo as medições sido efetuadas em laboratório, com a luminosidade totalmente controlada. As médias do diâmetro das pupilas dos participantes para a atividade fácil, intermédia e difícil foram, respetivamente, 4.2mm, 4.72mm e 5.22mm, o que sugere que o diâmetro das pupilas aumenta quando os participantes são confrontados com tarefas que exigem um esforço cognitivo maior. Hyönä, Tommola e Alaja (1995) verificaram também que ao longo da mesma tarefa o diâmetro das pupilas tinha tendência a diminuir, o que pode apontar para que o nível de alerta dos participantes era maior antes de descobrirem em que consistia a tarefa.

À semelhança de Hyönä, Tommola e Alaja (1995), Just e Carpenter (1993) realizaram também uma experiência que consistiu em medir a dilatação das pupilas durante atividades de leitura, em que, na primeira, as frases eram de compreensão

simples, enquanto na segunda faltavam palavras, o que tornava todo o processo de compreensão bastante mais complicado. Foram estudados 76 participantes (todos estudantes universitários) e à semelhança da experiência anterior, relacionou-se o aumento do diâmetro das pupilas com a dificuldade da tarefa, tendo sido a dilatação das pupilas superior nas atividades de leitura complexas relativamente às atividades de leitura mais simples.

Com o objetivo de comprovar a relação entre a frequência de piscar de olhos e a carga de trabalho, Tsai et al. (2007) realizou uma experiência que consistiu em realizar tarefas de aproximadamente 10 minutos (em que a primeira consistia apenas na condução de um automóvel, a segunda numa tarefa de estímulo cognitivo com base em gravações áudio e a terceira numa tarefa de condução de um automóvel combinada com um estímulo cognitivo). A experiência contou com treze participantes a quem foram medidos parâmetros como a frequência dos piscares de olhos e a dilatação das pupilas. Comparando a frequência de piscares de olhos entre as tarefas individuais e a tarefa combinada, os resultados demonstraram um aumento significativo da frequência dos piscares de olhos em todos os participantes, o que pode indicar que à medida que a carga de trabalho aumenta, a frequência de piscares de olhos aumenta também. Na mesma experiência verificou-se que o diâmetro das pupilas sofreu também um aumento significativo em todos os participantes na atividade combinada, que exigia um maior esforço cognitivo, em relação às tarefas individuais.

1.3.2 Coordenação em equipa

Salas et al. (1992) define equipas como grupos de duas ou mais pessoas que interagem entre si de forma dinâmica, interdependente e que se adaptam de maneira a resolver um objetivo ou uma missão que tenham em comum. De acordo com Salas et al. (2015), o trabalho em equipa compreende 6 processos fundamentais (cooperação, conflito, coordenação, comunicação, treino e cognição) e pode ser influenciado por outras três condições exteriores (composição, cultura e contexto). Na Figura 1.8 pode visualizar-se o esquema com os processos fundamentais para o trabalho em equipa, do lado de dentro e, por fora, os três elementos que podem exercer influência sobre eles.

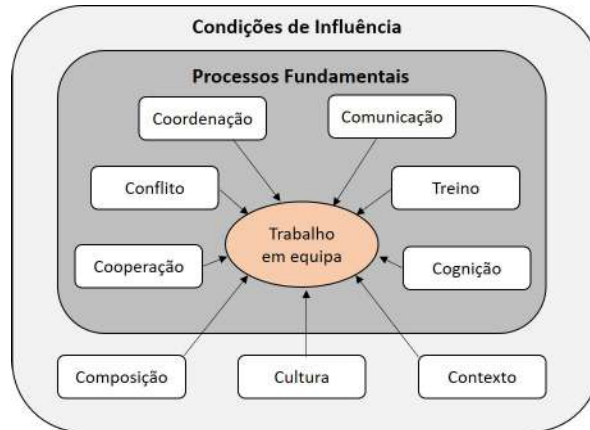


FIGURA 1.8: Modelo com os componentes fundamentais do trabalho em equipa. Adaptado de Salas et al. (2015).

Segundo Salas, Sims e Burke (2005), para que o trabalho em equipa funcione e para que se consigam cumprir com os processos fundamentais do trabalho em equipa, torna-se necessário que a equipa desenvolva algumas qualidades e mecanismos, tais como: liderança, supervisão mútua, entreaajuda, boa orientação e adaptabilidade.

1.3.2.1 *Joint Activity*

Uma atividade conjunta é um extenso conjunto de comportamentos praticados por um grupo de pessoas, coordenadas entre si (Clark, 1996, p.3). Para que a atividade seja considerada como "conjunta", todos os envolvidos têm que pretender trabalhar juntos e o seu trabalho tem que ser interdependente (Klein & Bradshaw, 2004). A razão mais frequente para aderir a atividades conjuntas é a necessidade de realizar tarefas difíceis para uma só pessoa. As atividades conjuntas podem ocorrer, também, quando são necessárias várias competências de várias pessoas diferentes para realizar a tarefa. Normalmente, as equipas a trabalhar em conjunto têm sucesso na resolução de tarefas mais complexas. A teoria das atividades conjuntas pode ser descrita através da articulação de três elementos necessários à coordenação da atividade: requisitos, critérios e coreografia (Klein & Bradshaw, 2004).

Na Figura 1.9 podem visualizar-se os componentes que constituem cada um dos três aspetos, cada uma num dos lados diferentes do triângulo.



FIGURA 1.9: Representação do modelo *Joint Activity*. Adaptado de (Klein et al., 2005).

Segundo Klein et al. (2005), uma atividade conjunta tem que preencher dois critérios primários para que ocorra com sucesso. Em primeiro lugar, tem que existir intenção e compromisso em fazer parte da atividade. Em segundo, é necessário que as ações dos participantes sejam interdependentes.

Para o presente estudo, o modelo do *joint activity* vai ser analisado parcialmente, explorando o lado do triângulo referente aos requisitos para as atividades conjuntas, sendo as seguintes características necessárias: a existência de inter-previsibilidade entre os participantes e a existência de características comuns entre eles. Para trabalhar em conjunto, deve existir algum nível de inter-previsibilidade entre os participantes, com o intuito de se adaptarem e estabelecerem direções. Os participantes devem estar aptos a prever o comportamento uns dos outros em determinadas circunstâncias. O *common ground*, ou, em português, características comuns é, provavelmente, a base da inter-previsibilidade (Clark & Brennan, 1991). Compreende o conhecimento seletivo, o conhecimento comum e os pressupostos mútuos que suportam as ações interdependentes da atividade conjunta. Quando o *common ground* é partilhado pelos vários elementos da equipa, pode ser utilizada linguagem abreviada, que torna a troca de informação mais eficiente e expedita no contexto em que a equipa opera. Por vezes pode não ser compreendido por um observador exterior. Quando não se verifica a existência de *common ground* a comunicação tem que ser demasiado clara e específica, o que pode resultar em perdas na eficiência da operação (Clark, 1996).

1.4 Resumo

O capítulo inicia-se com uma explicação sobre os *eye-trackers*, nomeadamente, o que são, a sua história e o seu propósito neste estudo. Em seguida, segue-se uma explicação sobre o funcionamento do olho humano e os movimentos associados, dando-se especial ênfase aos movimentos observáveis pelos *eye-trackers* (a duração e a frequência dos piscares de olhos, a duração e o número de fixações e o diâmetros das

pupilas), relacionando-os com os respectivos processos cognitivos e comportamentais associados.

Na secção seguinte explica-se o funcionamento do sistema de navegação em análise (ECDIS), especificando a sua utilização nos navios da Marinha Portuguesa, nomeadamente a maneira como deve ser utilizado pelo operador, a forma e sequência dos relatos situacionais estabelecidos e as informações que este pode retirar diretamente do *display* do sistema durante a navegação em águas restritas. Aborda-se, posteriormente, o funcionamento de toda a equipa de navegação e a função de cada elemento, enfatizando-se a sequência geral dos relatos situacionais, que obedece à seguinte ordem: navegador, RADAR, ECDIS, sonda e carta.

Posteriormente, aborda-se o papel do fator humano na navegação e os processos cognitivos relevantes para a tomada de decisão, servindo como objeto de análise no presente estudo. Realça-se o papel da atenção, da perceção, do conhecimento situacional, do pensamento antecipado e da carga de trabalho, apresentando-se exemplos de estudos com *eye-trackers* realizados anteriormente com o intuito de compreender os processos cognitivos e comportamentais abordados. O capítulo termina com a definição de trabalho em equipa e dos processos fundamentais inerentes, nomeando-se os fatores que os podem influenciar. São explicadas algumas qualidades que a equipa deve desenvolver para ter sucesso. No final, é explorado parcialmente o modelo do *joint activity*.

Capítulo 2

METODOLOGIA

2.1 Observações

Com o objetivo de analisar os processos cognitivos do operador do ECDIS durante a prática de navegação em águas restritas (neste caso na entrada e saída do porto de Lisboa) e de modo a compreender a forma como utiliza o equipamento e interage com a equipa de navegação, realizaram-se observações a bordo das pontes de navios de superfície da marinha portuguesa enquanto estes praticavam o porto de Lisboa, tanto a entrar como a sair (Figura 2.1).

A recolha dos dados para o presente estudo ocorreu em duas fases. A primeira fase teve lugar no ano de 2019 e realizaram-se quatro observações em dois tipos de navios diferentes, tendo os resultados preliminares sido publicados em (Conceição, Teles & Dahlman, 2019). A segunda fase teve lugar no início do segundo semestre de 2020, tendo sido realizadas duas observações no mesmo navio. O autor participou na segunda série da recolha de dados. Em todas as observações foram recolhidos dados relativos ao comportamento do operador do ECDIS e à equipa de navegação.



FIGURA 2.1: Imagem descaracterizada do operador do ECDIS a envregar *eye-trackers* na ponte do navio durante observação.

Recolheram-se dados qualitativos (notas dos observadores, informação relativa ao planeamento e à organização interna do navio), dados quantitativos (referentes ao movimento do olho humano, como piscares de olhos, pontos de fixação, *saccades* e dilatação das pupilas) e três questionários distintos. Para complemento dos dados, gravaram-se vídeos com recurso a câmaras colocadas em pontos estratégicos. Gravou-se, também, um ficheiro áudio com recurso a um dictafone. Estes

dados permitiram reconstruir todos os acontecimentos que decorreram na ponte, bem como esclarecer o panorama situacional quando sincronizados com os dados dos *eye-trackers* .

Para recolher os dados quantitativos, recorreu-se aos *eye-trackers* (modelo *Pupil Core*, da marca *Pupil-Labs*) (Figura 1.1), sendo necessário que se encontrassem ligados por cabo a um computador portátil, na ponte do navio. Utilizaram-se também marcas ArUco, colocadas nos cantos do monitor e dentro das circunferências vermelhas na Figura 2.2 para definir uma área de interesse, permitindo uma edição futura em modo *offline* e a criação de mapas termais, após a observação no respetivo *software* de extração e tratamento de dados.



FIGURA 2.2: Marcas ArUco colocadas nas extremidades do monitor do ECDIS para definir uma área de interesse.

No final de cada observação todos os elementos da equipa de navegação responderam a três questionários: um questionário demográfico, um questionário SART e o NASA-TLX, versão expandida. O questionário demográfico serviu para compreender várias informações pessoais sobre o participante. Permitiu compreender o seu nível de experiência e conhecimento (por exemplo o tempo embarcado, o tempo nas presentes funções e o número de horas de sono) e fatores identificados como influenciadores do piscar de olhos e dilatação da pupila (por exemplo o tempo de descanso ou o uso de lentes de contacto). O questionário SART serviu para a compreender o nível de conhecimento situacional do operador e o questionário NASA-TLX (versão estendida) serviu para compreender o nível da carga de trabalho a que o operador e os membros da equipa foram sujeitos durante a tarefa.

Todos os participantes do estudo foram informados do objetivo, das condições da sua participação e do papel dos observadores na ponte, tendo todos preenchido uma declaração de consentimento informado, assegurando o seu anonimato.

A duração média das cinco observações foi de 60 minutos, tendo participado nas mesmas três operadores distintos (dois dos operadores participaram em duas observações). Algumas características dos operadores do ECDIS (sexo, classe, idade, tempo na função de operador de ECDIS, horas de navegação e tempo de descanso na noite anterior), recolhidas através dos questionários demográficos apresentam-se

na Tabela 2.1. Nenhum operador apresentava qualquer limitação a nível auditivo, visual ou motor.

TABELA 2.1: Tabela com características dos operadores do ECDIS (informações retiradas do questionário demográfico)

Operador	Posto	Sexo	Idade	Tempo função	Horas navegação	Horas de sono
#1	Marinheiro	Masculino	25 anos	1 ano e 9 meses	8000 horas	6 horas
#2	2 ^o Tenente	Masculino	26 anos	5 meses	5000 horas	6 horas
#3	Cabo	Masculino	38 anos	12 meses	8000 horas	4 horas

Nas observações em que se praticou a saída do canal a montagem dos equipamentos já tinha sido realizada com o navio atracado, evitando ao máximo interferir com o normal funcionamento da guarnição e com o planeamento de navegação do navio. Contudo, nas observações em que o navio praticou a entrada do canal, os equipamentos foram montados durante a navegação, obrigando a que os elementos da ponte aguardassem a sua montagem (10 a 12 minutos) e calibração (3 a 5 minutos), permanecendo afastados dos equipamentos durante esse período. Para o impacto deste afastamento ser mínimo na segurança do navio e da navegação, torna-se necessário que no dia das observações as condições meteorológicas (visibilidade, vento e ondulação) se encontrem favoráveis, devendo o navio encontrar-se num local com pouco tráfego e afastado de todos os perigos fixos (pilares de pontes, rochas, entre outros).

Os navios a que se recorreu para o processo de obtenção de dados estavam a realizar o seu planeamento de navegação normal, não navegando propositadamente para a participação no estudo em questão. Durante o decorrer das observações, todos os participantes mantiveram os seus postos de trabalho normais, sendo o ambiente de trabalho alterado o mínimo possível.

Para todos os dados provenientes dos *eye-trackers* apresentarem a maior eficiência e precisão possível, foi necessário calibrá-los o mais corretamente possível, sendo que o modelo utilizado possui cinco métodos possíveis: calibração com marcas no ecrã, calibração com marcas colocadas manualmente, calibração com apenas uma marca, calibração com características naturais e calibração com a extremidade dos dedos. As duas primeiras observações foram feitas com recurso a marcas no ecrã, porém, após processamento, verificou-se um baixo grau de precisão dos dados. Nas observações seguintes recorreu-se à calibração com recurso às características naturais, tendo o resultado sido um nível de precisão mais elevado.

2.1.1 Limitações

No final de cada observação e após processar os dados verificaram-se sempre aspetos que poderiam ser melhorados, esperando-se que cada observação seja também um momento de aprendizagem, contribuindo para melhorar as seguintes.

Nas observações realizadas em 2019, apontaram-se as seguintes limitações:

- a perda momentânea de seguimento da pupila por parte dos *eye-trackers* causada pelo efeito da luminosidade nos olhos dos participantes, inerente ao ambiente natural em que a observação foi realizada;
- os processos burocráticos e autorizações necessárias à realização do estudo nas pontes dos navios militares;
- a necessidade de redução do tempo de observação para cerca de metade do tempo total que demora a praticar a entrada ou saída do porto de Lisboa devido à elevada dimensão dos dados e conseqüente dificuldade de processamento;
- a interferência da montagem e calibração dos equipamentos no normal funcionamento da ponte do navio, afastando os operadores dos seus equipamentos;
- a necessidade de ligação dos *eye-trackers* por cabo a um computador, que leva à necessidade de colocar fechado num local seguro da ponte do navio;
- no processo de calibração do equipamento de modo a que seja possível para o operador olhar para o monitor e para o exterior sem levar à perda de precisão dos dados (detetaram-se erros nas primeiras observações com a utilização da calibração com marcas no ecrã).

À exceção do efeito da luz natural nos olhos do participante, que não foi possível melhorar ao longo das observações, todas as outras limitações foram resolvidas.

Após a recolha dos três questionários verificou-se que os dados contidos nos mesmos foram fidedignos para o presente estudo, porém, meramente indicativos, não existindo uma amostragem suficiente para que tivessem significância estatística. Não obstante, os dados recolhidos foram analisados e utilizados de modo indicativo e complementar aos restantes dados.

2.2 Processamento dos dados

Após concluídas as observações nos navios da Marinha Portuguesa, como resultado final, obteve-se um conjunto de dados recolhidos pelos *eye-trackers*, constituídos por: dois vídeos das micro-câmara laterais, cada um correspondente a um olho, que filmaram diretamente o globo ocular do participante e um vídeo da câmara *world*, que filmou o ambiente externo, com foco na direção do olhar do participante e os dados dos relativos aos movimentos oculares (duração e número de piscares de olhos, duração e número de fixações e diâmetro das pupilas); vídeos provenientes das *action cams*, colocadas estrategicamente em pontos que permitem visualizar toda a

ponte do navio e as movimentações dos respetivos elementos (focando-se principalmente no navegador, no operador do ECDIS e no operador do RADAR); um ficheiro áudio resultante de um microfone colocado no centro da ponte e os questionários demográficos, SART e NASA-TLX, devidamente preenchidos por cada participante. Como complemento, obtiveram-se também fotografias de equipamentos considerados relevantes para o estudo, bem como os registos dos observadores.

Com base nos dados acima descritos, procedeu-se a uma análise mista, consistindo, na fase inicial, em analisar qualitativamente os vídeos da câmara *world*, das *action-cams*, dos ficheiros áudio e das notas dos observadores. É uma análise mais subjetiva, com o intuito de compreender e analisar os fenómenos relevantes no decorrer da navegação, contrastando posteriormente com uma análise quantitativa, baseada principalmente nos dados provenientes dos *eye-trackers*, que permitiu compreender melhor e comparar os fenómenos considerados relevantes. O método de análise misto não exigiu que a análise qualitativa e quantitativa fossem efetuadas de forma sequencial, sendo possível complementar as duas formas de análise de modo a tirar o máximo de partido dos dados.

2.2.1 Análise qualitativa

Numa fase inicial foi realizada uma análise qualitativa dos dados, tendo sido necessário processá-los previamente. Para tornar a análise do vídeo mais intuitiva para o analista, compilou-se, numa única janela de vídeo os vídeos recolhidos através das diferentes câmaras e o áudio. Isso levou à necessidade de converter todos os vídeos para o mesmo formato (.mp4) de modo a serem posteriormente compilados.

Com recurso ao *software* Pupil-Player (V1.23), exportou-se o vídeo *world* filmado com os *eye-trackers* através da ferramenta «*world video exporter*», complementado com o *plugin* «*Eye Overlay*» para um formato universal (.mp4). Após a conversão do vídeo da ponte, proveniente da *action cam* para o mesmo formato, recorreu-se a um *software* de edição de vídeo (Adobe Première Pro) que permitiu compilar os vídeos e o áudio todos no mesmo *screen*, por forma a facilitar a análise (como se pode ver na Figura 2.3).



FIGURA 2.3: Vídeo *world* com *eye-overlay* (imagem inferior) e vídeo proveniente da *action cam* (imagem superior) compilados num único *screen* de vídeo.

Posteriormente, com recurso ao *software* Nvivo (2020), o vídeo foi dividido em intervalos e analisado, categorizando as diferentes atividades do operador do ECDIS, desde interações com os restantes elementos da equipa a interações com o próprio equipamento. Depois de todos os intervalos categorizados, as informações relativas às observações e aos participantes observados foram colocadas no programa, para ser toda relacionada.

Como resultado, obtiveram-se mapas de projeção como os que podemos visualizar na Figura 2.4, que permitem analisar as interações que ocorreram, relacionando-as para compreender as que apresentam uma maior relevância para o estudo. As informações que constam nos questionários podem também relacionar-se com as restantes informações catalogadas, visto englobarem-se nas informações relativas aos participantes da observação.

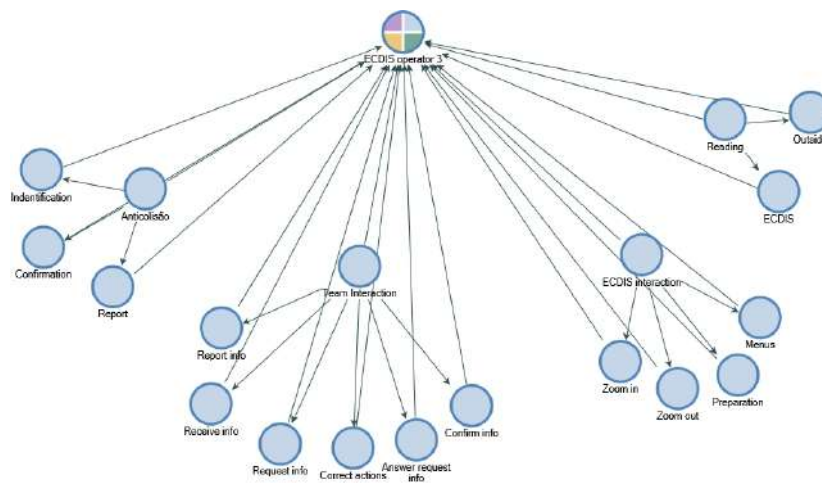


FIGURA 2.4: Exemplo de um mapa de projeção retirado do Nvivo.

Este procedimento foi realizado para todas as observações, sendo as interações que ocorreram entre os elementos da ponte e as interações específicas entre o operador de ECDIS e o equipamento o *output* final, permitindo tirar ilações e fundamentá-las na análise quantitativa.

Os resultados dos questionários SART e NASA-TLX foram analisados e processados para posterior cruzamento com os dados recolhidos pelos *eye-trackers*, a fim de comparar resultados e retirar conclusões.

2.2.2 Análise quantitativa

Tanto os dados recolhidos pelos *eye-trackers* como os resultados dos questionários foram devidamente guardados em discos externos para serem extraídos de acordo com os intervalos de valores considerados relevantes para o estudo. Tendo como ponto de partida a análise qualitativa, selecionaram-se hipóteses a estudar com base nos mapas conceptuais desenvolvidos através do *software* Nvivo (2020) e de acordo com o enquadramento teórico, o que permitiu reconhecer o tipo de dados a extrair do Pupil-Player (v1.23). Numa primeira fase, os dados a extrair foram

os seguintes: duração dos piscares de olhos, frequência dos piscares de olhos, duração das fixações, frequência das fixações e diâmetro das pupilas. De acordo com a tabela 1.1, pretende-se estudar os processos cognitivos e comportamentais relacionados com os dados. O *output* após extração contempla vários ficheiros (.csv) com centenas ou milhares de entradas, que precisaram de ser estatisticamente validados e filtrados para análise, tendo sido criados *scripts*, com recurso ao MATLAB (2020), para auxiliar tanto na visualização gráfica dos dados como na sua análise estatística, facilitando o processo de validação.

Como mencionado anteriormente, o *Pupil-Labs* faculta um *software* para extração e análise dos dados recolhidos através dos seus *eye-trackers*, tendo sido utilizado o Pupil-Player (V1.23). O programa apresenta vários algoritmos, cada um específico para um tipo de dados de interesse, que permite ao analista selecionar os parâmetros pretendidos para a extração. Nas subsecções seguintes apresentam-se os parâmetros utilizados no presente estudo e o motivo da sua escolha.

2.2.2.1 Piscares de olhos:

O algoritmo de deteção do Pupil-Player atribui um valor referente à qualidade da deteção da pupila a cada momento da gravação, que varia entre 0 e 1. Esse é o valor da confiança e o algoritmo de deteção utiliza-o para detetar se é ou não um piscar de olhos. Quando o olho fecha, o valor da confiança diminui porque é perdido o seguimento da pupila e de seguida, quando reabre, o valor volta a aumentar, visto que o equipamento retoma o seguimento. Assim sendo, definiram-se os seguintes parâmetros para detetar os picares de olhos através do *software*:

- *History length*: 150 milissegundos (ms);
- *Onset confidence threshold*: 0,3
- *Offset confidence threshold*: 0,3
- *Blinks exported*: 1282

O “*history length*” é um intervalo de tempo para o qual o algoritmo do Pupil-Player (V1.23) procura detetar variações (diminuições ou aumentos significativos) dos intervalos de confiança para que sejam identificados os piscares de olhos. Escolheu-se um valor relativamente pequeno (150ms) visto que as observações foram feitas em ambiente de luz não controlado, que pode resultar em variações mais repentinas dos valores da confiança, seja devido aos raios de luz a incidir na pupila, à distância dos objetos ou ao encadeamento momentâneo. O “*onset*” e o “*offset confidence threshold*” são os limites inferiores e superiores da variação da confiança que definem se é ou não considerado um piscar de olhos. Quando o valor da confiança cai mais do que 0,3 num espaço de 150ms e posteriormente volta a aumentar 0,3; é considerado um piscar de olhos. Valores do intervalo de confiança mais próximos de 0 consideram praticamente todos os eventos como piscar de olhos, o que leva a uma quantidade maior de erros. Foi escolhido um valor relativamente baixo (0,3) para os intervalos de confiança porque sendo uma observação em ambiente de luz não controlado, a confiança normalmente não é tão elevada devido aos raios de luz, fenómenos de encadeamento e variação da distância. Porém, acontece por vezes que

quando o olho reabre a câmara, não segue imediatamente a pupila ou volta a perdê-la, sendo considerado um piscar de olhos com valores muito fora do normal. Nesse caso, os valores devem ser filtrados para o intervalo de valores aceite, apresentado no enquadramento teórico.

2.2.2.2 Fixações

Para o presente estudo utilizou-se o algoritmo de detecção de fixações do Pupil-Player, que funciona de modo *offline* (definem-se os parâmetros após a observação). Identifica e deteta fixações que ocorram segundo parâmetros definidos pelo utilizador, sendo estes a dispersão máxima, a duração mínima e a duração máxima duma fixação. Escolheram-se os seguintes valores para o estudo:

- Dispersão máxima: 1,500 graus
- Duração mínima: 100 ms
- Duração máxima: 1000 ms
- Fixations exported: 2471

Enquanto ocorre uma fixação, o olho não se encontra completamente fixo num local, continuando a ocorrer micro-movimentos. Para detetar a fixação tornou-se, assim, necessário definir uma distância máxima que cubra todos os locais para onde o olho se movimenta durante a fixação. A unidade de medida dessa distância são graus, e corresponde ao ângulo visual da variação do olhar do utilizador, sendo o valor escolhido (1,5 graus) para evitar a sobreposição de fixações, visto que o algoritmo pode juntar duas fixações quando o valor da dispersão é elevado. Para se considerar uma fixação é também necessário estabelecer um valor mínimo e máximo, em milissegundos. Valores de fixações inferiores a 100ms podem ter erro associado causado por ruído do aparelho, razão pela qual se escolheu o valor da duração mínima. Segundo Bergstrom e Schall (2014), fixações com duração superior a 600ms são raras. Contudo, escolheu-se um valor de 1000ms para a duração máxima de modo a detetar, caso aconteçam, casos de sobreposição de fixações, existindo a possibilidade de posteriormente filtrar os valores considerados errados através do *script* desenvolvido em MATLAB (2020).

2.2.2.3 Diâmetro da pupila

O algoritmo de medição do diâmetro das pupilas, no Pupil-Player (V1.23), deteta para cada *frame*, o valor respetivo para cada olho. No caso deste algoritmo apenas podem ser definidos dois parâmetros por parte do utilizador do equipamento: o diâmetro mínimo e o diâmetro máximo das pupilas, em milímetros. Para o presente estudo escolheram-se os seguintes valores:

- Diâmetro mínimo: 1,5mm
- Diâmetro máximo: 8mm

Os valores foram determinados com base no intervalo definido como a variação possível para o olho humano, segundo Alexandridis (1985). O programa tem

como output dois tipos de medições do diâmetro das pupilas: a medição em *pixéis*, calculada através da imagem da câmara, que não se encontra corrigida com a perspetiva correta e a medição em milímetros, calculada com base num modelo definido pelo *software*, com a perspetiva corrigida. Existindo ligeiras diferenças entre os dois modelos, foi utilizado o segundo para o estudo. Apesar das observações terem sido realizadas em ambiente de luz não controlado, segundo Pfleging et al. (2016) é possível tirar conclusões sobre a dificuldade da tarefa através do diâmetro das pupilas independentemente das condições de luminosidade, contudo, tornando-se necessário filtrar os valores fora do espectro da variação possível do olho humano derivados de fenómenos de perda do seguimento da pupila devido à luz não ser controlada.

2.3 Resumo

O presente capítulo foca-se sobre a metodologia adotada a bordo durante as observações para a recolha de dados, destacando-se as limitações decorrentes de cada observação. Algumas destas limitações, resolveram-se ao longo das observações. Nas primeiras observações, destacaram-se as dificuldades no processamento dos dados devido à duração da navegação em águas restritas, as dificuldades com o método de calibração com marcas no ecrã por não registar os dados com a precisão necessária e o ambiente dinâmico em que o estudo foi realizado, sem controlo da luminosidade. À exceção da dificuldade inerente ao ambiente natural das observações, todas as outras dificuldades foram sendo colmatadas.

Posteriormente, abordam-se os métodos de processamento dos dados pós-observação, explicando de que forma foram analisados qualitativa e quantitativamente. Dentro dos dados quantitativos, medidos através dos *eye-trackers*, destacou-se a escolha dos parâmetros no *software* de tratamento de dados pós-observação e respetiva explicação. A explicação da escolha é relevante para compreender de que forma foram escolhidos os dados selecionados no presente estudo.

Capítulo 3

RESULTADOS

3.1 Observações

Foram realizadas um total de seis observações, em dois tipos de navios diferentes (designados como navio do tipo A e navio do tipo B), das quais se obtiveram resultados distintos. Na Tabela 3.1 pode consultar-se, para cada observação, o número que a identifica, o tipo de navio, o local onde foi realizada e a hora de início e de fim.

TABELA 3.1: Identificação das observações e respetivas características

Observação	Tipo navio	Local	Hora
#1	A	Porto de Lisboa (saída)	1330Z - 1500Z (2019)
#2	A	Porto de Lisboa (entrada)	0930Z - 1100Z (2019)
#3	B	Porto de Lisboa (saída)	1000Z - 1130Z (2019)
#4	B	Porto de Lisboa (entrada)	0815Z - 1000Z (2019)
#5	A	Porto de Lisboa (saída)	1430Z - 1800Z (2020)
#6	A	Porto de Setúbal (saída)	0930Z - 1100Z (2020)

Apesar de terem sido realizadas seis observações, para o presente estudo não se considerou a observação #6 por ter sido realizada num porto diferente e com limitações de calendário.

Na Figura 3.1 pode visualizar-se o trajeto praticado pelos navios durante as observações #2, #3, #4 e #5. O trajeto preto corresponde à observação #2 (entrada do porto de Lisboa); o trajeto amarelo corresponde à observação #3 (saída do porto de Lisboa); o trajeto azul corresponde à observação #4 (entrada do porto

de Lisboa) e o trajeto vermelho corresponde à observação #5 (saída do porto de Lisboa).

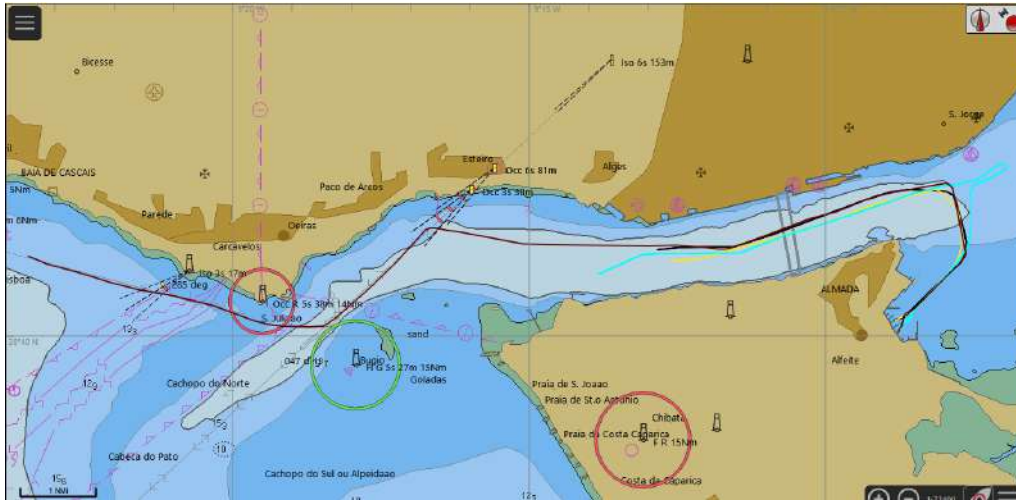


FIGURA 3.1: Planeamento praticado pelos navios durante as observações #2, #3, #4 e #5 na entrada e saída do porto de Lisboa.

3.2 Questionário demográfico

Analisou-se o questionário demográfico por forma a conhecer características dos participantes de cada observação (função na equipa de navegação, sexo, idade, posto, experiência nas funções e horas de navegação). Estas características podem influenciar a dinâmica de equipa, devendo ser tidas em consideração aquando da análise qualitativa.

TABELA 3.2: Dados demográficos dos participantes da observação #1 e #2.

ID	Função	Sexo	Idade	Posto	Experiência Funções	Horas Navegação
1	NAVO	Masculino	24	Oficial	6 meses	200
2	ECDIS	Masculino	25	Praça	21 meses	8000
3	BPSO	Masculino	26	Oficial	28 meses	4500
4	Carta	Masculino	23	Oficial	5 meses	300
5	Leme	Feminino	30	Praça	24 meses	9000
6	Sonda	Masculino	27	Praça	22 meses	3000
7	Vigia BB	Masculino	31	Praça	3 semanas	15000
8	Vigia EB	Masculino	27	Praça	10 meses	7000
9	Telégrafos	Masculino	29	Praça	1 dia	9000

Como se pode visualizar na Tabela 3.2, a observação #1 e #2 realizada a bordo do navio do tipo A contou com a participação de 9 elementos (8 masculinos e

1 feminino) que fazem parte da equipa de navegação. A equipa era constituída por 3 oficiais e 6 praças com uma média de idades de 27 anos, com um desvio padrão de 2,7 anos. O elemento mais experiente encontrava-se em funções na equipa há cerca de 28 meses enquanto o elemento menos experiente tinha acabado de ser integrado (1 dia). A média de tempo de navegação dos elementos é de cerca de 6200 horas.

TABELA 3.3: Dados demográficos dos participantes da observação #3 e #4.

ID	Função	Sexo	Idade	Posto	Experiência Funções	Horas Navegação
1	NAVO	Feminino	25	Oficial	5 meses	2400
2	ECDIS	Masculino	26	Oficial	5 meses	5000
3	BPSO	Masculino	26	Oficial	12 meses	4000
4	Carta	Masculino	48	Sargento	7 meses	9500
5	Leme	Feminino	28	Praça	12 meses	3000
6	Sonda	Masculino	48	Praça	14 meses	13400
7	Vigia BB	Masculino	29	Praça	1 dia	5000
8	Vigia EB	Masculino	22	Praça	14 meses	1500
9	Telégrafos	Feminino	41	Praça	22 meses	900

A Tabela 3.3 contém os dados dos participantes da observação #3 e #4, realizada a bordo do navio do tipo B que contou, também, com a participação de 9 elementos (6 masculinos e 3 femininos). A equipa era constituída por 3 oficiais e 6 praças com uma média de idades de 33 anos, com um desvio padrão de 10,2 anos. O elemento mais experiente encontrava-se em funções na equipa há cerca de 22 meses enquanto o elemento menos experiente tinha acabado de ser integrado. A média de tempo de navegação dos elementos é de cerca de 5000 horas de navegação.

TABELA 3.4: Dados demográficos dos participantes da observação #5.

ID	Função	Sexo	Idade	Posto	Experiência Funções	Horas Navegação
1	NAVO	Masculino	26	Oficial	24 meses	2000
2	ECDIS	Masculino	38	Praça	12 meses	8000
3	BPSO	Masculino	25	Oficial	12 meses	2000
4	Carta	Masculino	32	Sargento	16 meses	16500
5	Leme	Masculino	36	Praça	6 meses	10000
6	Sonda	Masculino	29	Praça	9 meses	6000
7	Vigia BB	Masculino	24	Praça	18 meses	3000
8	Vigia EB	Masculino	34	Praça	1 mês	13000
9	Telégrafos	Masculino	28	Praça	24 meses	6500

A Tabela 3.4 contém os dados dos participantes da observação #5, realizada a bordo do navio do tipo A que contou, também, com a participação de 9 elementos masculinos. A equipa era constituída por 2 oficiais e 7 praças com uma média de idades de 30 anos, com um desvio padrão de 5 anos. O elemento mais experiente encontrava-se em funções na equipa há cerca de 24 meses enquanto o elemento menos experiente tinha 1 mês de experiência. A média de tempo de navegação dos elementos é de cerca de 6500 horas de navegação.

3.3 Questionário SART

No final de cada observação todos os participantes foram sujeitos ao preenchimento de um questionário SART, com o intuito de medir o conhecimento situacional relativo às tarefas que realizaram. Este questionário foca-se maioritariamente nas características de cada tarefa e não nos elementos que nela participaram. O questionário apresenta-se no Anexo 2 e mede os nove campos seguintes: instabilidade da situação, complexidade da situação, variabilidade da situação, entusiasmo, concentração da atenção, divisão da atenção, capacidade mental restante, quantidade de informação e familiaridade com a situação.

No final de cada observação recolheram-se os questionários. Nas observações #1 e #2 participaram 9 elementos com uma média de idades de 27 anos, nas observações #3 e #4 participaram 9 elementos com uma média de idades de 33 anos e na observação #5 participaram 9 elementos com uma média de idades de 30 anos. Todas as funções necessárias à navegação em águas restritas para saída e entrada do porto de Lisboa foram ocupadas.

Na Figura ?? podem visualizar-se as respostas dos operadores do ECDIS referentes às observações #1, #2, #3, #4 e #5.

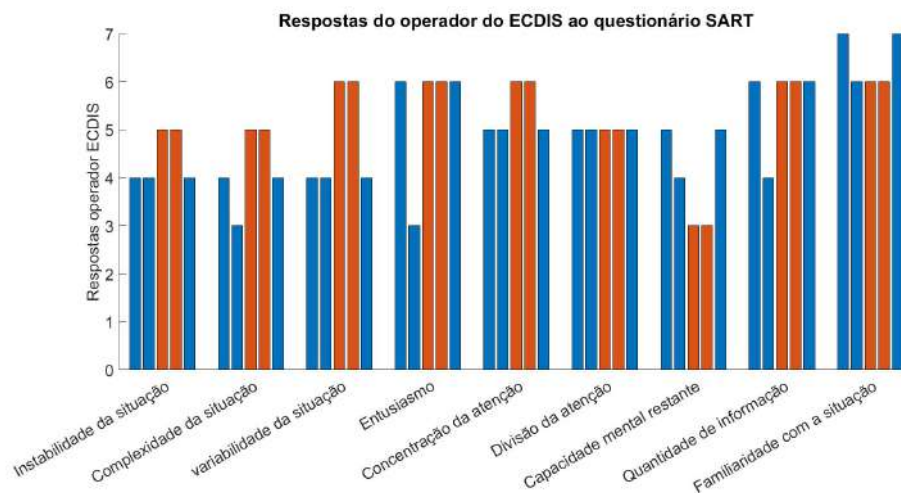


FIGURA 3.2: Respostas do operador do ECDIS ao questionário SART relativas às observações #1, #2, #3, #4 e #5 ordenadas cronologicamente dentro de cada parâmetro. As barras a azul correspondem às observações no navio do tipo A e a vermelho às observações em navios do tipo B.

Através da análise do gráfico da Figura ??, no campo da familiaridade da situação, todos os operadores responderam com valores elevados, indicando que conhecem a situação a que foram submetidos. Não obstante, as respostas aos campos da quantidade de informação, da divisão da atenção e da concentração apontam para uma atividade mentalmente exigente. À exceção da observação #2, todos os operadores demonstraram entusiasmo na atividade realizada.

A comparação entre as respostas dos observadores entre os dois tipos de navios (a azul respostas dos operadores do navio do tipo A e a vermelho respostas dos operadores do navio do tipo B) pode apontar para uma maior instabilidade, complexidade e variabilidade da situação no navio do tipo B em relação ao navio do tipo A.

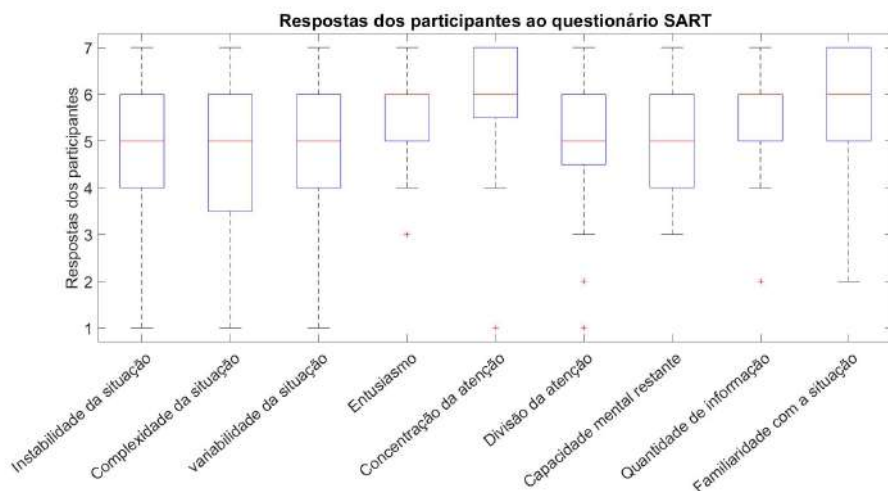


FIGURA 3.3: Compilação das respostas de todos os elementos presentes na ponte dos navios durante as observações #1, #2, #3, #4 e #5 (45 elementos) através de *boxplots*.

Ao comparar as respostas dos vários elementos das equipas de navegação no gráfico da Figura 3.3, percebe-se que os campos cujas respostas apresentam valores mais elevados são: a familiaridade com a situação, a concentração da atenção e a quantidade da informação. Isto aponta para que, apesar das diferentes tarefas que cada elemento realiza, todos conheçam bem a situação, exigindo uma elevada concentração para trabalhar com uma grande quantidade de informação.

Os campos que apresentam maior variabilidade de respostas entre os operadores são a instabilidade da situação, a complexidade da situação e a variabilidade da situação. Este facto pode indicar que para cada função as tarefas são vistas com um nível de instabilidade e responsabilidade diferente.

Verifica-se, no entanto, que comparando as respostas do operador do ECDIS com as variações das respostas das equipas de navegação, que as respostas do operador do ECDIS se encontram dentro das respostas médias dos restantes elementos das equipas de navegação, o que sugere a necessidade de um elevado conhecimento situacional durante a tarefa. Contudo, não existem amostras suficientes para tirar conclusões com significância estatística, funcionando como elementos meramente informativos.

3.4 Questionário NASA-TLX (versão expandida)

Inserindo-se o operador do ECDIS na equipa de navegação, considera-se a realização do questionário NASA-TLX, versão expandida, que se encontra no Anexo 3. Para além dos campos tradicionais (exigência mental, exigência física, exigência temporal, desempenho, esforço e frustração) (Hart & Staveland, 1988), este questionário acrescenta mais seis campos (exigência de coordenação, exigência de comunicação, exigência de partilha do tempo, eficácia da equipa, apoio da equipa e

insatisfação da equipa). Estes campos não carecem de ponderação e são direcionados para avaliação da carga de trabalho a nível da equipa (Coelho et al., 2015).

Na Figura 3.4 pode visualizar-se as respostas do operador do ECDIS referentes à observação #1, #2, #3, #4 e #5, correspondentes à entrada e saída do porto de Lisboa. Os seis primeiros campos apresentados correspondem ao questionário normal e os seis últimos campos à versão expandida, correspondendo todos eles a respostas não ponderadas. As observações #1 e #2 apresentam apenas os resultados relativos à versão normal do questionário. A versão expandida foi aplicada apenas nas restantes observações.

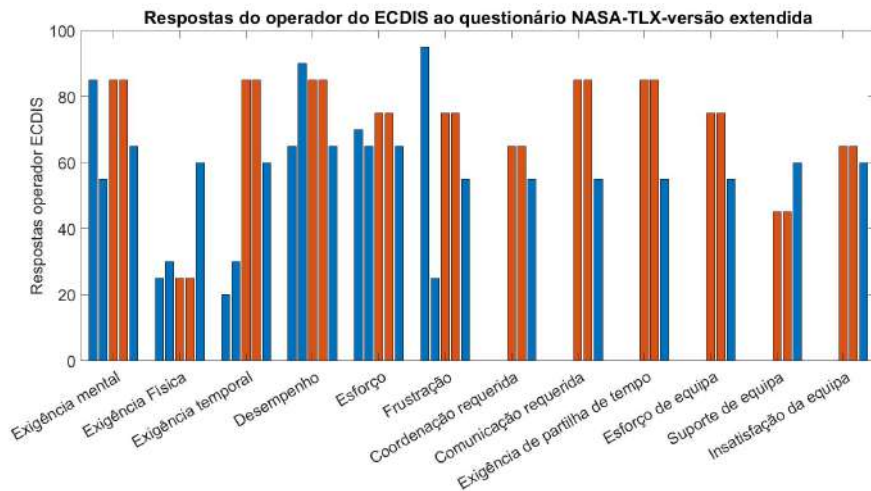


FIGURA 3.4: Respostas do operador do ECDIS ao questionário NASA-TLX (versão expandida) relativas às observações #1, #2, #3, #4 e #5 ordenadas cronologicamente dentro de cada parâmetro. As barras a azul correspondem às observações no navio do tipo A e a vermelho às observações em navios do tipo B.

A análise do gráfico da Figura 3.4 indica algumas diferenças nos últimos 6 campos, relacionados com a prestação da equipa entre o navio do tipo A e o navio do tipo B. O operador do ECDIS do navio B considera que é necessário uma maior coordenação e comunicação (barras vermelhas nos campos da coordenação e atenção) em relação ao operador do navio A. O gráfico indica, através da comparação entre o campo da exigência mental e da exigência física que a tarefa realizada é mais intelectual, exigindo esforço e um bom desempenho.

Depois de comparados entre si, foi realizada a ponderação entre os primeiros seis campos do questionário, permitindo comparar o valor que o participante atribuiu a cada um dos campos. O resultado da ponderação pode visualizar-se na Figura 3.5. Analisaram-se apenas os questionários das observações #3, #4 e #5 porque os questionários das observações #1 e #2 não contemplavam a versão expandida.

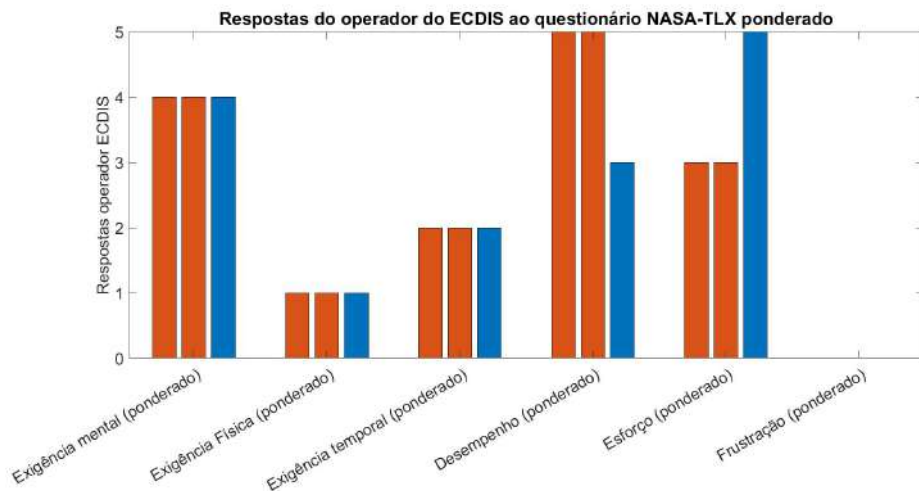


FIGURA 3.5: Respostas ponderadas do operador do ECDIS ao questionário NASA-TLX (versão simples) relativas às observações #3, #4 e #5 ordenadas cronologicamente dentro de cada parâmetro. As barras a azul correspondem às observações no navio do tipo A e a vermelho às observações em navios do tipo B.

A Figura 3.5 indica que o operador do ECDIS do navio do tipo B nas observações #3 e #4 escolheu a seguinte ordem de relevância: desempenho, exigência mental, esforço, exigência temporal, exigência física e, por fim, a frustração. O operador do ECDIS do navio do tipo A na observação #5 escolheu a seguinte ordem de relevância: esforço, exigência mental, desempenho, exigência temporal, exigência física e frustração.

Analisaram-se, também as respostas ponderadas do operador do RADAR (Figura 3.6), por serem os únicos elementos da equipa de navegação que utilizam sistemas de apoio à navegação avançados. As respostas ponderadas do operador do RADAR nas observações #3, #4 e #5 podem ser visualizadas na Figura 3.6. Para os operadores do RADAR os fatores mais relevantes são a exigência mental, o desempenho e o esforço.

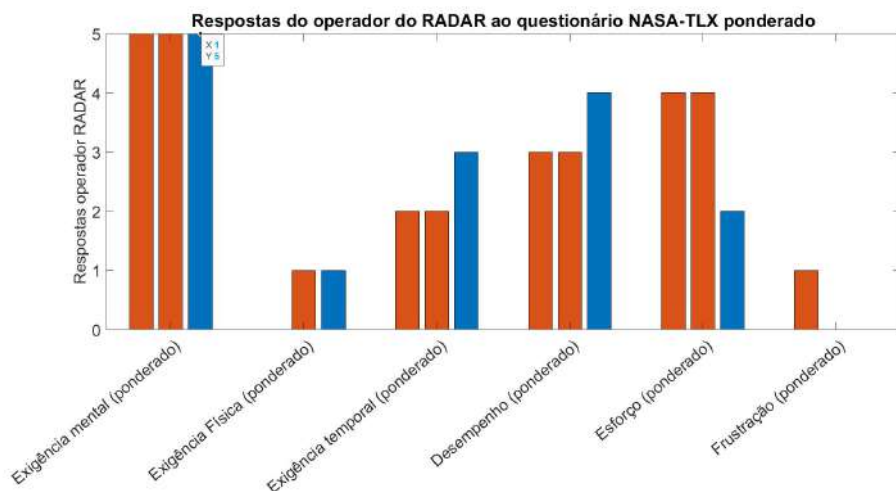


FIGURA 3.6: Respostas ponderadas do operador do RADAR ao questionário NASA-TLX (versão simples) relativas às observações #3, #4 e #5 ordenadas cronologicamente dentro de cada parâmetro. As barras a azul correspondem às observações no navio do tipo A e a vermelho às observações em navios do tipo B.

Ao analisar as respostas ao questionário ponderadas para a restante equipa obtém-se uma indicação da importância que estes atribuem a cada um dos elementos, compreendendo as semelhanças que ocorrem com as respostas do operador do ECDIS.

Na Figura 3.7 verifica-se a média das respostas dos 9 elementos das equipas das observações #3 e #4 e #5, verificando-se a atribuição da seguinte importância: exigência mental, desempenho, exigência temporal e esforço, exigência física e frustração. A resposta geral dos elementos da equipa indica semelhanças às respostas dos operadores do ECDIS, indicando uma maior importância para a exigência mental, para o desempenho e para o esforço. Contudo, não se obtiveram respostas aos questionários suficientes para retirar conclusões com significância estatística.

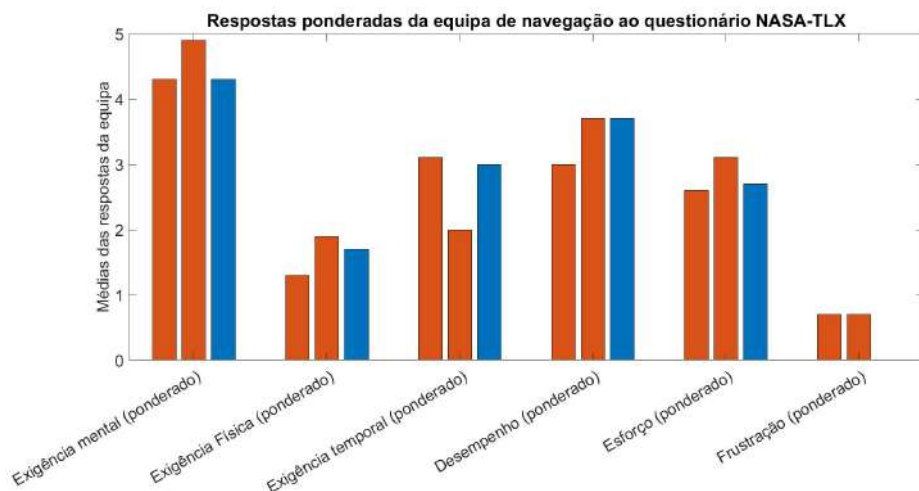


FIGURA 3.7: Média das respostas ponderadas das equipas de navegação ao questionário NASA-TLX (versão simples) relativas à observação #3, #4 e #5 ordenadas cronologicamente dentro de cada parâmetro. As barras a azul correspondem às observações no navio do tipo A e a vermelho às observações em navios do tipo B.

3.5 Caracterização das observações

Depois de realizada a observação e de processados os vídeos, foi feita uma análise qualitativa relativa ao comportamento do operador do ECDIS e da equipa de navegação durante a observação #3, onde se praticou a saída do porto de Lisboa num navio do tipo B, contando a observação com 9 participantes (Tabela 3.1). Os dados demográficos dos participantes apresentam-se na Tabela 3.2.

A interação entre os elementos da ponte é essencial para a partilha de informação proveniente de cada equipamento, de modo a que o elemento responsável pela tomada de decisão tenha disponível toda a informação necessária para tal. Isso leva à necessidade de cada operador trabalhar individualmente para identificar, selecionar e partilhar informação relevante recolhida através do seu sistema e de um posterior trabalho conjunto para confirmar e complementar a informação partilhada com os outros elementos da equipa.

Durante a navegação em águas restritas, enquanto o navegador e o comandante se preocupam em centralizar em si informação de modo a tomar decisões, cada operador deve ter o seu conhecimento situacional bem esclarecido, de modo a facultar informações assertivas ao navegador. Para esclarecer o conhecimento situacional a todos os elementos da ponte, deve ser efetuada uma sequência de relatos a cada 3 minutos (Figura 1.3), contando com a participação dos elementos designados para partilhar informação.

Através da análise da observação #3 (que permitiu complementar os vídeos da ponte com os vídeos dos *eye-trackers*), definiram-se categorias de forma a compreender as interações entre os diferentes elementos da ponte, aprofundando a forma como são influenciadas pela relação entre o operador do ECDIS e do equipamento.

As categorias a estudar englobam as interações entre os vários elementos da equipa, as interações resultantes dos casos de anti-colisão, as leituras feitas pelo operador do ECDIS (tanto no monitor do equipamento como no exterior) e as interações entre o operador e o equipamento (Figura 3.8).

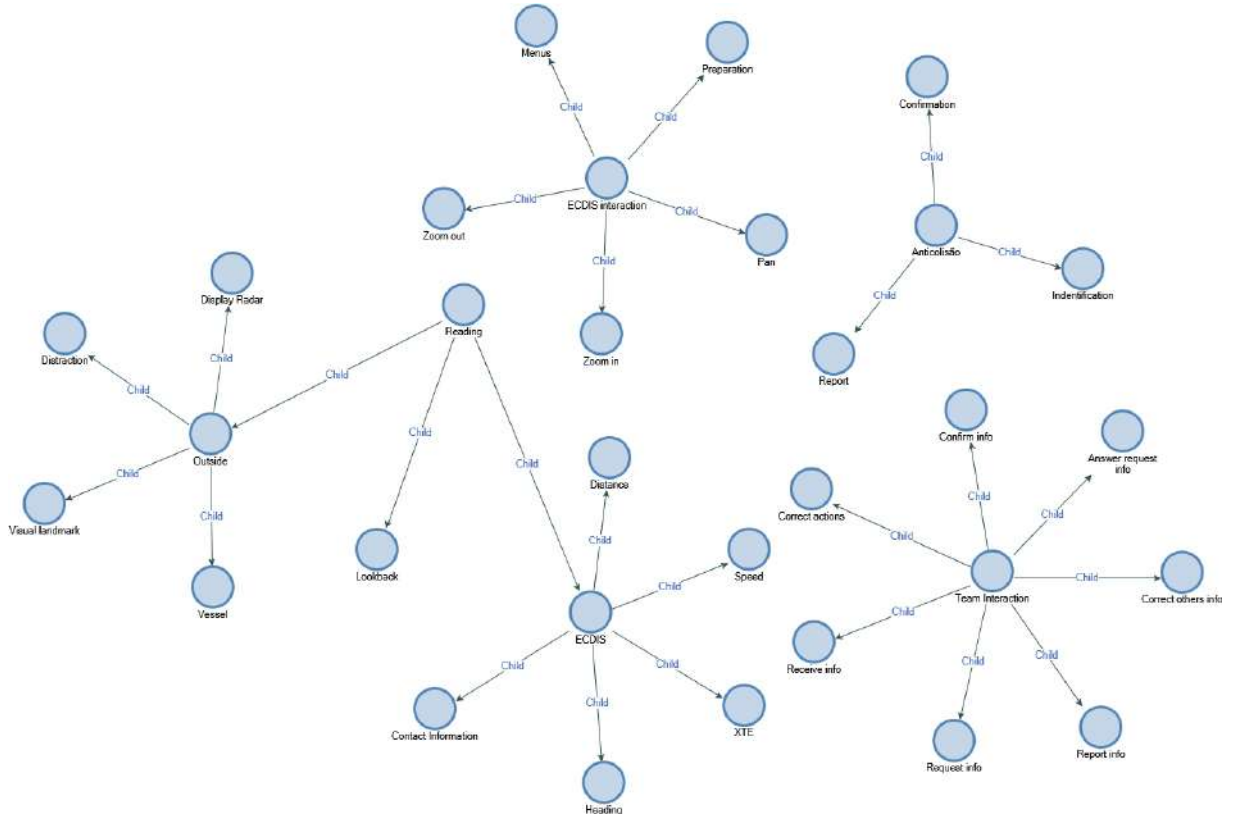


FIGURA 3.8: Categorias identificadas para análise das interações e comportamento dos elementos da equipa de navegação na observação #3.

Analisaram-se as interações entre o operador do ECDIS e os restantes elementos da equipa, detetando-se as seguintes: resposta a informações pedidas; receção, confirmação e pedido de informações; relato de informações; correção de ações e correção de informações (Figura 3.9).

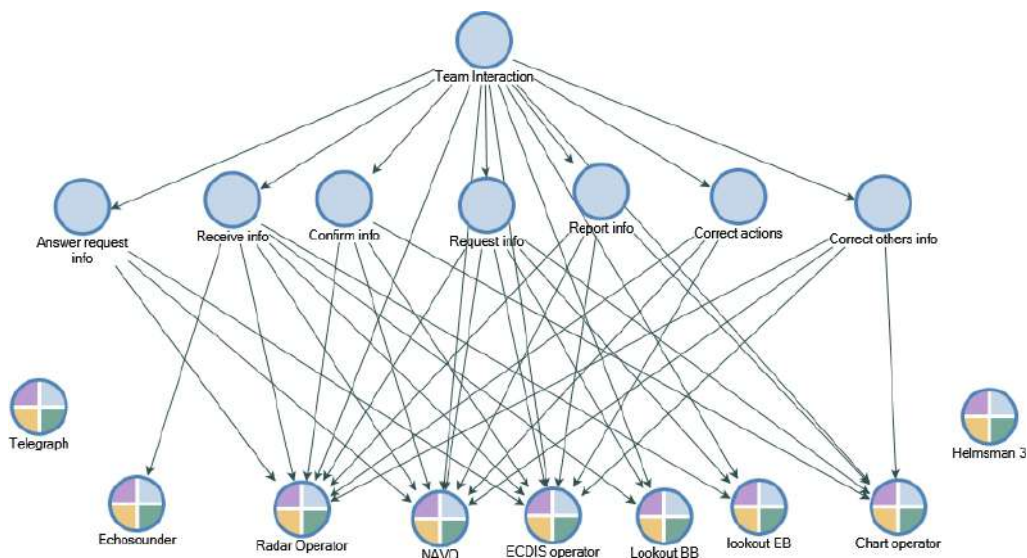


FIGURA 3.9: Interações entre os vários elementos da equipa de navegação durante a observação #3.

Na Figura 3.9, através dos círculos azuis estão representadas as interações que ocorreram na equipa. Os círculos coloridos apontam para os elementos envolvidos nas interações (o navegador, o operador do ECDIS e do RADAR são os elementos com quem se verifica uma maior interação durante a navegação. Durante esta observação, a relação entre o operador do ECDIS e o operador da carta limita-se à confirmação e correção de informações, bem como à partilha de informações de que o operador da carta necessita. A relação entre o operador do ECDIS e os vigias é maioritariamente de receção de informação, sendo praticamente inexistente com o operador da sonda. O operador do ECDIS não interage com o homem dos telégrafos ou do leme.

Após a análise da observação #3, levantou-se a questão de como ocorreriam as interações entre os elementos da equipa de navegação durante a navegação em águas restritas, variando o planeamento (entrada ou saída, o tipo de navio, ou os elementos da equipa). Assim, analisaram-se as interações ocorridas nas restantes observações (à exceção da observação #1, dada a impossibilidade de conjugar o áudio do dictafone com o vídeo da *action-cam*). Os resultados das interações entre os elementos das equipas de navegação relativos às observações #2, #3, #4 e #5 podem visualizar-se nas Tabelas 3.5 e 3.6.

TABELA 3.5: Interações entre elementos da equipa de navegação com o operador do ECDIS durante a observação #2.

Interações OBS #2	
Sequência Relatos completa	7
NAVO → ECDIS	3
ECDIS → NAVO	10
RADAR → ECDIS	0
ECDIS → RADAR	0
Carta → ECDIS	0
ECDIS → Carta	0
Vígias → ECDIS	0
ECDIS → Vígias	2

Durante a observação #2 (Tabela 3.5) verificaram-se 7 sequências de relatos completas (Figura 1.3), nas quais todos os elementos cumpriram a respetiva ordem e relataram assertivamente as informações ao navegador. Detetou-se um maior fluxo de interações entre o ECDIS e o navegador, contabilizando-se 10 interações em que o operador do ECDIS facultou informação que o navegador necessitava. O navegador apenas precisou de pedir informação ao ECDIS em 3 situações. Porém, não houve qualquer interação entre o operador do ECDIS e o operador do RADAR ou da carta. A interação entre o operador do ECDIS e o vigia do seu bordo deu-se apenas para esclarecer uma informação acerca das marcas necessárias para tirar azimutes.

TABELA 3.6: Interações entre elementos da equipa de navegação com o operador do ECDIS durante a observação #3.

Interações OBS #3	
Sequência Relatos completa	1
NAVO → ECDIS	2
ECDIS → NAVO	22
RADAR → ECDIS	6
ECDIS → RADAR	13
Carta → ECDIS	2
ECDIS → Carta	0
Vígias → ECDIS	Fonte: 0
ECDIS → Vígias	1

Na observação #3 (Tabela 3.6) verificou-se apenas uma sequência de relatos completa. Contudo, existiu um grande fluxo de informação entre o navegador e o operador do ECDIS (o navegador apenas necessitou de pedir informação 2 vezes, tendo o operador do ECDIS facultado informação necessária para o mesmo 22 vezes).

Verificou-se, também, uma forte interação entre o operador do ECDIS e o operador do RADAR, trocando estas várias informações acerca de contactos e complementando a informação. Durante toda a observação não se verificou uma presença ativa da carta, não tendo esta relatado nenhum ponto completo. A única interação verificada com o operador do ECDIS foi para confirmar informações. A interação entre o operador do ECDIS e o vigia do seu bordo ocorreu para um esclarecimento relativo à marca a utilizar.

TABELA 3.7: Interações entre elementos da equipa de navegação com o operador do ECDIS durante a observação #4.

Interações OBS #4	
Sequência Relatos completa	1
NAVO → ECDIS	1
ECDIS → NAVO	16
RADAR → ECDIS	3
ECDIS → RADAR	7
Carta → ECDIS	0
ECDIS → Carta	0
Vígias → ECDIS	0
ECDIS → Vígias	0

Na observação #4 (Tabela 3.7) verificou-se apenas uma sequência de relatos completa. O fluxo de informação trocada entre o operador do ECDIS e o navegador foi, porém, muito elevada, verificando-se 16 interações no sentido do operador do ECDIS para o navegador e apenas 1 do navegador para o operador do ECDIS. As interações entre o operador do RADAR e do ECDIS voltaram a ser elevadas, ocorrendo 3 no sentido do RADAR para o ECDIS e 7 no sentido contrário. A participação da carta e dos vigias foi, contudo, inexistente, não se verificando interação com estes elementos.

TABELA 3.8: Interações entre elementos da equipa de navegação com o operador do ECDIS durante a observação #5.

Interações OBS #5	
Sequência Relatos completa	10
NAVO → ECDIS	3
ECDIS → NAVO	6
RADAR → ECDIS	0
ECDIS → RADAR	1
Carta → ECDIS	3
ECDIS → Carta	2
Víguas → ECDIS	0
ECDIS → Víguas	1

Após analisadas as interações entre o operador do ECDIS e os restantes elementos da equipa, importa compreender o comportamento do operador do ECDIS enquanto não se encontra a interagir com a equipa, de modo a perceber como lê a informação no ECDIS ou como a confirma com outros elementos. A maneira como o operador do ECDIS lê ou confirma a informação na ponte do navio categorizou-se de três maneiras distintas. A primeira, através da leitura direta do *display* do ECDIS (ramificação mais à direita na Figura 3.10), onde se pode ler diretamente informação relativa à distância, velocidade, afastamento lateral, proa e informação de contactos. A segunda categoria corresponde aos momentos em que o operador se encontra a olhar para fora do *display* do equipamento (ramificação mais à esquerda na figura 3.10), olhando para o ecrã do RADAR para confirmar informação, olhando para marcas ou perigos no exterior do navio, interagindo com outros elementos ou distraíndo-se com algum evento paralelo à atividade a decorrer. A terceira categoria (ramificação central na Figura 3.10) corresponde aos *lookbacks*, eventos que ocorrem quando o operador pretende confirmar alguma informação, olhando novamente para o equipamento.

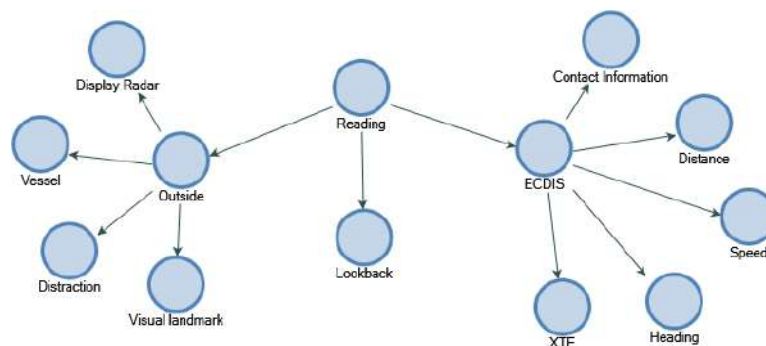


FIGURA 3.10: Categorias das atividades do operador do ECDIS quando não se encontra a interagir com os elementos da equipa durante a observação #3.

Para além das informações que o operador do ECDIS pode ler diretamente no *display* do equipamento quando configurado para navegação em águas restritas, importa, também, analisar as interações entre o operador e o próprio equipamento de modo a compreender como é utilizado pelo operador. Com recurso ao vídeo dos *eye-trackers* e ao vídeo da ponte relativo à observação #3 detetaram-se quatro tipos de interações entre o operador do ECDIS (identificadas nos círculos azuis da Figura 3.11).

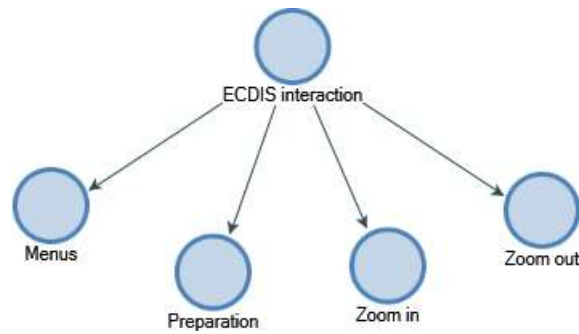


FIGURA 3.11: Categorias das interações entre o operador do ECDIS e o equipamento durante a observação #3.

Para compreender quantas vezes interagiu o operador do ECDIS com o equipamento durante a observação #3, procedeu-se à contagem das mesmas (Tabela 3.9).

TABELA 3.9: Número de interações entre o operador do ECDIS e o equipamento durante a observação #3.

Interações ECDIS OBS #3	
Menus	2
Preparação	1
<i>Zoom in</i>	4
<i>Zoom out</i>	4
Informação contactos	0
Pontos com azimutes	0

Durante a observação #3 detetaram-se um total de 11 interações com o ECDIS. O operador começou por interagir com o equipamento, preparando-o para a navegação em águas restritas. Posteriormente, definiu o seguimento automático do navio e apenas voltou a interagir com o mesmo para carregar no menu «*routes*» aquando da sequência de relatos, para obter informação de tempo e distância relativa tanto à pernada como ao planeamento. Para averiguar a posição do navio durante a guinada e para pesquisar contactos que se encontravam longe do navio,

utilizou o comando «*zoom out*» voltando, posteriormente, ao local desejado através do comando «*zoom in*».

TABELA 3.10: Número de interações entre o operador do ECDIS e o equipamento durante a observação #4.

Interações ECDIS OBS #4	
Menus	2
Preparação	1
<i>Zoom in</i>	12
<i>Zoom out</i>	12
Informação contactos	5
Pontos com azimutes	0

Durante a observação #4 detetaram-se um total de 32 interações. Enquanto o navio se encontrava a navegar e a seguir com o planeamento, as interações detetadas foram semelhantes às que tinham ocorrido durante a observação #3. Porém, quando o navio saiu do planeamento para esperar que outro navio saísse, ficando a aguardar no Mar da Palha, detetaram-se mais 30 interações, principalmente sobre pesquisa de contactos e anti-colisão.

TABELA 3.11: Número de interações entre o operador do ECDIS e o equipamento durante a observação #5.

Interações ECDIS OBS #5	
Menus	10
Preparação	1
<i>Zoom in</i>	4
<i>Zoom out</i>	4
Informação contactos	0
Pontos com azimutes	10

Durante a observação #5, registaram-se um total de 29 interações entre o operador do ECDIS e o equipamento. A grande parte das interações aconteceu no momento dos relatos, para que o operador conseguisse facultar toda a informação necessária ao navegador.

3.6 Estatística descritiva dos registos dos *eye-trackers*

3.6.1 Piscares de olhos

Após extraídos os dados do Pupil-Player (V1.23) com base nos parâmetros descritos anteriormente, realizou-se uma análise estatística relativa à totalidade do número de piscares de olhos e à sua duração, tendo sido detetados 1282 piscares de olhos durante os 36 minutos e 24 segundos de vídeo analisados. Começou por se fazer uma análise geral dos dados (Tabela 3.12) e posteriormente o respetivo *boxplot* (Figura 3.12) para avaliar a sua distribuição.

TABELA 3.12: Análise estatística relativa à totalidade dos dados da duração dos piscares de olhos da observação #3.

	Duração [ms]
Mínimo	0
Q1	153,31
Mediana	225,04
Q3	468,00
Máximo	9892,63
Média	581,59
Desvio-padrão	963,26
Alcance	9898,63

Através dos dados da Tabela 3.12 constata-se que as durações variam entre os 0ms e os 9892,63ms, encontrando-se 75% dos dados concentrados num intervalo de duração entre os 0ms e os 468 ms. A média da duração das observações é de 581,59ms e o desvio-padrão de 963,26ms.

A frequência de piscares de olhos para o tempo de vídeo analisado é de aproximadamente 35 piscares de olhos por minuto, sendo que o valor considerado normal para um ser humano a realizar uma tarefa que não envolva leitura, se situa entre os 15 e os 30 piscares de olhos por minuto.

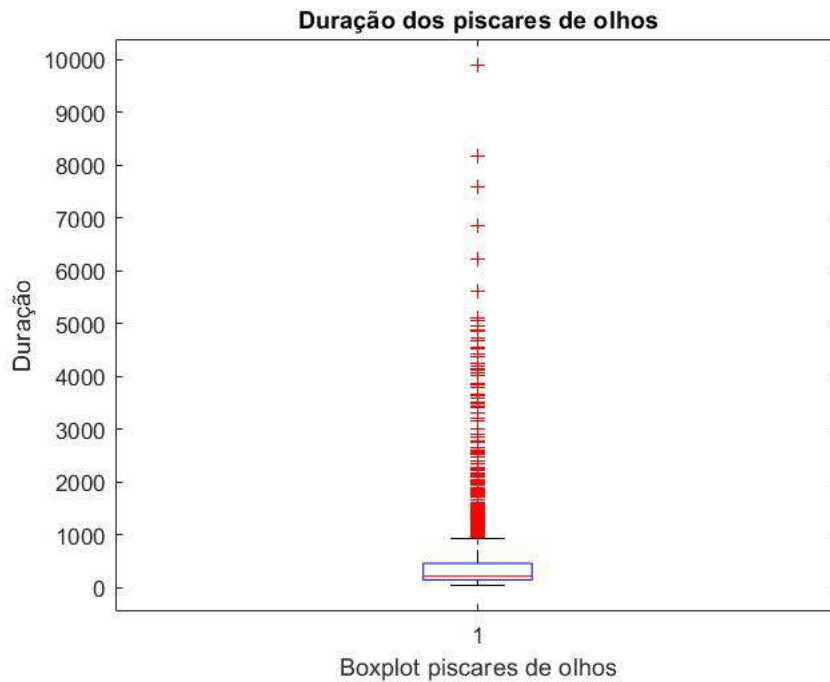


FIGURA 3.12: Gráfico *boxplot* com dados da Figura 3.12.

Como referido anteriormente ocorrem erros relativos à medição da duração dos piscares de olhos pela perda de seguimento da pupila devido aos fatores de luminosidade inerentes ao ambiente onde a observação é realizada, pelo que é facilmente perceptível a existência dos mesmos através dos símbolos vermelhos apresentados na Figura 3.12. De modo a reduzir o erro associado às condições da observação, assumiu-se que a duração de um piscar de olhos deve encontrar-se limitada inferiormente aos 50ms, para anular o efeito do ruído do equipamento e superiormente aos 400ms, para anular os erros de seguimento, tendo-se filtrado os dados através de um *script* desenvolvido em MATLAB (2020). Os resultados obtidos podem ser visualizados na Tabela 3.13, tendo sido considerados inválidos 380 piscares de olhos (aproximadamente 30%) por apresentarem durações fora do intervalo aceite, o que leva a que, na realidade, sejam considerados válidos 902 piscares de olhos durante a observação.

TABELA 3.13: Análise estatística dos dados relativos à duração dos piscares de olhos filtrados entre os 50ms e os 400ms relativos da observação #3.

	Duração [ms]
Mínimo	50,00
Q1	137,17
Mediana	177,52
Q3	234,00
Máximo	395,38
Média	193,57
Desvio-padrão	76,19
Alcance	346,08

Nesta nova amostra filtrada (Tabela 3.13) as durações dos piscares de olhos passam a ter uma duração mínima de 50ms e máxima de 395,38ms, encontrando-se 50% dos dados entre os 137,17ms e os 234ms. A média passa a ser 193,57ms com uma desvio padrão de 76,19ms. A frequência dos piscares de olhos com os novos dados passa, então, a ser de 26 piscares por minuto, valor aceitável para o ser humano durante a realização de uma tarefa que não envolve leitura (Holmqvist et al., 2011).

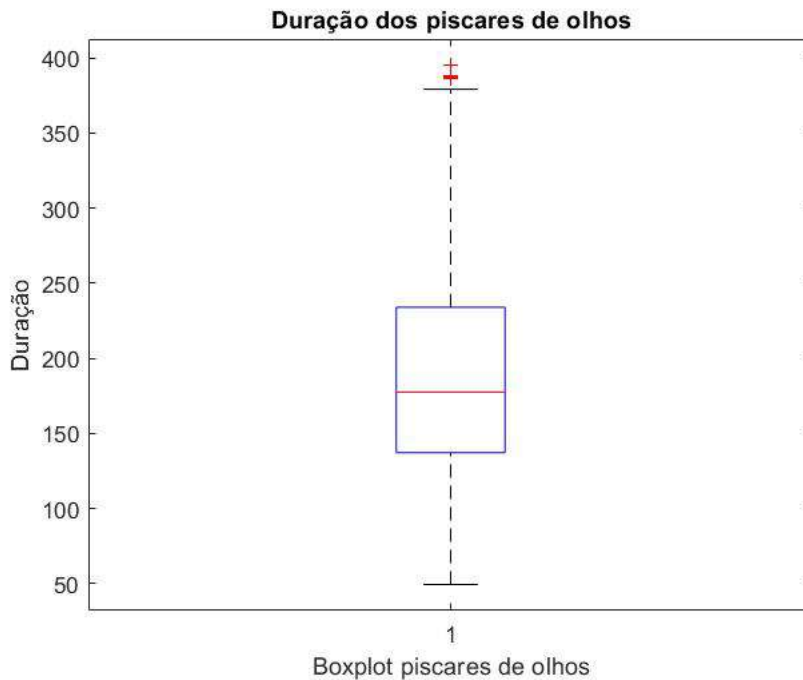


FIGURA 3.13: Gráfico *boxplot* com dados da Figura 3.12.

Compilando os dados válidos para o estudo da observação #3 num histograma (Figura 3.14) constata-se que os mesmos estão concentrados à esquerda, existindo uma maior quantidade de piscares de olhos com durações compreendidas entre 100ms e 200ms.

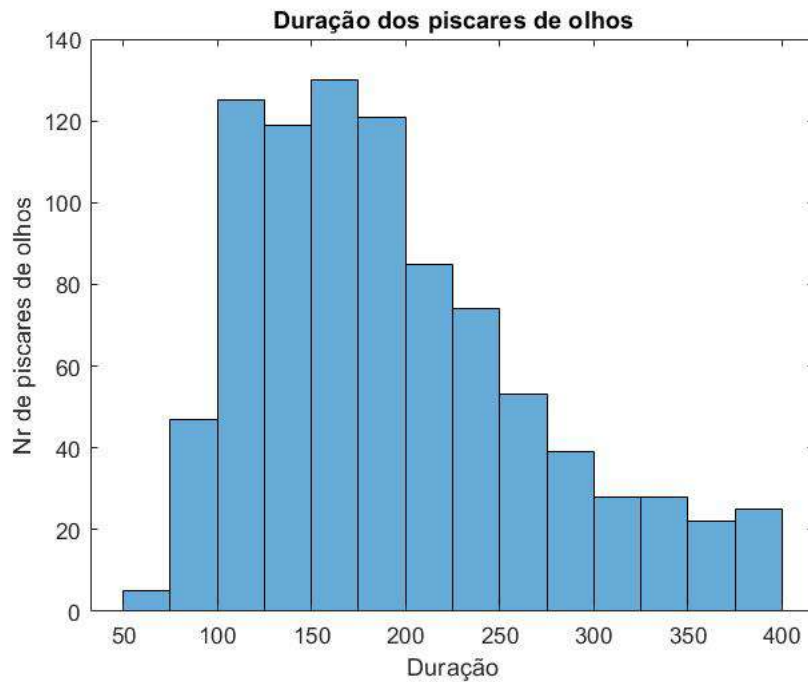


FIGURA 3.14: Histograma dos piscares de olhos após concluída a seleção dos dados entre os 50 ms e os 400 ms da observação #3.

3.6.2 Fixações

Após extraídos os dados do Pupil-Player (V1.23) com os parâmetros definidos na secção anterior, detetaram-se 2471 fixações nos 36 minutos e 24 segundos de registo.

TABELA 3.14: Análise estatística relativa à totalidade dos dados das fixações da observação #3.

	Duração [ms]
Mínimo	104,90
Q1	112,97
Mediana	153,31
Q3	217,86
Máximo	322,76
Média	160,27
Desvio-padrão	45,06
Alcance	217,86

A análise estatística geral dos dados encontra-se na Tabela 3.14 e mostra que a duração mínima para uma fixação é de 104,90ms e a máxima é de 322,76ms. A média da duração das fixações é de 160,26ms com um desvio padrão de 45,06ms. A frequência das fixações é de 68 fixações por minuto.

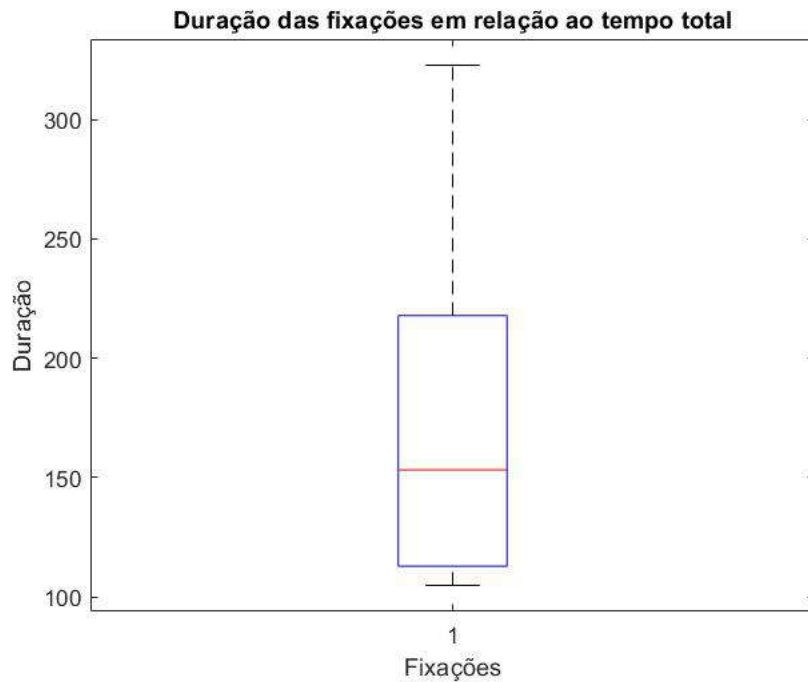


FIGURA 3.15: Gráfico *boxplot* com dados da Figura 3.14

Segundo Holmqvist et al. (2011) as fixações têm durações que variam tipicamente entre 100ms e 600ms, podendo visualizar-se no *boxplot* da Figura 3.15, que todos os valores se encontram num intervalo de durações considerado válido, o que faz com que não seja necessária a aplicação de nenhum filtro, possibilitando a utilização das 2471 fixações identificadas. Aproximadamente 75% das durações das fixações encontram-se no intervalo compreendido entre os 100ms e os 200ms, enquadrando-se os restantes valores no intervalo dos 200ms aos 300ms.

Pode visualizar-se a distribuição dos dados consoante a sua duração através do histograma Figura 3.16, observando-se que a distribuição das durações não é uniforme, levando a uma concentração nas durações mais pequenas, porém, com uma forte concentração à direita, no intervalo compreendido entre os 210ms e os 220ms.

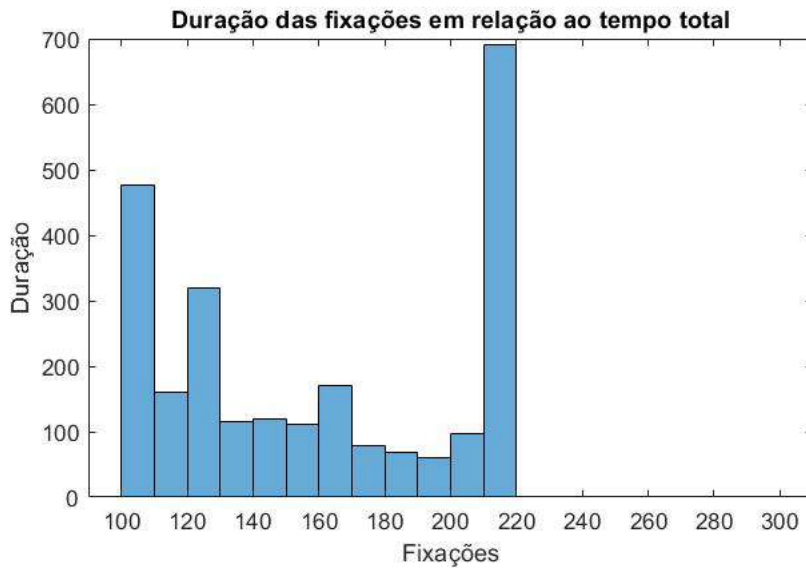


FIGURA 3.16: Histograma relativo à duração das fixações da observação #3.

3.6.3 Diâmetro das pupilas

Como explicado anteriormente, cada *frame* da observação corresponde a um momento de medição da dilatação das pupilas. Ora, dado o tempo total da observação, o *output* do Pupil-Player (V1.23) resultou numa quantidade de dados na ordem das centenas de milhar, mais especificamente, 490305 dados relativos ao diâmetro das pupilas (tanto da pupila direita como da esquerda). Segundo Alexandridis (1985) o valor do diâmetro das pupilas considerado válido para o ser humano encontra-se entre 1,5mm e os 8mm.

TABELA 3.15: Análise estatística relativa à totalidade das medições do diâmetro das pupilas da observação #3.

	Diâmetro [mm]
Mínimo	0
Q1	3,14
Mediana	3,54
Q3	3,94
Máximo	6,67
Média	3,42
Desvio Padrão	0,98
Alcance	6,67

Contudo, como pode verificar-se na Tabela 3.15, o mínimo corresponde a 0mm e o máximo corresponde a 6,67mm. Uma grande concentração das amostras (aproximadamente 75%) apresenta diâmetros entre os 0mm e os 3,94mm; sendo o valor mínimo aceite para o ser humano de 1,5mm. A média da totalidade dos dados foi 4,42mm, com um desvio padrão de 0,98mm.

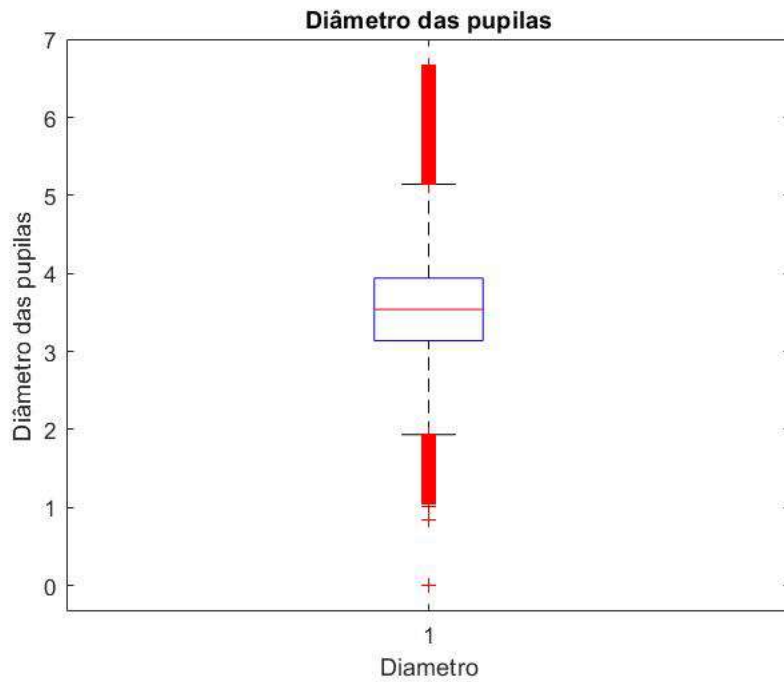


FIGURA 3.17: Gráfico *boxplot* com dados da Figura3.15

Resultando os erros associados à perda de seguimento a fenômenos de reflexão dos raios de luz natural nos olhos, aplicou-se um *script* para retirar todos os valores inferiores a 1,5mm, separando posteriormente os valores correspondentes ao olho direito e ao olho esquerdo (cada medição identificada com um número, correspondendo o 0 ao olho direito e o 1 ao olho esquerdo).

Os resultados obtidos foram, então, os apresentados na tabela 3.16, resultando num total de 465408 dados, tendo sido retiradas 24898 entradas consideradas inválidas (aproximadamente 5%), dos quais 226259 correspondem ao olho direito e 239150 ao olho esquerdo (a diferença deve-se a uma perda no seguimento do olho direito nos momentos iniciais da observação, levando à perda de alguns dados).

Para facilitar a análise dos dados, utilizaram-se os dados do diâmetro relativos ao olho esquerdo, visto ter registado mais 12891 medições relativamente ao olho direito.

TABELA 3.16: Análise estatística relativa às medições do diâmetro da pupila esquerda da observação #3.

	Duração [mm]
Mínimo	1,50
Q1	3,31
Mediana	3,70
Q3	4,12
Máximo	6,67
Média	3,73
Desvio-padrão	0,64
Alcance	5,17

De acordo com a Tabela 3.16 as medições da pupila esquerda passam a ter um valor mínimo de 1,5mm e máximo de 6,67mm. Todos estes valores estão dentro do intervalo de variação aceite para o ser humano, porém, 75% dos valores encontram-se entre os 1,5mm e os 4,12mm. A média do diâmetro da pupila passa a ser 3,73mm com um desvio-padrão de 0,64mm.

Capítulo 4

ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Correlação entre o nível de atenção do operador e a complexidade/tipo de tarefa

A hipótese inicial que começou por se testar consistiu na análise da variação dos parâmetros medidos pelos *eye-trackers* (duração e frequência dos piscares de olhos, duração e frequência das fixações e dilatação das pupilas), entre duas situações distintas, no decorrer das observações relativas à saída e entrada do porto de Lisboa. A primeira situação compreende os momentos imediatamente a seguir ao relato das 1000jj até ao final do controlo da guinada, altura em que se espera que a atenção e concentração de todos os operadores de sistemas da ponte seja muito maior em relação à segunda situação, que compreende os momentos em que o navio se encontra estável em rumo e velocidade, a cumprir com o planeamento. Durante estes momentos, espera-se que o esforço cognitivo e a carga de trabalho mental tanto dos operadores como do navegador sejam inferiores em relação à situação da guinada.



FIGURA 4.1: Planeamento praticado pelo navio durante a observação relativa à saída do porto de Lisboa e respetivas situações em estudo.

Como se pode visualizar na Figura 4.1, realizaram-se três guinadas (a primeira mais acentuada com 15° de leme a bombordo (BB) e as duas restantes com 10° leme BB) e praticaram-se três pernadas estáveis em rumo e velocidade.

O relato das 1000jj durante a navegação em águas restritas, inicia-se a essa distância do momento de guinada, com um relato do navegador, cessando toda a sequência de relatos em vigor anteriormente (apresentado na Figura 1.3), transmitindo informações a todos os elementos da ponte relativas à pernada seguinte, aos seus perigos, às marcas a ter em atenção, entre outras. É um momento de especial atenção para todos os operadores de equipamentos que se encontram na ponte, devendo monitorizar o respetivo equipamento para informar o navegador acerca de informações relativas à sua função (por exemplo contactos, afastamento lateral, distância aos resguardos ou outro tipo de situações relevantes, no caso do operador do ECDIS). É um período relativamente curto até à guinada, onde a carga de trabalho se torna bastante mais intensa em relação à restante navegação devido à pressão do tempo em relação ao número de tarefas a exercer e parâmetros a monitorizar.

Durante o controlo da guinada, os operadores do ECDIS e do RADAR têm um papel especialmente importante no auxílio do navegador, devendo ajudá-lo a manter o navio sobre o planeamento, sugerindo rumos, velocidades e controlando o panorama de anti-colisão para que não ocorra nenhum acidente e para que o navio não se afaste do rumo.

Quando a guinada termina, o navio deve encontrar-se estável em rumo e velocidade, navegando em cima do planeamento, sendo a preocupação do operador do ECDIS e do RADAR verificar o panorama de anti-colisão e auxiliar o navegador a manter o navio sobre o planeamento, sendo a carga de trabalho mental menos intensa nesta altura (exceto situações pontuais que aconteçam, como por exemplo, um navio em rumo de colisão, exigindo especial atenção para a situação momentânea).

4.1.1 Processos disruptivos na atividade de equipa

Para que as duas situações descritas avaliem com maior precisão o comportamento do operador do ECDIS, pretende-se que este esteja focado apenas na tarefa de controlo da posição do navio em relação ao planeamento e não em mais tarefas que possam surgir com o decorrer da navegação (por exemplo, contactos VHF com outros navios).

Assim, analisou-se o vídeo onde constam todas as atividades a decorrer na ponte durante a execução das pernadas estáveis em rumo e velocidade e das guinadas, de modo a verificar a existência de tarefas paralelas para além do controlo do navio.

Constatou-se que durante a segunda pernada, altura em que a carga de trabalho mental devia ser menos elevada, existiu bastante atividade na ponte por ter sido relatado um contacto em rumo de colisão. Tanto o operador do ECDIS como o operador do RADAR tentaram esclarecer o navegador acerca do contacto. Neste caso, o operador do ECDIS trocou bastantes impressões com o operador do RADAR, olhando diversas vezes para o RADAR e a atividade intensificou-se. Por

outro lado, durante a guinada imediatamente a seguir à pernada (terceira guinada, sendo esta considerada simples devido à reduzida alteração da proa, devido à inexistência de baixos fundos e à distância segura à margem, encontrando-se o panorama de anti-colisão bem esclarecido), verificou-se alguma descontração por parte do operador, retirando o olhar do ECDIS por inúmeras vezes, o que indicou que não estava completamente dedicado à tarefa de controlo da posição.

4.1.2 Frequência piscares de olhos

A relação entre a carga de trabalho mental e a sua influência na frequência de piscares de olhos foi analisada, esperando-se que para uma maior carga de trabalho se verifique uma maior frequência de piscares de olhos. Ao analisar os dados referentes aos piscares de olhos (902 piscares de olhos relativos ao total de 36 minutos e 24 segundos da observação) verificou-se que 368 piscares de olhos correspondem às 3 guinadas, sendo a sua soma total de 13 minutos e 35 segundos. Os restantes 534 piscares de olhos correspondem às 3 pernadas estáveis em rumo e velocidade, relativos aos outros 22 minutos e 49 segundos da observação (Figura 4.2).

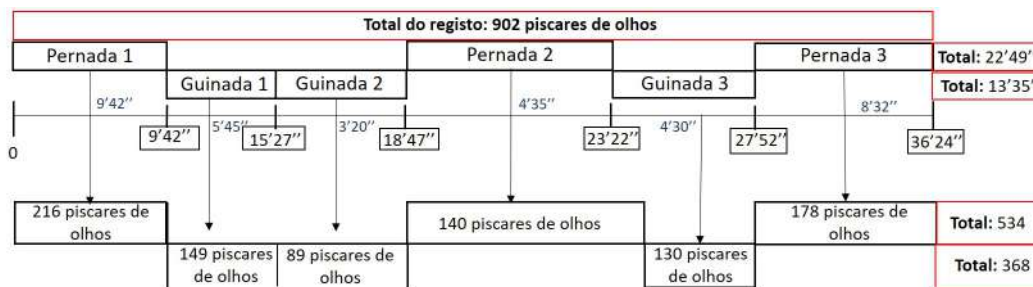


FIGURA 4.2: Modelo explicativo da linha temporal com os eventos e respetivos piscares de olhos.

Suspeitando que as interações acima descritas fossem alterar a hipótese em estudo, realizaram-se testes estatísticos para comparação de média de dois grupos independentes (teste *t* de *Student*) entre as três situações de guinada e as três situações de pernadas estáveis em rumo e velocidade, apresentando-se os resultados na Tabela 4.1.

TABLE 4.1: Teste t para comparação de médias das frequências de piscares de olhos de grupos diferentes referentes à observação #3.

-	Guinada 1	Guinada 2	Guinada 3	Pernada 1	Pernada 2	Pernada 3
Guinada 1	-	F=0,5050 P=0,495	F=0,8198 P=0,18	-	-	-
Guinada 2	-	-	F=0,8190 P=0,18	-	-	-
Guinada 3	-	-	-	-	-	-
Pernada 1	-	-	-	-	F=0,9177 P=0,0823	F=0,7291 P=0,27
Pernada 2	-	-	-	-	-	F=0,9926 P=0,0074
Pernada 3	-	-	-	-	-	-

Através da análise da Tabela 4.1, como resultado do teste comparativo dos valores médios da frequência de piscares de olhos das três guinadas obtém-se $p > 0,1$; o que significa que não existe evidência experimental de que as três guinadas tenham comportamentos diferentes em média, apesar de se verificar (em função do teste t de *Student*) uma ligeira diferença na guinada 3 em relação à guinada 1 e 2, porém, considera-se que as amostras se encontram nas mesmas condições de observação. Ao comparar os valores médios entre as três pernadas, verifica-se que entre a primeira pernada e a terceira $p > 0,1$; encontrando-se estas em condições de observação semelhantes. Contudo, comparando a primeira e a terceira pernada com a segunda, obtém-se um $p < 0,1$; mostrando-se diferente das outras duas pernadas, possivelmente pelo motivo acima descrito (maior carga de trabalho mental derivada da tentativa de identificação do navio por parte do operador do ECDIS e do RADAR). Assim, a segunda pernada não será tida em conta no teste estatístico em que se compara frequências médias dos piscares de olhos entre as guinadas e as pernadas visto ser o foco da hipótese o comportamento do ECDIS na realização de apenas uma tarefa (controlo da posição do navio).

Através dos dados acima fornecidos, verifica-se que a frequência de piscar de olhos, em média para a situação em que o navio se encontra dentro do relato das 1000jj e a efetuar o controlo da guinada é de 27 piscares de olhos por minuto, valor acima da média do total da observação, enquanto na segunda situação, a frequência é de 22 piscares de olhos por minuto (abaixo da média total da observação).

Assim, a hipótese estatística que compara a frequência de piscares de olhos entre as guinadas e as pernadas é:

$$H_0: \mu \text{ frequência guinadas} = \mu \text{ frequência pernadas}$$

H1: μ frequência guinadas \neq μ frequência pernadas

TABELA 4.2: Resultados da análise estatística ANOVA para comparação da média da frequência de piscares de olhos relativa à observação #3.

Source	SS	df	MS	F	Prob>F
Groups	293,89	1	293,889	6,66	0,0154
Error	1234,78	28	44,099		
Total	1528,67	29			

Os resultados da análise estatística ANOVA são apresentados na Tabela 4.2, podendo verificar-se um $p < 0,05$; o que rejeita a H_0 testada. Este resultado significa que a média da frequência de piscares de olhos entre os relatos das 1000jj e o controlo das guinadas apresenta uma diferença estatisticamente significativa em relação à média da frequência de piscares de olhos das pernadas estáveis em rumo e velocidade.

O gráfico com o *boxplot* de comparação entre os dois grupos pode ser consultado no Apêndice 1 - Figura A.1.

A análise estatística apresentada indica a existência de uma diferença significativa na carga de trabalho mental entre o controlo das guinadas e as pernadas estáveis em rumo e velocidade.

4.1.3 Duração dos piscares de olhos

A hipótese que se pretende testar será a relação entre a duração dos piscares de olhos e a atenção do operador do ECDIS nas duas situações acima apresentadas. Espera-se que à medida que a atenção diminua durante a realização da tarefa, ocorra um aumento na duração dos piscares de olhos, podendo refletir-se na diminuição do desempenho ou em momentos de descontração por parte de quem a realiza.

Analisando a duração dos 902 piscares de olhos que ocorreram durante o período de 36 minutos e 24 segundos da observação, verificou-se que a média da duração dos piscares de olhos correspondentes às guinadas (13 minutos e 35 segundos) é de 189.01ms, sendo a média da duração dos restantes 22 minutos e 49 segundos da observação, correspondentes às pernadas estáveis em rumo e velocidade de 196.76ms. Na Figura 4.3 pode visualizar-se um diagrama que descreve a situação anterior.

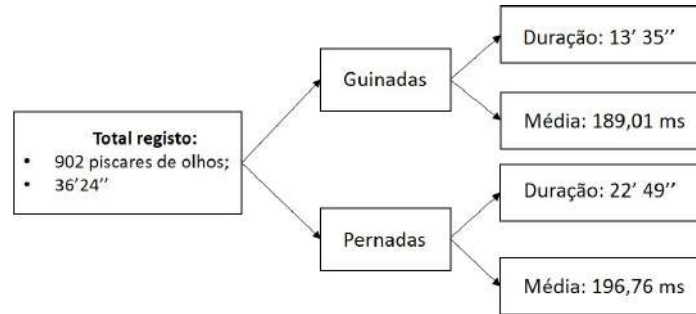


FIGURA 4.3: Diagrama explicativo do evento e respetiva duração temporal e média da duração dos piscares de olhos.

A hipótese estatística que se pretende testar para comparar a duração dos piscares de olhos entre as guinadas e as pernadas é:

H₀: μ duração guinadas = μ duração pernadas

H₁: μ duração guinadas \neq μ duração pernadas

TABELA 4.3: Resultados da análise estatística ANOVA para comparação da média da duração de piscares de olhos relativas à observação #3.

Source	SS	df	MS	F	Prob>F
Groups	33471,3	1	33471,3	5,87	0,0157
Error	4399904,4	901	5706,8		
Total	4433375,7	902			

Como pode verificar-se através da Tabela 4.3, ao comparar a duração média dos piscares de olhos das guinadas em relação à duração média de piscares de olhos das pernadas, verifica-se um $p < 0,05$; o que rejeita a H₀ testada, significando que a diferença entre a média da frequência de piscares de olhos dos relatos das 1000jj e o controlo das guinadas é estatisticamente significativa em relação à duração de piscares de olhos das pernadas estáveis em rumo e velocidade. No Apêndice 1 - Figura A.2 pode consultar-se o *boxplot* comparativo dos dois grupos.

Conforme esperado, a análise estatística apresentada sugere que o operador se encontra mais atento durante o controlo da guinada em relação às pernadas estáveis em rumo e velocidade.

4.1.4 Diâmetro das pupilas

O diâmetro das pupilas é também um bom indicador da carga de trabalho mental e da dificuldade da tarefa, sendo possível relacioná-lo com a duração e frequência dos piscares de olhos. Na avaliação da carga de trabalho mental a que um operador é submetido durante a realização duma tarefa, espera-se que quanto maior a carga de trabalho mental, maior a dilatação das pupilas.

Analisaram-se 239479 diâmetros correspondentes à pupila esquerda, relativos à totalidade da observação, dos quais 88814 medições sobre o diâmetro correspondem aos 13 minutos e 35 segundos, momentos entre os relatos das 1000jj e o controlo das guinadas e 150665 diâmetros correspondem aos restantes 22 minutos e 49 segundos, relativos às pernadas estáveis em rumo e velocidade.

A média do diâmetro da pupila para o momento desde o relato das 1000jj até ao final do controlo das guinadas é de 3,93mm, enquanto a média do diâmetro da pupila das pernadas estáveis em rumo e velocidade é de 3,62mm, o que indica que a hipótese de que a carga de trabalho mental aumenta o diâmetro das pupilas pode estar correta.

Para que seja possível validar a suposição acima descrita a hipótese estatística para comparar a média do diâmetro entre os dois intervalos é:

H₀: μ diâmetro guinadas = μ diâmetro pernadas

H₁: μ diâmetro guinadas \neq μ diâmetro pernadas

TABELA 4.4: Resultados da análise estatística ANOVA para comparação da média do diâmetro da pupila relativa à observação #3.

Source	SS	df	MS	F	Prob>F
Groups	5341,3	1	5341,29	14002,07	0
Error	91352,2	239478	0,38		
Total	96693,5	239479			

Como pode verificar-se através da Tabela 4.4, ao comparar o diâmetro médio da pupila durante as guinadas em relação ao diâmetro médio das pernadas, verifica-se um $p < 0,05$; (perto de 0 devido ao elevado número de amostras que se comparou), o que rejeita a H₀ testada, significando que a diferença entre a média do diâmetro da pupila esquerda nos momentos desde os relatos das 1000jj e o controlo das guinadas é estatisticamente significativa em relação ao diâmetro das pupilas nas pernadas estáveis em rumo e velocidade.

A análise estatística apresentada indica a possibilidade do operador ser submetido a uma maior carga de trabalho mental durante o controlo da guinada em relação às pernadas estáveis em rumo e velocidade.

4.1.5 Fixações

O número e a duração das fixações é um bom indicador da atenção do operador e da dificuldade da tarefa. A hipótese que se pretende testar será a relação entre o número e a duração das fixações com a atenção do operador nas duas situações apresentadas. Espera-se que para a tarefa mais complicada (navegação dentro do relato das 1000jj e controlo da guinada) a duração das fixações seja superior em relação à tarefa mais simples (controlo da posição nas pernadas estáveis em rumo e velocidade).

Ao analisar os dados referentes às fixações (2471 fixações referentes ao total de 36 minutos e 24 segundos da observação), verificou-se que 723 fixações correspondem às 3 guinadas, sendo a sua soma total de 13 minutos e 35 segundos. As restantes 1748 fixações correspondem aos outros 22 minutos e 49 segundos da observação. O diagrama da Figura 4.4 faz um resumo da distribuição das fixações entre as guinadas e as pernadas.



FIGURA 4.4: Modelo explicativo da linha temporal com os eventos e respectivas fixações.

Através dos dados acima descritos, verifica-se que a frequência de fixações ao longo das pernadas estáveis em rumo e velocidade é de, aproximadamente, 77 fixações por minuto. Por outro lado, a frequência de fixações dentro do relato das 1000jj e enquanto efetua o controlo da guinada é de, aproximadamente, 53 fixações por minuto.

Analisando a duração das 2471 fixações que ocorreram durante o período total da observação analisada (36 minutos e 24 segundos), verificou-se que a média ponderada da duração das fixações correspondentes às pernadas estáveis em rumo e velocidade (correspondentes a 22 minutos e 49 segundos) é de aproximadamente 155ms. A média ponderada da duração das fixações dentro do relato das 1000jj e durante o controlo da guinada é de aproximadamente 162ms.

A hipótese estatística que se pretende testar para comparar a duração das fixações entre as guinadas e as pernadas é:

$$H_0: \mu \text{ duração fixações guinadas} = \mu \text{ duração fixações pernadas}$$

$$H_1: \mu \text{ duração fixações guinadas} \neq \mu \text{ duração fixações pernadas}$$

TABELA 4.5: Resultados da análise estatística ANOVA para comparação da média da duração das fixações relativas à observação #3.

Source	SS	df	MS	F	Prob>F
Groups	27549,6	1	27549,6	13,63	0.0002
Error	4986730,8	2467	2021,4		
Total	5014280,4	2468			

Como pode verificar-se através da Tabela 4.5, ao comparar a duração média das fixações das guinadas em relação à duração média das fixações das pernadas,

verifica-se um $p < 0,05$; o que rejeita a H_0 testada, significando que a diferença entre a média da duração entre as duas situações é estatisticamente significativa. No Apêndice 1 - Figura A.3 pode consultar-se o *boxplot* comparativo dos dois grupos.

O valor do número de fixações é mais baixo durante as guinadas em relação às pernadas. Porém, a duração das fixações verifica-se superior durante as guinadas em relação às pernadas. Este facto pode apontar para que o operador do ECDIS esteja com uma maior atenção durante as guinadas, sabendo o local para onde deve focar o seu olhar, monitorizando a informação de que necessita. Por outro lado, quando o navio está estável em rumo e velocidade, o operador pode procurar informação ao seu redor, procurar perigos no exterior do navio ou procurar informação no *display*, sem ter um foco tão bem definido.

Os obtidos podem, também, indicar que durante o controlo das guinadas o operador se encontra a olhar com mais atenção para o ECDIS, perdendo algum conhecimento situacional ao exterior. No final da guinada, o aumento do número de fixações apesar da duração mais curta pode indicar que o operador olha ao seu redor, tanto para o ECDIS como para o sistema de modo a voltar a recuperar o CS do meio envolvente.

4.2 Correlação entre o nível de atenção do operador e a duração da tarefa

Na segunda hipótese a testar espera-se que, numa parte inicial da observação, o operador se encontre menos cansado e, conseqüentemente, mais alerta do que nos momentos finais, altura em que deverá começar a sentir cansaço acumulado, podendo resultar na diminuição do seu desempenho. Assim, analisou-se a variação dos parâmetros medidos pelos *eye-trackers* ao longo do tempo de realização da tarefa, comparando-os entre momentos diferentes da observação. Tal como referido na hipótese anterior, sendo a observação realizada em ambiente natural e não em simulador, é impossível controlar as atividades exteriores ao navio, como o tráfego marítimo. Esses fatores podem causar alterações ao nível da atenção e da carga de trabalho mental ao longo do tempo, o que provocará fadiga adicional ao operador. Sendo a navegação em águas restritas, uma atividade que exige uma atenção prolongada no tempo, é esperado que o operador do ECDIS comece a sentir fadiga ao longo do tempo, refletindo-se nos seus parâmetros oculares.

Para testar a hipótese, foram criados dois intervalos de 15 minutos (o primeiro correspondente aos 15 minutos iniciais da observação e o segundo correspondente aos 15 minutos finais) e foram analisadas as variáveis medidas pelos *eye-trackers* por forma a retirar conclusões acerca do cansaço do operador durante uma tarefa de atenção prolongada através da comparação dos dois intervalos. Cada um dos intervalos escolhidos engloba uma pernada estável em rumo e velocidade e uma guinada: no caso do primeiro intervalo, a primeira pernada e a primeira guinada; no caso do segundo intervalo, a terceira guinada e a terceira pernada; de modo a tornar os intervalos de comparação o mais semelhantes possíveis em termos de atenção e carga de trabalho.

4.2.1 Frequência dos piscares de olhos

Começou por se analisar a relação entre o cansaço do operador ao longo do decorrer da tarefa e a frequência de piscares de olhos (é esperado que a fadiga do operador aumente ao longo da tarefa, verificando-se uma maior frequência de piscares de olhos à medida que o tempo a realizar a tarefa aumenta).

Dos 902 piscares de olhos correspondentes aos 36 minutos e 24 segundos da observação, 352 correspondem ao primeiro intervalo de 15 minutos e 365 correspondem ao segundo intervalo.

Verifica-se, então, uma frequência de aproximadamente 24 piscares de olhos por minuto para o primeiro intervalo e uma frequência de aproximadamente 25 piscares de olhos por minuto para o segundo intervalo, o que pode indicar que sendo a frequência de piscares de olhos maior no segundo intervalo se verifique o aumento do cansaço do operador ao longo da realização da tarefa.

A hipótese estatística que se pretende testar para comparar a duração dos piscares de olhos entre os dois intervalos é:

$$H_0: \mu \text{ frequência intervalo1} = \mu \text{ frequência intervalo2}$$

$$H_1: \mu \text{ frequência intervalo1} \neq \mu \text{ frequência intervalo2}$$

TABELA 4.6: Resultados da análise ANOVA para comparação da média da frequência de piscares de olhos relativa à observação #3.

Source	SS	df	MS	F	Prob>F
Groups	1578,6	1	1578,63	0,77	0,3932
Error	34970,3	17	2057,07		
Total	36548,9	18			

Como se pode verificar através da análise estatística na Tabela 4.6, obtém-se um $p > 0,05$; o que faz com que não seja possível rejeitar a H_0 (μ frequência intervalo1 = μ frequência intervalo2), pelo que não se pode concluir que a diferença dos piscares de olhos dos dois intervalos afete com certeza o cansaço do operador ao longo da realização da tarefa.

O gráfico com os *boxplots* respetivos à análise ANOVA encontram-se no Apêndice 1 - Figura A.4.

4.2.2 Duração dos piscares de olhos

É esperado que a duração dos piscares de olhos seja superior à medida que o cansaço do operador aumenta, ou seja, quanto maior o tempo de realização de tarefa, maior a duração dos piscares de olhos.

Analisaram-se as durações dos 352 piscares de olhos relativos aos 15 minutos iniciais da observação e os 365 piscares de olhos relativos aos últimos 15 minutos da observação, sendo a média das durações para o primeiro intervalo de 191,07ms e a

média para o segundo intervalo de 195,82ms, o que indica a possibilidade da fadiga do operador ter aumentado ao longo da realização da tarefa, visto no segundo intervalo as durações dos piscares de olhos terem sido superiores em média.

Para confirmar a hipótese estatisticamente, testou-se a duração dos piscares de olhos entre os dois intervalos:

$$H_0: \mu \text{ duração intervalo1} = \mu \text{ duração intervalo2}$$

$$H_1: \mu \text{ duração intervalo1} \neq \mu \text{ duração intervalo2}$$

TABELA 4.7: Resultados da análise ANOVA para comparação da média da duração de piscares de olhos relativa à observação #3.

Source	SS	df	MS	F	Prob>F
Groups	4033,9	1	4033,9	0,68	0,4095
Error	4235178,82	715	5923,33		
Total	4239212,72	716			

Através da análise estatística apresentada na Tabela 4.7, obtém-se um $p > 0,05$; o que faz com que a H_0 não possa ser rejeitada ($\mu \text{ duração intervalo1} = \mu \text{ duração intervalo2}$), não sendo possível concluir que a diferença da duração dos piscares de olhos entre os dois intervalos afete com certeza o cansaço do operador ao longo da realização da tarefa.

O gráfico com os *boxplots* respetivos à análise ANOVA encontram-se no Apêndice 1 - Figura A.5.

4.2.3 Diâmetro das pupilas

O diâmetro das pupilas pode ser um indicador da fadiga do operador ao longo da realização da tarefa. Espera-se que a dilatação das pupilas seja menor quanto maior a fadiga a que o operador é sujeito, ou seja, ao longo a observação deve verificar-se uma redução no diâmetro das pupilas o que se reflete em cansaço e consequente perda de atenção ao longo da navegação.

Comparou-se o diâmetro das pupilas entre os primeiros e os últimos 15 minutos da observação para ver como seria a sua variação. De um total de 239150 diâmetros analisados, correspondem aos primeiros 15 minutos da observação 99198 observações de diâmetros e aos últimos 15 minutos 97692 observações dos diâmetros. No primeiro intervalo da observação a média dos diâmetros foi de 3.5mm e no segundo intervalo a média foi de 3.78mm, o que pode indicar que a fadiga do observador não aumentou ao longo do tempo da tarefa, existindo a possibilidade da sua atenção ter aumentado nos últimos 15 minutos.

Para confirmar estatisticamente a hipótese, testou-se a média do diâmetro das pupilas entre os dois intervalos:

$$H_0: \mu \text{ diâmetro intervalo1} = \mu \text{ diâmetro intervalo2}$$

H1: μ diâmetro intervalo1 \neq μ diâmetro intervalo2

TABELA 4.8: Resultados da análise ANOVA para comparação da média do diâmetro da pupila relativa à observação #3.

Source	SS	df	MS	F	Prob>F
Groups	3986,5	1	3986,52	11191,62	0
Error	70133,4	196890	0,36		
Total	74119,9	196891			

Como pode verificar-se através da Tabela 4.8, ao comparar a média do diâmetro média da pupila direita entre o início e o final da observação, verifica-se um $p < 0,05$; o que faz com que H_0 possa ser rejeitada, significando que a diferença entre a média do diâmetro da pupila direita entre o início e o final da observação é estatisticamente significativa, rejeitando a H_0 . Contudo, apesar da diferença das médias ser estatisticamente significativa, a média do segundo intervalo é superior à do primeiro, o que sugere que o cansaço do operador ao longo da realização da tarefa não afetou o seu desempenho.

4.2.4 Fixações

Ao analisar o número de fixações e a sua duração entre os primeiros 15 minutos e os últimos 15 minutos da observação pretende-se perceber se a variação pode ter consequências na atenção do operador, existindo a possibilidade de se manifestar sob a forma de cansaço.

De um total de 2471 fixações verificadas durante a observação, 1175 correspondem aos primeiros 15 minutos da observação e 995 correspondem aos últimos 15 minutos. Isso significa que no primeiro intervalo o operador efetuou aproximadamente 79 fixações por minuto e no segundo intervalo aproximadamente 67 fixações por minuto.

Analisando a duração das 1175 fixações correspondentes ao primeiro intervalo, verifica-se uma média de aproximadamente 169ms enquanto para as 995 fixações do segundo intervalo verifica-se uma média de durações de aproximadamente 157ms.

A hipótese estatística que se pretende testar para comparar a duração das fixações entre o primeiro intervalo de 15 minutos e o segundo intervalo de 15 minutos é:

H_0 : μ duração fixações intervalo1 = μ duração fixações intervalo2

H_1 : μ duração fixações intervalo1 \neq μ duração fixações intervalo2

TABELA 4.9: Resultados da análise ANOVA para comparação da média da duração das fixações relativas à observação #3.

Source	SS	df	MS	F	Prob>F
Groups	41817,6	1	41817,6	20,67	0,000057
Error	4386954,9	2168	2023.5		
Total	4428772,6	2169			

Como pode verificar-se através da Tabela 4.9, ao comparar a duração média das fixações dos primeiros 15 minutos em relação à duração média das fixações do segundo intervalo de 15 minutos, verifica-se um $p < 0,05$; o que rejeita a H_0 testada, significando que a diferença entre a média da duração entre as duas situações é estatisticamente significativa. No Apêndice 1 - Figura A.6 pode consultar-se o *boxplot* comparativo dos dois grupos.

O número de fixações e a duração das mesmas ser maior durante o primeiro intervalo de 15 minutos pode indicar um maior esforço por parte do operador do ECDIS para manter o CS na zona de saída do canal. No segundo intervalo de 15 minutos, correspondente à navegação numa zona com maior largura de águas navegáveis e menos tráfego marítimo, o operador pode necessitar de olhar menos vezes para o equipamento e para o exterior para manter o seu CS.

Outra hipótese que se pode levantar será que no período correspondente à adaptação à navegação, nos primeiros 15 minutos, o operador pode necessitar de mais tempo para se habituar à *interface* do equipamento, levando mais tempo a procurar as informações de que necessita. Nos últimos 15 minutos, já se espera que o operador esteja mais habituado à *interface* do equipamento, tendo conhecimento de onde se encontra a informação de que necessita. Esta hipótese pode indicar que o operador se habitua à *interface* do equipamento ao longo da observação.

4.3 Fatores determinantes da interação do operador do ECDIS com a equipa de navegação

Após analisadas as interações ocorridas em todas as observações, verifica-se uma diferença significativa no número de relatos completos efetuados durante as observações dos navios do tipo A em relação aos navios do tipo B. Nos casos em que se verificou uma maior frequência de relatos, verificaram-se menos interações individuais entre o navegador, o operador do ECDIS e do RADAR. Este facto aponta para uma forte necessidade de comunicação entre o navegador e os operadores destes sistemas, pressupondo a existência de *common ground*. Segundo Clark e Brennan (1991), a utilização de uma linguagem abreviada e conhecida por todos os elementos torna a troca de informação mais eficiente e expedita, sendo necessário, contudo, a existência de inter-previsibilidade e interdependência.

A organização da equipa de navegação encontra-se explicada na Figura 4.5. O navegador depende de dois grupos no apoio à decisão. O primeiro, apresentado

do lado direito do esquema da Figura 4.5 (constituído pelo marinheiro do leme e dos telégrafos) apoia o navegador no controlo do navio através da ação do leme e dos telégrafos. O segundo grupo, apresentado do lado esquerdo do esquema da Figura 4.5, apoia o navegador na recolha e processamento de informação, auxiliando na tomada de decisões sobre o leme e os telégrafos. Dos elementos responsáveis pelo processamento da informação, existem dois (operador do ECDIS e do RADAR) suportados por sistemas de apoio à decisão muito avançados. O navegador depende, assim, do operador do ECDIS e do operador do RADAR para receber informação. Esta informação pode ser trocada formalmente, através da sequência de relatos situacionais previamente estabelecida (Figura 1.3), ou pode ser improvisada, sendo necessário por parte dos operadores identificar as necessidades do navegador. Neste caso, é fundamental facultar a informação necessária atempadamente, apesar de não existir uma sequência estabelecida. Segundo Salas, Sims e Burke (2005), um dos mecanismos de coordenação do trabalho em equipa é a liderança, sendo fundamental, neste caso, que o líder direcione e coordene a forma de atuação dos outros elementos. Verificou-se que em todas as observações o navegador utiliza um mecanismo de coordenação previamente estabelecido (por exemplo o relato das 1000jj) para cessar os relatos de todos os elementos e efetuar o relato da pernada seguinte. No relato das 1000jj, o navegador informa todos os elementos sobre a proa seguinte, as novas marcas a utilizar, o comprimento da pernada, a sonda mínima esperada e descreve a guinada a efetuar, clarificando o panorama dos eventos futuros a todos os elementos da equipa.

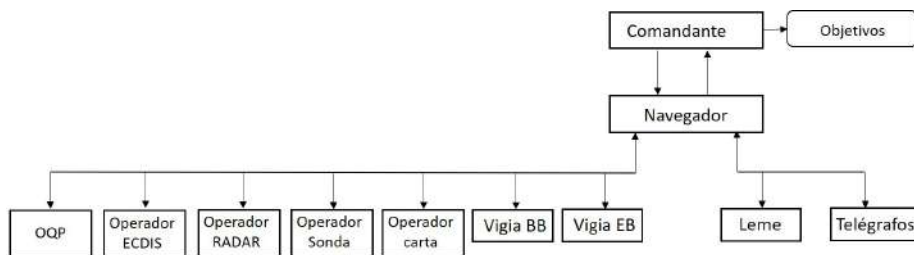


FIGURA 4.5: Organograma da equipa de navegação durante a navegação em águas restritas.

A troca informal de informações pressupõe, porém, um maior nível de intervisibilidade entre os participantes. Segundo Klein e Bradshaw (2004), cada operador deve estar apto a compreender o comportamento do navegador nas várias circunstâncias, relatando a informação necessária no momento certo. O não cumprimento da sequência de relatos situacionais estabelecida pela Marinha pode, contudo, levar à perda de informação crucial, nomeadamente através da ausência da carta, que deve funcionar como redundância do ECDIS e no caso de uma abordagem menos formal, o operador da carta pode ver o seu papel inibido pela velocidade a que o ECDIS consegue facultar as informações e o seu operador transmiti-las, resultando numa conseqüente desmotivação da equipa.

Os resultados do questionário NASA-TLX, identificam a navegação em águas restritas como uma tarefa com uma exigência mental e cognitiva superior

à física, onde a coordenação, a comunicação e o suporte da equipa são de extrema relevância para que ocorra com eficiência. Através da análise das observações #2, #3, #4 e #5 verificaram-se várias interações entre o operador do ECDIS e alguns elementos da equipa de navegação. Essas interações podem ser explicadas através do esquema da Figura 4.6, encontrando-se representadas a tracejado. O operador do ECDIS relata normalmente informação ao navegador, seja esta por iniciativa própria ou por necessidade. Recebe do navegador maioritariamente instruções e informações situacionais. Observam-se interações entre o operador do ECDIS, os vigias e o operador da carta, ocorrendo estas normalmente no sentido do operador do ECDIS para os restantes elementos. As interações com o operador do RADAR ocorrem nos dois sentidos, normalmente derivadas à necessidade de confirmação de contactos.

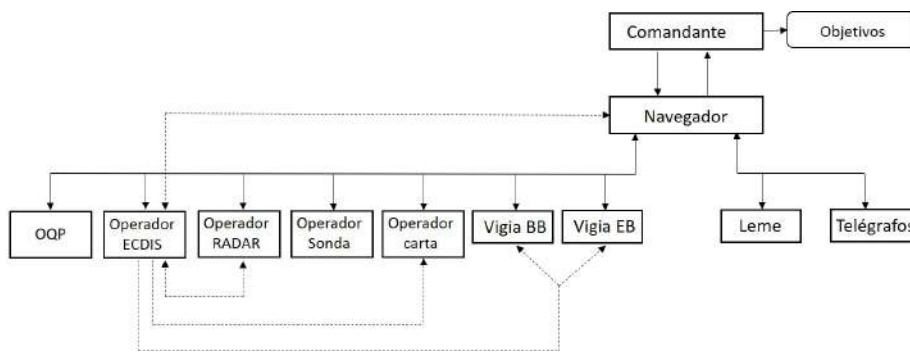


FIGURA 4.6: Organograma da equipa de navegação com as interações entre o operador do ECDIS e outros elementos da equipa (a tracejado).

Verifica-se, porém, uma diferença relevante no número de interações entre o operador do RADAR e do ECDIS entre as diferentes observações. Um dos fatores que pode influenciar esta diferença é apontado por Salas et al. (2015) como a variação do contexto, através de características situacionais. Neste caso, umas das variações apontadas é o arranjo espacial da ponte e conseqüente distância entre os sistemas e respetivos operadores, sendo diferente em cada tipo de navio (Figura 4.7).

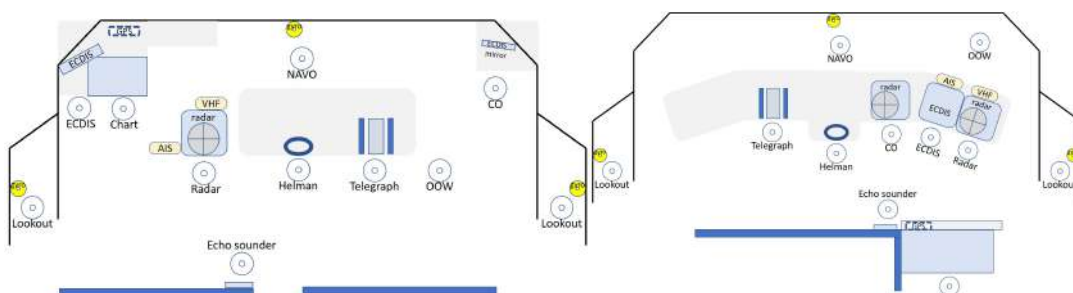


FIGURA 4.7: Esquema com ponte dos navios vista de cima, com posição dos sistemas e respetivos operadores (ponte do navio do tipo A, à esquerda; ponte do navio do tipo B, à direita).

Nas observações #2 e #5, que decorreram no navio do tipo A verificaram-se menos interações entre o operador do ECDIS e o operador do RADAR (0 e 1,

respetivamente) em relação às observações #3 e #4 (19 e 10, respetivamente), o que pode ser influenciado pelo arranjo espacial da ponte, visível na Figura (4.7). No navio do tipo A, a posição do operador do ECDIS (distante e de costas) não facilita a comunicação com o operador do RADAR, nem a visualização do ecrã do seu equipamento. No navio do tipo B, os equipamentos encontram-se lado a lado, o que leva a que os operadores comuniquem com facilidade e observem o ecrã do equipamento um do outro. Esta hipótese indica que o *design* da ponte dos navios poderá ter um impacto nas interações dos elementos da equipa de navegação. Porém, o número de observações analisadas (4 observações) não permite tirar conclusões com significância estatística.

Outro fator que pode ser influenciador das interações ocorridas entre o operador do ECDIS e do RADAR é apontado por Salas et al. (2015) como a cultura organizacional. A maneira como os vários elementos dentro da equipa se relacionam e o seu comportamento social ou de grupo podem influenciar o funcionamento da equipa. No caso do operador do ECDIS e do operador do RADAR, a variação social verifica-se através do seu estatuto a bordo. Nos casos em que se verificaram menos interações entre os dois elementos (observações #2 e #5 no navio do tipo A), a diferença de estatutos verificou-se bastante acentuada (o operador do ECDIS tinha um estatuto hierarquicamente inferior ao operador do RADAR). Nas observações #3 e #4, no navio do tipo B, verificou-se uma maior interação entre os dois operadores, tendo este o mesmo estatuto hierárquico. Apesar das 4 observações analisadas não serem suficientes para comprovar estatisticamente a hipótese levantada, pode ser indicativo de que a diferença entre os postos dos elementos pode influenciar a maneira como se relacionam e interagem.

Salas et al. (2015) aponta a experiência profissional de cada elemento como um fator relevante para o bom funcionamento da equipa. A experiência tanto da equipa como dos operadores pode, também, ter uma relação com a maneira como estes interagem entre si. Na observação #2 e #5 tanto os operadores do ECDIS como do RADAR desempenhavam a função há mais tempo (21 meses e 28 meses, respetivamente, na observação #2 e 12 meses, os dois operadores no caso da observação #5), relativamente aos operadores do ECDIS e do RADAR da observação #3 e #4 (5 meses e 12 meses, respetivamente), indicando a possibilidade do maior número de interações trocadas entre os elementos servirem para confirmar e esclarecer informações.

4.4 Fatores determinantes da interação do operador do ECDIS com o equipamento

Após analisadas as observações #3, #4 e #5, detetou-se que grande parte da informação requisitada e relatada pelo operador do ECDIS é recolhida diretamente do *display*, sem ser necessário interagir com o equipamento. Na Figura 4.8, pode visualizar-se um mapa termal relativo à totalidade das fixações ocorridas durante a observação #3, onde é possível visualizar as áreas para onde o operador do ECDIS mais olhou (áreas coloridas) dentro de uma área de interesse (monitor do ECDIS).

A análise da figura aponta para um pequeno erro de calibração, sendo possível que a área colorida se encontre ligeiramente desviada para a direita. Contudo, detetam-se duas áreas de interação do operador no equipamento. A primeira área de interação, no centro do *display* aponta para o controlo do momento de guinada e da posição do navio sobre o posicionamento. A segunda área de interação, localizada à esquerda do *display* aponta para uma consulta do painel com as informações relativas ao navio e à sua posição.

Como descrito na secção 1.2.2, nos navios da Marinha Portuguesa é exigido ao operador do ECDIS, durante a navegação em águas restritas, que faça quatro tipos distintos de relatos ao navegador: o relato situacional; o relato das 1000jj; o relato durante a guinada e o relato geral durante a navegação. Ao necessitar de relatar ao navegador a posição do navio durante a guinada (se o navio se encontra a guinar por dentro ou por fora do planeamento) e de relatar a posição do navio relativamente ao planeamento durante a navegação, o operador do ECDIS fixa o centro do *display* com bastante frequência. Para relatar as informações necessárias ao relato da equipa e para efetuar o relato das 1000jj, o operador necessita de olhar para o painel que contém as informações de que necessita.

As normas dos navios têm estipuladas a seguinte ordem para o relato do operador do ECDIS: afastamento lateral ao planeamento, águas livres a BB/EB, distância ao / tempo para o MG e distância ao fim / tempo para o fim do planeamento. Em termos práticos, isto implica que o operador olhe para o painel de informações e relate o valor do afastamento lateral (número 1 na Figura 4.8); coloque o cursor em cima da linha das águas livres, tanto a BB como a EB e relate a distância (número 2 na Figura 4.8); relate a distância ao momento de guinada (número 3 na Figura 4.8) e o tempo para o momento de guinada (número 4 na Figura 4.8); relate a distância ao fim (número 5 na Figura 4.8) e por fim utilize o menu *route* (Figura 4.9) para relatar o tempo ao fim do planeamento.

Esta informação que o operador do ECDIS tem que relatar ao navegador não está distribuída no *display* de forma sequencial. O próprio sistema tem várias caixas com a informação organizada e apresenta tamanhos de letra diferente para informação diferente. Esta distribuição não sequencial da informação pode levar a que a procura da informação para o relato seja menos intuitiva para o operador, o que aponta para a importância do *design* de um painel de informações sequencial e intuitivo.

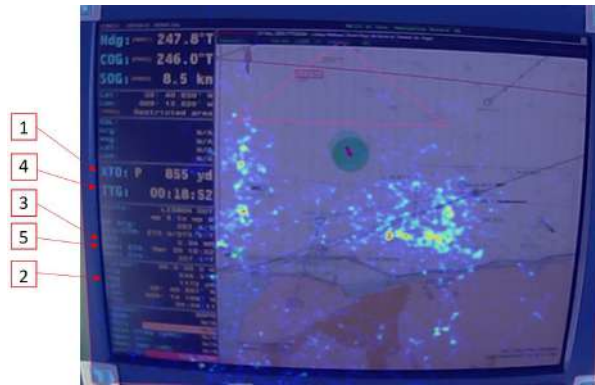


FIGURA 4.8: Mapa termal relativo à observação #3 com a sequência de relatos definida pela Marinha Portuguesa.

Resumindo, da informação que o operador do ECDIS tem que fornecer durante os relatos formais, a única que não se encontra diretamente visível no *display* do equipamento (4.8) é a distância ao fim. O operador consegue ter acesso à hora de final de planeamento mas não à distância ao fim. Para obter essa informação, necessita de interagir com o ECDIS, carregando no menu *Route* (Figura 4.9), onde consegue obter informação das pernadas (latitude (LAT); longitude (LON); rumo da pernada (BRG), distância a determinado momento de guinada ou ao fim (DTG); tempo para determinado momento de guinada ou ao fim (TTG); hora de chegada a determinado momento de guinada ou ao fim (ETA)).

Verificou-se, durante as observações #3, #4 e #5 que todos os observadores utilizavam este menu no final do seu relato ao navegador. Esta necessidade de utilização de um menu para indicar uma informação essencial durante um relato pode apontar para uma lacuna no *design* do *display*, tornando pouco intuitiva a recolha desta informação para um utilizador pouco experiente.

Name	LAT	LON	BRG	Radius	RoT	ETG/TTG Speed	DTG	TTC	ETA (Alpha)
up 6	38° 40.309' N	009° 08.570' W	046.3°T	-	-	0.5 kn	539 yd	00:31:56	Aug 25 14:46:35
up 5	38° 41.085' N	009° 07.645' W	043.7°T	219 yd	88.43 °/min	0.5 kn	1.26 NM	02:31:47	Aug 25 12:46:27
up 4	38° 41.911' N	009° 07.970' W	028.3°T	219 yd	88.43 °/min	0.5 kn	2.00 NM	04:09:24	Aug 25 14:29:44
up 3	38° 40.009' N	009° 12.612' W	283.0°T	219 yd	88.43 °/min	0.5 kn	5.92 NM	11:50:34	Aug 25 22:05:13
up 2	38° 40.985' N	009° 17.298' W	277.4°T	219 yd	88.43 °/min	0.5 kn	9.57 NM	19:08:04	Aug 26 05:22:43
up 1	38° 36.963' N	009° 22.813' W	254.0°T	-	-	0.5 kn	15.51 NM	1 d 07 hrs	Aug 26 17:15:40

FIGURA 4.9: Menu *route* do ECDIS.

Durante as observações #3, #4 e #5 todos os operadores prepararam o equipamento para navegar em segurança, sendo necessário para isso interagir com o equipamento e seleccionar os menus.

As interações mais frequentes registadas relacionam-se com os comandos *zoom in* e *zoom out*, para aproximar e afastar a imagem. Estas interações ocorrem normalmente quando o operador do ECDIS necessita de aproximar algum contacto ou momento de guinada para visualizar alguma informação com maior pormenor

ou de afastar para procurar algum contacto mais longe ou ver a totalidade do planeamento. Enquanto os planeamentos ocorriam com normalidade, os operadores utilizaram estes comandos para controlar a guinada com maior precisão. Verificou-se, porém, um caso particular na observação #4, quando o navio se desviou do planeamento de entrada da BNL para deixar outro navio sair. Durante o período em que o navio esteve fora do planeamento, o operador do ECDIS utilizou o comando *zoom in* e *zoom out* 12 vezes, de modo a verificar a navegação circundante ao navio e obter informações acerca do navio que se preparava para sair da BNL. Adquiriu as informações relativas ao navio que se encontrava a sair da BNL através do comando *contact information*. Através deste comando obtém-se informação relativa a determinado contacto seleccionado (rumo, velocidade, distância, entre outras), permitindo ao operador confirmar as informações de anti-colisão relatadas pelo operador do RADAR e posteriormente relatar informação ao navegador.

O menu *contact information* foi apenas utilizado pelo operador do ECDIS na observação #4 e possibilita saber informações acerca de um contacto. O menu pode visualizar-se na Figura 4.10, onde consta a seguinte informação do contacto: posição geográfica, rumo (COG), velocidade (SOG), distância (*Range*), nome do contacto (*Name*), tipo de navio (*Type*) e comprimento). O operador do ECDIS apenas utilizou esta informação por necessidade de monitorizar os movimentos do navio que se encontrava a sair da BNL. Contudo, é uma ferramenta que pode ser bastante importante para confrontar informação de anti-colisão com a posição geográfica, esclarecendo o conhecimento situacional.



FIGURA 4.10: Menu *contact information* do ECDIS.

Segundo as incumbências estipuladas pelas normas da Marinha Portuguesa, o operador do ECDIS tem a obrigação de marcar pontos usando as mesmas LDPs que a carta em papel para verificar a sua consistência. O único operador do ECDIS que cumpriu esta tarefa foi o operador da observação #5, que durante todas as sequências de relatos situacionais utilizava os azimutes relatados pelos vigias à carta para marcar um ponto no ECDIS, confrontando a posição que o aparelho marca (retirada do GPS) e a posição com métodos de geonavegação.

Segundo Rasmussen (1983), existem três modos de desempenho (Figura 4.11) que um operador pode praticar ao utilizar um sistema de informação, como é o caso do ECDIS. O primeiro modo tem como base a perícia e representa o acto de realizar a tarefa através de automatismos, funcionando em atividades conhecidas pelo operador. No segundo modo, o operador realiza as tarefas que lhe foram incumbidas com base em regras e procedimentos, podendo recorrer, por exemplo, com recurso a listas de verificação. O terceiro modo exige uma maior capacidade intelectual e acontece em situações desconhecidas, onde é preciso um conhecimento profundo sobre o assunto Rasmussen (1983).

A análise das quatro observações indica que a grande maioria das tarefas que o operador realiza durante a navegação em águas restritas são de leitura de informação. Esta leitura pode ser direta ou exigir algum comando no sistema, porém, as funções utilizadas nas observações realizadas não apontaram para uma necessidade específica de conhecimento, enquadrando-se no primeiro e segundo modo do modelo de Rasmussen (1983). Este facto indica que o potencial do sistema não está a ser totalmente utilizado pelo operador. Sendo o operador do ECDIS a variável diferente na interação entre o operador de ECDIS e o equipamento, existindo operadores com diferentes competências (visíveis através do posto), seria de esperar que o *output* fosse diferente, visto existirem operadores formados para operar no modo do conhecimento. Porém, todos os operadores trabalham no modo da perícia e das regras, existindo funções que, ao serem exploradas, poderiam ser úteis ao navegador e reduzir a sua carga de trabalho, principalmente nos momentos de maior pressão.

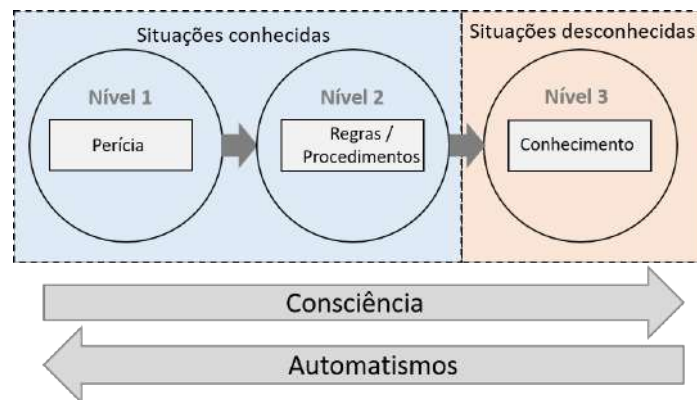


FIGURA 4.11: Modelo dos modos de desempenho dos operadores de sistemas de informação. Adaptado de Reason (1990).

4.5 Impacto do estudo

Através da análise da correlação do nível de atenção do operador com o tipo de tarefa realizado, é possível verificar que quando o operador se encontra a realizar uma só tarefa (controlo da posição do navio) a carga de trabalho mental a que é sujeito varia consoante a posição do navio no planeamento e as interações dentro da equipa (dentro das 1000jj até ao controlo da guinada, a dinâmica dentro da equipa é diferente). Os testes estatísticos realizados apontam para uma evidência de que

a dinâmica da equipa e as interações se alteram pela proximidade ao controlo de guinada. As tarefas exigem maior atividade mental e precisão, reduzindo o espaço para o erro humano. Cada elemento da equipa necessita de ter sempre o CS bem esclarecido e preciso e, no caso do operador do ECDIS, as suas funções têm que ser bem conhecidas, sendo necessário estar familiarizado com o equipamento, por forma a não perder tempo na procura de informação, auxiliando o navegador na tomada de decisão.

Durante a altura em que a atividade se intensifica e a decisão tem que ser tomada de forma informada e eficiente, é importante que a equipa esteja organizada de modo a facultar ao navegador toda a informação de que necessita para ter o panorama bem esclarecido, contribuindo para a redução da sua carga de trabalho.

A diferença entre número de relatos situacionais completos contabilizados nas várias observações pode apontar para uma influência na interação entre os vários elementos dentro da equipa. A maior diferença que se observa na organização da equipa tem a ver com a participação do operador da carta. Apesar de submetido a uma carga de trabalho mental elevada, o operador do ECDIS relata informações retiradas de um equipamento eletrónico com base em posicionamento GPS (que pode ter erros associados), enquanto a carta tem que fazer os cálculos manualmente, com base em azimutes retirados visualmente pelos marcadores. A velocidade com que o ECDIS consegue relatar informações é muito superior à velocidade com que o operador da carta consegue calcular as informações necessárias para o relato. O que importa explorar é se a ordem dos relatos influencia a resposta do operador da carta, podendo este sentir-se pressionado pelo tempo de resposta e influenciando os seus cálculos com base no relato do ECDIS, perdendo-se assim o efeito da redundância ao equipamento com a utilização de um método manual.

Os resultados da análise das interações entre os elementos da equipa de navegação pode apontar para que o arranjo espacial da ponte tenha uma relação com as interações verificadas com os elementos, nomeadamente, entre o operador do ECDIS e do RADAR. Verifica-se que nos casos em que as estações onde os operadores operam os equipamentos se encontram visíveis uma da outra, a interação é maior, o que pode permitir um maior esclarecimento do CS e facilitar a troca de informações. Contudo, o estatuto hierárquico entre os operadores e a experiência que possuem na realização da tarefa são, também, fatores a ter em conta, sendo necessário um maior número de observações para tirar conclusões.

Para que a equipa consiga tirar proveito dos vários equipamentos que tem disponíveis com maior eficiência possível, torna-se necessário que todos os operadores conheçam bem as suas funções e que a ponte esteja desenhada por forma a que os operadores tirem o máximo de proveito das interações entre si, aumentando a troca de informação pertinente e, conseqüentemente, a redundância. O *design do display* do ECDIS deve, também, fornecer ao seu operador o máximo de informação útil com o mínimo de interações nos momentos em que a carga de trabalho mental e a exigência de atenção são superiores de forma a focar a atenção.

A análise da interação entre o operador do ECDIS e o equipamento aponta

para que grande parte da informação relatada pelo operador e requisitada pelo navegador possa ser recolhida diretamente do *display*. Ao compreender a sequência de relatos sequenciais que compete ao operador do ECDIS, compreende-se que a disposição da informação na *interface* do sistema não é sequencial, exigindo que o operador procure a informação. Isto aponta para uma necessidade de exploração da *interface*, de modo a tornar a procura da informação intuitiva e sequencial, simplificando a carga de trabalho ao operador. A análise dos resultados aponta, também, para que as tarefas realizadas pelo operador exijam maioritariamente perícia e o cumprimento de procedimentos estabelecidos, baseando-se na experiência e em automatismos para a sua realização.

Deste modo, apontaram-se várias hipóteses que podem ser estudadas e aprofundadas, através de um maior número de observações, para que seja possível retirar conclusões com relevância estatística. A realização das observações em navios de diferentes classes, com arranjos espaciais diferentes e organização da equipa de navegação podem enriquecer as observações.

Conclusão

Com a realização deste estudo pretendeu-se, através da compreensão dos processos cognitivos a que o operador do ECDIS é sujeito, contribuir para a melhoria do arranjo espacial da ponte dos navios, para a *interface* do ECDIS, para a organização da equipa de navegação e para compreender a relação entre o treino do operador do ECDIS e a função desempenhada, otimizando as interações entre toda a equipa e o equipamento, aumentando, conseqüentemente, a eficiência e a segurança da navegação em águas restritas.

Os resultados apontaram para diferenças na dinâmica dentro da mesma equipa entre as várias atividades realizadas durante a navegação e para diferenças na organização entre as várias equipas, consoante o tipo de navio. Estas evidências apontam para que fatores como o arranjo espacial da ponte, o estatuto hierárquico dos elementos da equipa e a sua experiência estejam diretamente relacionados com o modo como a equipa se organiza e interage entre si. A organização da *interface* dos sistemas de apoio à decisão e o treino do seu operador podem relacionar-se, também, com a maneira como os seus operadores interagem com o equipamento, o que, conseqüentemente, vai potenciar a utilização do equipamento e apoiar o navegador na tomada de decisão informada.

Após definidos os objetivos do estudo, iniciou-se o processo de aprendizagem dos conceitos base do enquadramento teórico, nomeadamente os conhecimentos sobre o ECDIS e, posteriormente, o aprofundamento das funcionalidades dos *eye-trackers* e dos parâmetros por eles medidos, tanto biométricos como parâmetros correlacionados com processos cognitivos.

Estava prevista a realização de testes em ambiente controlado, no simulador de navegação da Escola Naval, com os alunos de Mestrado Integrado em Ciências Militares Navais, para se compreender melhor o funcionamento dos *eye-trackers* e se detetarem eventuais erros nos procedimentos ou falhas no equipamento antes de se realizarem observações em ambiente natural. Estava, igualmente, prevista a realização de oito a dez observações a bordo de navios da Marinha Portuguesa, para recolha de dados em ambiente natural. Contudo, devido às limitações provocadas pela pandemia de COVID-19, as observações foram autorizadas apenas a partir do final do mês de Julho, o que possibilitou a realização de apenas duas observações.

Esta limitação foi, em parte, ultrapassada com a utilização dos dados recolhidos no ano de 2019. Considera-se, porém, que mais observações teriam sido enriquecedoras para este estudo, abrangendo navios da Marinha Portuguesa de diferentes classes e avaliando-se as competências dos operadores de ECDIS em situações diferentes e considerando as diferenças de posto, hierarquia e experiência.

Testou-se uma hipótese para relacionar a influência da fadiga do operador com a atenção e esforço cognitivo aplicado à tarefa, não sendo confirmada a hipótese que a fadiga se manifesta com o estender da tarefa. Considerou-se, porém, que as observações deviam ser efetuadas por um período maior (a duração das observações realizadas em 2019 foi cerca de metade do tempo da saída do porto de Lisboa). Recomenda-se que futuras observações tenham uma duração igual ao tempo total da entrada ou saída do porto de Lisboa, de forma a poder aferir-se se o operador acaba por ser afetado pela fadiga.

Seria também interessante explorar de que forma o cansaço à chegada da missão afeta o desempenho do operador do ECDIS e da equipa, em relação à saída para missão. Para isso seria necessário realizar as duas observações (de chegada e de saída) no mesmo navio, com a mesma equipa de navegação, o que também, devido às limitações impostas pela pandemia, se tornou impossível.

Outra hipótese testada consistiu em analisar o comportamento do operador do ECDIS com foco apenas numa tarefa (controlo da posição do navio). Considera-se, porém, importante a análise do comportamento para várias tarefas em simultâneo (como por exemplo controlar a posição do navio com um navio em rumo de colisão e a falar ao rádio VHF). Contudo, as observações para testar estas situações deverão ser realizadas em simulador e em maior quantidade para possibilitar a análise com amostras suficientes para ter significância estatística.

No futuro será interessante realizar mais observações em classes de navios diferentes, com equipas diferentes e em contextos variados, por forma a avaliar a capacidade de adaptação da equipa e perceber de que maneira é feita a interação para tirar o máximo de proveito das valências de cada equipamento e operador. O estudo desta adaptação fará com que se compreenda melhor a maneira como a equipa interagiu para ultrapassar o problema, permitindo tornar os processos de tomada de decisão mais completos para reduzir a carga de trabalho do operador e consequentemente do navegador, contribuindo para a redução do erro humano e aumento da segurança da navegação.

Bibliografia

- Alexandridis, E. (1985). Pupil Size. Em *The Pupil* (pp. 11–12). New York, NY, Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-5086-9_2
- ALLIANZ, G. C. (2012). Safety and Shipping 1912-2012.
- Anderson, P. (2003). *Cracking the Code: The Relevance of the ISM Code and Its Impact on Shipping Practices*. London: Nautical Institute.
- Bailey, N., Housley, W. & Belcher, P. (2006). Navigation, interaction and bridge team work. *Sociological Review*, 54(2), 342–362. <https://doi.org/10.1111/j.1467-954X.2006.00617.x>
- Bainbridge, L. (1983). Ironies of automation. *Automatica*, 19(6), 775–779. [https://doi.org/10.1016/0005-1098\(83\)90046-8](https://doi.org/10.1016/0005-1098(83)90046-8)
- Berg, H. P. (2013). Human Factors and Safety Culture in Maritime Safety (revised). *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 7(3), 343–352. <https://doi.org/10.12716/1001.07.03.04>
- Bergstrom, J. R. & Schall, A. J. (2014). *Eye Tracking in User Experience Design*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2012-0-06867-6>
- Butt, N., Johnson, D., Pike, K., Pryce-Roberts, N. & Vigar, N. (2013). 15 Years of Shipping Accidents: A review for WWF. *Shipping Accidents Report*, 44(0), 1–56. <http://ssudl.solent.ac.uk/id/eprint/2391>
- Cao, A., Chintamani, K. K., Pandya, A. K. & Ellis, R. D. (2009). NASA TLX: Software for assessing subjective mental workload. *Behavior Research Methods*, 41(1), 113–117. <https://doi.org/10.3758/BRM.41.1.113>
- Clark, H. (1996). *Using Language*. Cambridge University Press.
- Clark, H. H. & Brennan, S. E. (1991). Grounding in communication. Em *Perspectives on socially shared cognition*. (Pp. 127–149). Washington, American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/10096-006>
- Coelho, D. A., Filipe, J. N. O., Marques, M. S. & Nunes, I. L. (2015). The Expanded Cognitive Task Load Index (NASA-TLX) applied to Team Decision-Making in Emergency Preparedness Simulation. *Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter 2014 Annual Conference*, 4959(2015). <https://doi.org/10.13140>
- Conceição, V., Carmo, M. B., Dahlman, J. & Ferreira, A. (2018). Visualization in Maritime Navigation: A Critical Review. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60441-1_20
- Conceição, V. P., Dahlman, J. & Navarro, A. (2017). What is maritime navigation? Unfolding the complexity of a Sociotechnical System. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 61(1), 267–271. <https://doi.org/10.1177/1541931213601549>
- Conceição, V., Teles, C. & Dahlman, J. (2019). The anchoring effect of technology in navigation teams, 7.

- Conceição, V. P., Dahlman, J. & Navarro, A. (2018). Designing for Safe Maritime Navigation Studying Control Processes for Bridge Teams. *Encontro Anual da Investigação e Desenvolvimento em Ciências Militares Investigação em Ciências Militares: Atualidade e perspectivas futuras, 12 de dezembro de 2018*, 9. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28044.82567>
- Danielsen, B.-e. (2019). *Sensemaking on the Bridge : A Theoretical Approach to Maritime Information Design*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-02053-8>
- Dekker, S. (2014). *Safety Differently* (Boca Raton, Ed.; Second edi). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b17126>
- Drewes, H. (2010). *Eye Gaze Tracking for Human Computer Interaction Eye Gaze Tracking for Human Computer Interaction* (tese de doutoramento March 2010). Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Duchowski, A. T. (2017). *Eye Tracking Methodology - Theory and Practice*. Cham, Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-57883-5>
- Durso, F. T., Nickerson, R. S., Dumais, S. T., Lewandowsky, S. & Perfect, T. J. (2007). *Handbook of Applied Cognition Edited by*. John Wiley & Sons, Ltd. John.
- Ellis, K. K. E. (2009). *Eye tracking metrics for workload estimation in flight deck operations* (tese de doutoramento). University of Iowa. <https://doi.org/10.17077/etd.a7736261>
- Embrey, D. & Lane, H. (1990). Understanding Human Behaviour and Error The Skill , Rule and Knowledge Based Classification. *System*, 1–10. <http://zonecours.hec.ca/documents/A2007-1-1399575.UnderstandingHumanBehaviourandError.pdf>
- EMSA. (2019). Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2014.
- Endsley, M. R. (1995). Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 37(1), 32–64. <https://doi.org/10.1518/001872095779049543>
- Estado-Maior da Armada. (2008). INA 4(A): Condução da Navegação. Lisboa.
- Flach, J. M. (2012). Complexity: Learning to muddle through. *Cognition, Technology and Work*, 14(3), 187–197. <https://doi.org/10.1007/s10111-011-0201-8>
- Forsman, F., Sea, S. & Society, R. (2016). THE 22 ND CHESAPEAKE SAILING YACHT SYMPOSIUM Teamwork as Joint Activity in Sailing Fredrik Forsman , Chalmers University of Technology & Swedish Sea Rescue Society , Göteborg , Christian Finnsgård , Chalmers University of Technology & SSPA Sweden AB , Göt, (March), 210–220.
- Forsman, F., Sjors, A., Dahlman, J., Falkmer, T. & Lee, H. C. (2012). Eye Tracking During High Speed Navigation at Sea. *Journal of Transportation Technologies*, 02(03), 277–283. <https://doi.org/10.4236/jtts.2012.23030>
- Grech, M. R., Horberry, T. & Smith, A. (2002). Human Error in Maritime Operations: Analyses of Accident Reports Using the Leximancer Tool. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 46(19), 1718–1721. <https://doi.org/10.1177/154193120204601906>

- Grech, M. R., Horberry, T. J. & Koester, T. (2008). *Human Factors in the Maritime Domain* (2008th ed.). Boca Raton, CRC Press.
- Haq, Z. A. & Hasan, Z. (2016). Eye-blink rate detection for fatigue determination, Em *2016 1st India International Conference on Information Processing (II-CIP)*, IEEE. <https://doi.org/10.1109/IICIP.2016.7975348>
- Hareide, O. S. (2019). *The use of Eye Tracking Technology in Maritime High-Speed Craft Navigation* (tese de doutoramento). Norwegian University of Science, Technology Faculty of Engineering Department of Ocean Operations e Civil Engineering.
- Hareide, O. S., Mjelde, F. V., Glomsvoll, O. & Ostnes, R. (2017). Developing a High-Speed Craft Route Monitor Window. Springer Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58625-0_33
- Hareide, O. S. & Ostnes, R. (2017a). Maritime Usability Study by Analysing Eye Tracking Data. *Journal of Navigation*, 70(5), 927–943. <https://doi.org/10.1017/S0373463317000182>
- Hareide, O. S. & Ostnes, R. (2017b). Scan Pattern for the Maritime Navigator. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 11(1), 39–47. <https://doi.org/10.12716/1001.11.01.03>
- Hareide, O. S. & Ostnes, R. (2018). Validation of a Maritime Usability Study with Eye Tracking Data. Em *Lecture Notes in Computer Science (including sub-series Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* (pp. 273–292). https://doi.org/10.1007/978-3-319-91467-1_22
- Hart, S. G. & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. Em *Advances in Psychology* (pp. 139–183). [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62386-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9)
- Holmqvist, K., Nystrom, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H. & Wijer, J. V. D. (2011). *Eye Tracking - A comprehensive Guide to Methods and Measures* (U. P. Oxford, Ed.; 2015th ed.). Oxford, Oxford.
- Holmqvist, K., Nyström, M. & Mulvey, F. (2012). Eye tracker data quality, Em *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications - ETRA '12*, New York, New York, USA, ACM Press. <https://doi.org/10.1145/2168556.2168563>
- Hyönä, J., Tommola, J. & Alaja, A.-M. (1995). Pupil Dilation as a Measure of Processing Load in Simultaneous Interpretation and Other Language Tasks. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 48(3), 598–612. <https://doi.org/10.1080/14640749508401407>
- IMO. (1995). Resolution A.817(19) Recommendation on Performance Standards for Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS). *IMO - Assembly*.
- IMO. (1998). Resolution MSC.86(70) Adoption of new and amended performance standards for navigational equipment. *IMO - MSC*.
- IMO. (2004). Human Element Vision, Principles and Goals for The Organization, (February), 1–4.
- IMO. (2006a). Adoption of the revised performance standards for Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS). *IMO-MS*.

- IMO. (2006b). MSC 82/15/2 The Role of the Human Element, Research into interaction with automated systems. *IMO - MSC. London*.
- IMO. (2006c). MSC 82/INF.9 Role of the Human Element. *IMO - MSC (Vol. 4). London*.
- IMO. (2007). Resolution MSC.252(83) Adoption of the Revised Performance Standards for Integrated Navigation Systems (INS). *Imo - Msc, 252*(October), 1–49.
- IMO. (2009a). MSC 85/26 Add-1 Report of the MSC on its 18th session. *IMO - MSC. London*.
- IMO. (2009b). Strategy for the Development and Implementation of E-Navigation. *MSC 85/26/Add.1, 11*, 15.
- IMO. (2015a). High level action plan for the organization and priorities for the 2016-2017 biennium. *IMO - Assembly (Vol. Resolution)*.
- IMO. (2015b). Resolution A.1097(29) Strategic Plan for the organization, for the 6 year period 2016 to 2021.
- Instituto Hidrográfico. (2007). RIEAM: Regulamento Internacional para Evitar Abalroamentos no Mar - 7^o Edição Anotada.
- Jacob, R. J. & Karn, K. S. (2003). Eye Tracking in Human-Computer Interaction and Usability Research. Em *The Mind's Eye* (pp. 573–605). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-044451020-4/50031-1>
- Just, M. A. & Carpenter, P. A. (1993). The intensity dimension of thought: Pupillometric indices of sentence processing. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale, 47*(2), 310–339. <https://doi.org/10.1037/h0078820>
- Kallet, M. (2014). *Critical Thinking to Improve Problem-Solving and Decision-Making Skills*. John Wiley & Sons, Inc.
- Kassner, M., Patera, W. & Bulling, A. (2014). Pupil, Em *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing Adjunct Publication - UbiComp '14 Adjunct*, New York, New York, USA, ACM Press. <https://doi.org/10.1145/2638728.2641695>
- Klein, D. E., Woods, D. D., Klein, G. & Perry, S. J. (2016). Can We Trust Best Practices? Six Cognitive Challenges of Evidence-Based Approaches. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making, 10*(3), 244–254. <https://doi.org/10.1177/1555343416637520>
- Klein, G. & Bradshaw, J. M. (2004). Common Ground in Joint Activity. *Organizational Simulation, 1*–42. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/0471739448.ch6>
- Klein, G., Feltovich, P. J., Bradshaw, J. M. & Woods, D. D. (2005). Common Ground and Coordination in Joint Activity. Em *Organizational Simulation* (pp. 139–184). Hoboken, NJ, USA, John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/0471739448.ch6>
- Klein, G., Snowden, D. & Pin, C. L. (2011). *Anticipatory Thinking* (June). <https://www.taylorfrancis.com/books/9780203847985>
- Lützhöft, M. & Dukic, T. (2015). Show me where you look and I'll tell you if you're safe: Eye tracking of maritime watchkeepers. *Proceedings of the 39th Nordic*

- Ergonomics Society Conference.*, (November), 2–7. <http://swepub.kb.se/bib/swepub:oai:services.scigloo.org:63697?tab2=abs%7B%5C%7Dlanguage=en>
- MAIB. (2014). Report on the investigation of the grounding of Ovit in the Dover Strait on 18 September 2013, (24). <https://www.gov.uk/maib-reports/grounding-of-oil-chemical-tanker-ovit-on-the-varne-bank-in-the-dover-strait-off-the-south-east-coast-of-england>
- Maritime Coastguard Agency. (2016). *The Deadly Dozen - 12 Significant People Factors in Maritime Safety* (rel. t c. N.^o 1000). https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment%7B%5C_%7Ddata/file/837844/MGN%7B%5C_%7D520%7B%5C_%7DFinal.pdf
- MATLAB. (2020). version 9.8 (R2020a). *Natick, Massachusetts*, The MathWorks Inc.
- NASA. (1986). NASA Task Load Index (TLX) v1.0. *Moffett Field, CA: NASA Ames Research Center*.
- Navon, D. & Gopher, D. (1979). On the economy of the human-processing system. *Psychological Review*, 86(3), 214–255. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.86.3.214>
- NVIVO QSR International Pty Ltd. (2020). NVivo (released in March 2020). <https://www.qsrinternational.com/nvivo-qualitative-data-analysis-software/home>
- Oltedal, H., Batalden, B., Lützhöft, M., Vu, V. D., H vold, J., Earthy, J., Allen, C., Grech, M. & Parson, J. (2018). *Managing Maritime Safety*. Oxon: Routledge.
- Pfleging, B., Fekety, D. K., Schmidt, A. & Kun, A. L. (2016). A Model Relating Pupil Diameter to Mental Workload and Lighting Conditions, Em *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, ACM. <https://doi.org/10.1145/2858036.2858117>
- Rasmussen, J. (1983). Skills, Rules, and Knowledge; Signals, Signs, and Symbols, and Other Distinctions in Human Performance Models. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, SMC-13*(3), 257–266. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1983.6313160>
- Reason, J. (1990). *Human Error*. Cambridge University Press.
- Rivera, S., Best, C., Yim, H., Walther, D., Sloutsky, V. & Martinez, A. (2012). Automatic selection of eye tracking variables uncovers similar mechanisms for visual categorization in adults and infants. *Journal of Vision*, 12(9), 1258–1258. <https://doi.org/10.1167/12.9.1258>
- Roth, E. M., O’Hara, J., Bisantz, A., Endsley, M. R., Hoffman, R., Klein, G., Militello, L. & Pfautz, J. D. (2014). Discussion Panel. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 58(1), 320–324. <https://doi.org/10.1177/1541931214581066>
- Rothblum, A. M. (2000). Human Error and Marine Safety. *U.S. Coast Guard Research & Development Center*, 1–9. <https://www.google.co.za/webhp?sourceid=chrome-instant%7B%5C%7Dion=1%7B%5C%7Ddespv=2%7B%5C%7Die=UTF-8%7B%5C%7D>
- Salas, E., Dickinson, T., Converse, S. & Tannenbaum, S. (1992). Toward an Understanding of Team Performance and Training. In: *Swezey, R. W. and Salas, E., Eds., Teams: Their Training and Performance*, Ablex, Norwood, 3-29.

- Salas, E., Shuffler, M. L., Thayer, A. L., Bedwell, W. L. & Lazzara, E. H. (2015). Understanding and Improving Teamwork in Organizations: A Scientifically Based Practical Guide. *Human Resource Management*, 54(4), 599–622. <https://doi.org/10.1002/hrm.21628>
- Salas, E., Sims, D. E. & Burke, C. S. (2005). Is there A big five in teamwork? *Small Group Research*, 36(5), 555–599. <https://doi.org/10.1177/1046496405277134>
- Salas, EduardoCooke, N. J. & Rosen, M. A. (2008). On teams, teamwork, and team performance: Discoveries and developments. *Human Factors*, 50(3), 540–547. <https://doi.org/10.1518/001872008X288457>
- Salmon, P. M., Stanton, N. A., Walker, G. H., Jenkins, D., Ladva, D., Rafferty, L. & Young, M. (2009). Measuring Situation Awareness in complex systems: Comparison of measures study. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39(3), 490–500. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2008.10.010>
- Sanquist, T. F. & Lee, J. D. (1993). Cognitive analysis of navigation tasks: A tool for training assessment and equipment design. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 37th Annual Meeting*, 1, 564–568.
- Stanton, N., Salmon, P., Walker, G. & Jenkins, D. (2005). Human Factors Methods: A Practical Guide for Engineering and Design. *Ashgate Publishing Ltd*.
- Taylor, R. M. (1990). Situation Awareness Rating Technique (SART). *AGARD Conference Proceedings No 478*, (1990).
- Transport Accident Investigation Commission. (2018). *Final report MO-2018-203: Grounding of container ship Leda Maersk* (rel. téc. June).
- Tsai, Y.-F., Viirre, E., Strychacz, C. C. & Jung, T.-P. (2007). Task performance and eye activity: predicting behavior relating to cognitive workload. *Aerospace Medical Association*, 78(Supplement 1), B176–B85.
- Turna, I. & Ozturk, O. B. (2019). A causative analysis on ECDIS-related grounding accidents. *Ships and Offshore Structures*, 0(0), 1–12. <https://doi.org/10.1080/17445302.2019.1682919>
- Vaiserman, A. & Lushchak, O. (2019). *Geroscience*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801238-3.62132-3>
- Van Den Broek, A. C., Neef, R. M., Hanckmann, P., Van Gosliga, S. P. & Van Halsema, D. (2011). Improving maritime situational awareness by fusing sensor information and intelligence. *Fusion 2011 - 14th International Conference on Information Fusion*.
- Vercruyssen, M. & Hendrick, H. W. (2012). *Behavioral Research and Analysis: An Introduction to Statistics within the Context of Experimental Design*.
- Wee, H. J., Lye, S. W. & Pinheiro, J. P. (2017a). Real Time Eye Tracking Interface for Visual Monitoring of Radar Controllers, Em *AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference*, Reston, Virginia, American Institute of Aeronautics; Astronautics. <https://doi.org/10.2514/6.2017-1317>
- Wee, H. J., Lye, S. W. & Pinheiro, J.-P. (2017b). Real Time Eye Tracking Interface for Visual Monitoring of Radar Controllers, Em *AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference*, Reston, Virginia, American Institute of Aeronautics; Astronautics. <https://doi.org/10.2514/6.2017-1317>

- Westrenen, F. (1995). Development of a navigator model by the use of mental workload measures. *Conference on human decision making and manual control*, (September).
- Wickens, C. D. (2002). Situation Awareness and Workload in Aviation. *Current Directions in Psychological Science*, 11(4), 128–133. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.00184>
- Wickens, C. D. (2015). Situation Awareness. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 9(1), 90–94. <https://doi.org/10.1177/1555343414564571>
- Wolfe, J. M. & Horowitz, T. S. (2004). What attributes guide the deployment of visual attention and how do they do it? *Nature Reviews Neuroscience*, 5(6), 495–501. <https://doi.org/10.1038/nrn1411>
- Yamada, Y. & Kobayashi, M. (2018). Detecting mental fatigue from eye-tracking data gathered while watching video: Evaluation in younger and older adults. *Artificial Intelligence in Medicine*, 91(May), 39–48. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2018.06.005>

Apêndice A - Análise estatística ANOVA

Os gráficos seguintes são respectivos aos *boxplots* resultantes das análises ANOVA realizados no Capítulo 4, com o intuito de esclarecer as diferenças entre os dois grupos a analisar.

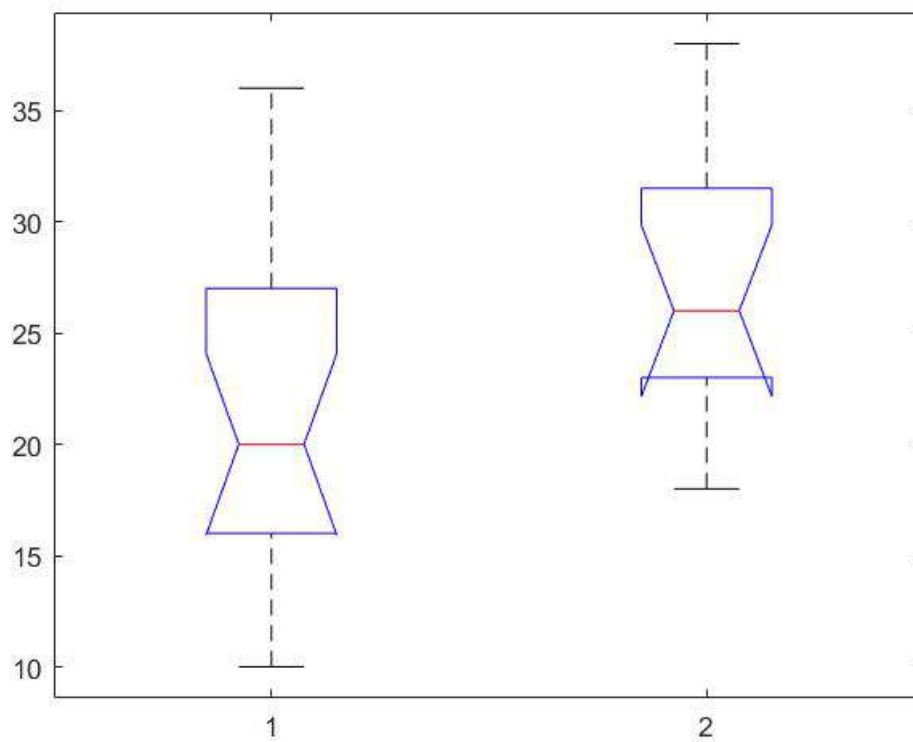


FIGURA A.1: *Boxplot* resultante da análise ANOVA para comparação da média da frequência de piscares de olhos.

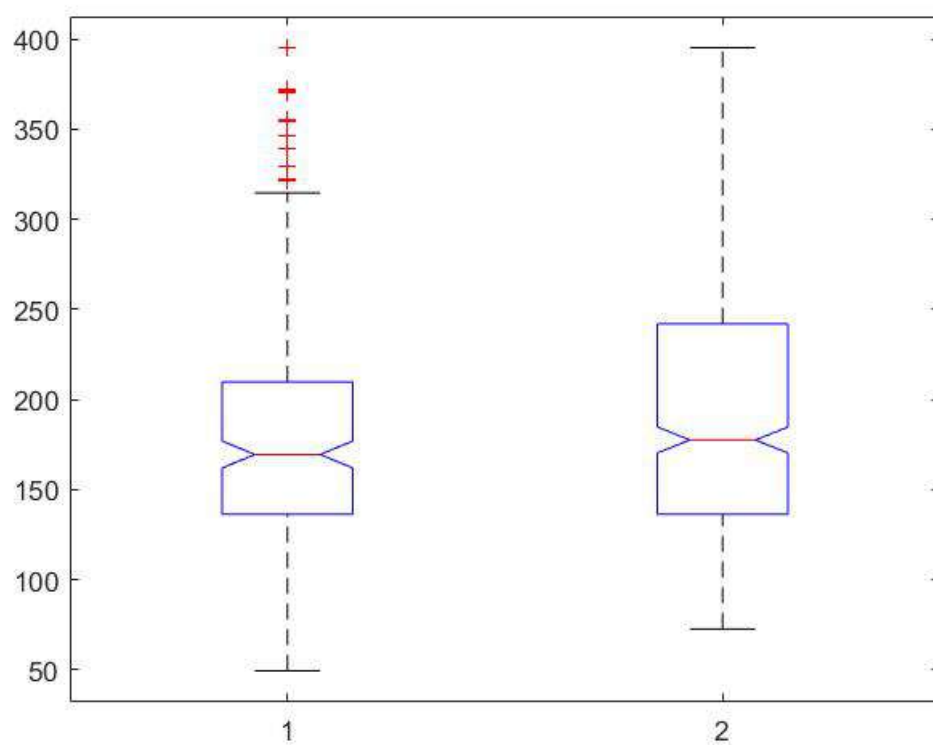


FIGURA A.2: *Boxplot* resultante da análise estatística ANOVA para comparação da média da duração de piscares de olhos.

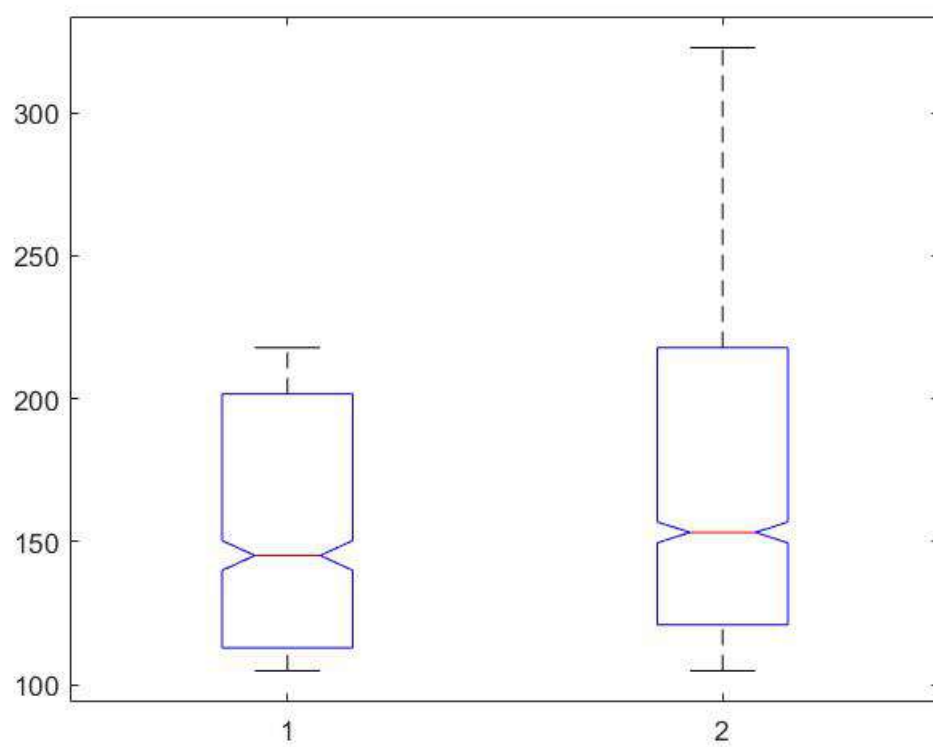


FIGURA A.3: *Boxplot* resultante da análise estatística ANOVA para comparação da média da duração das fixações.

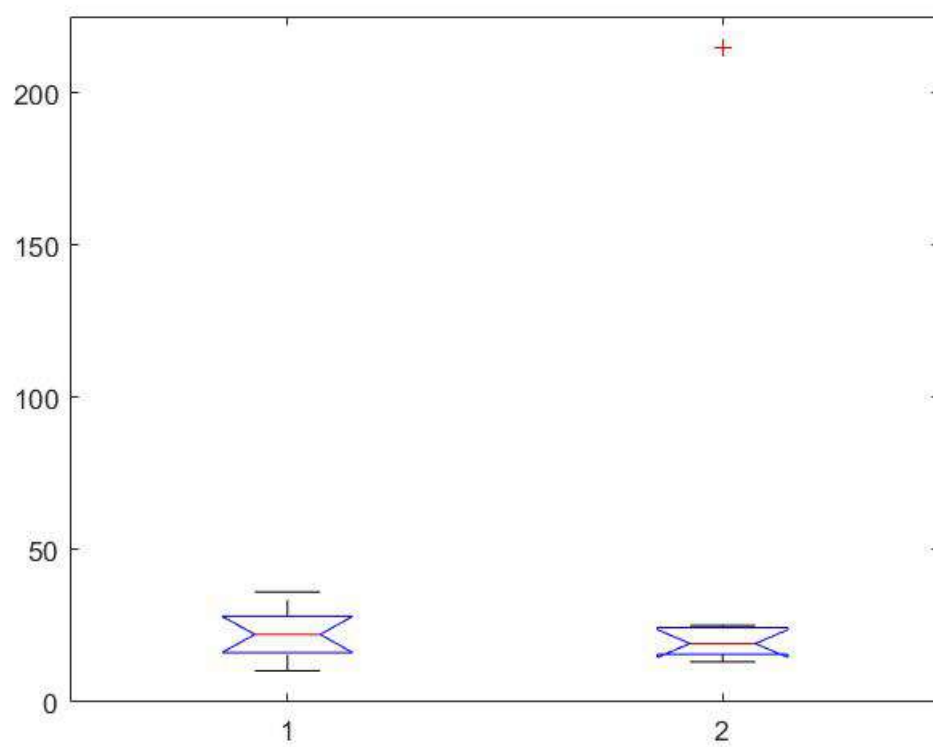


FIGURA A.4: *Boxplot* resultante da análise ANOVA para comparação da média da frequência de piscares de olhos.

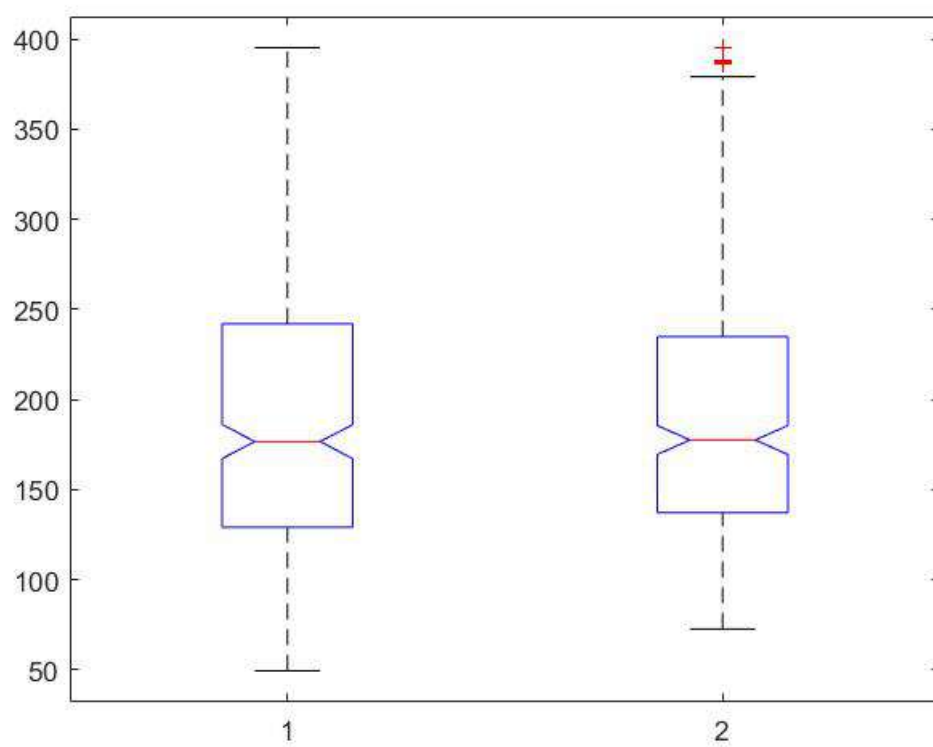


FIGURA A.5: *Boxplot* resultante da análise ANOVA para comparação da média da duração de piscares de olhos.

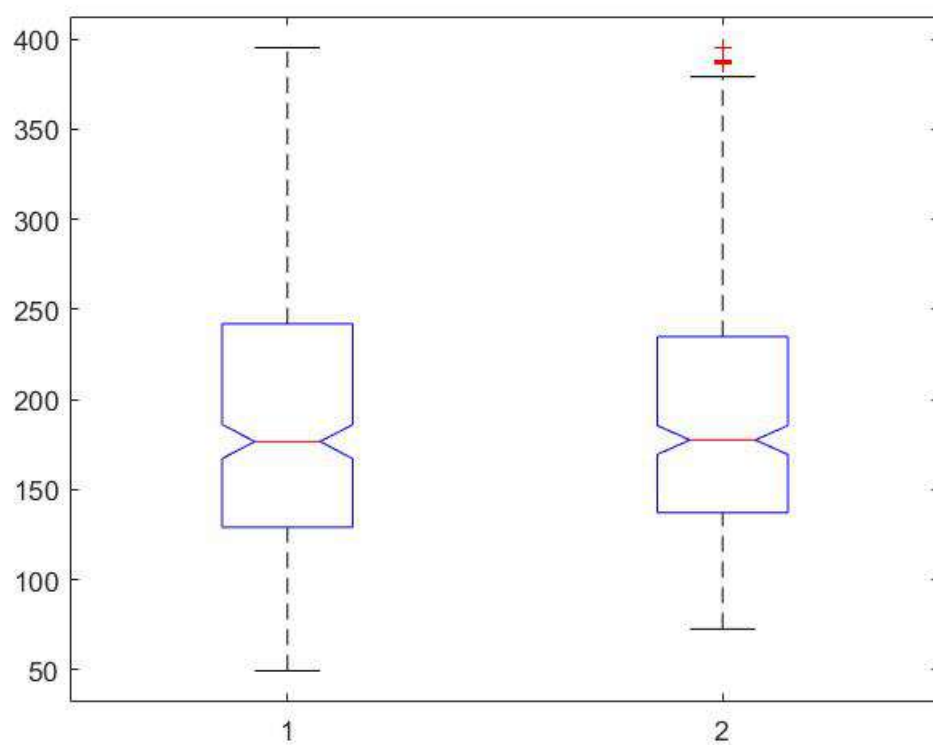


FIGURA A.6: *Boxplot* resultante da análise ANOVA para comparação da duração das fixações.

Anexo I - Questionário Demográfico

Navio:

Participante:

Questionário demográfico

1. Nome (name): _____
2. Idade (age): _____
3. Sexo (gender): Masculino Feminino
4. Classe (class): _____
5. Função (function): _____
6. Anos na marinha (years in the navy): _____
7. Tempo de embarcado (time on-board): _____
8. Horas de navegação (hours at sea): _____
9. Experiência profissional das presentes funções (experience in current duties): _____

10. Tempo no navio (time on-board this ship): _____
11. Tempo na presente equipa (time in this team): _____
12. Tempo nas presentes funções (time with current duties): _____
13. Tempo em outras funções da equipa (time with other duties in the team): _____
14. Número de horas de sono na noite passada (sleeping time last night): _____
15. Número de horas de sono nos últimos 3 dias (sleeping time over last 3 nights): _____
16. Utiliza lentes de contacto? (are you using contact lenses)? _____
17. Cursos de formação (courses): _____

18. Quanto tempo de treino específico teve para as presentes funções (training in current duties): _____

Obrigado pela sua colaboração!

Anexo II - Questionário SART

- | | | | |
|--------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> CO | <input type="checkbox"/> NAV | <input type="checkbox"/> BPSO | <input type="checkbox"/> ECDIS |
| <input type="checkbox"/> Carta | <input type="checkbox"/> Vigia BB | <input type="checkbox"/> Vigia EB | <input type="checkbox"/> Operador Sonda |
| <input type="checkbox"/> Leme | <input type="checkbox"/> Telégrafos | <input type="checkbox"/> Sinaleiro | <input type="checkbox"/> Registos |

Técnica de avaliação de conhecimento situacional (*Situational Awareness Rating Technique -SART*)

Escala: 1 – Baixo < 7 - Alto

1. **Instabilidade da situação**

Quão variável é a situação? A situação é altamente instável e provável que mude rapidamente (Alto) ou é bastante estável e sem alterações (Baixo)?

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
----	----	----	----	----	----	----

2. **Complexidade da situação**

Quão complicada é a situação? É complexa com muitos componentes interligados (Alto) ou é simples e estável (Baixo)?

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
----	----	----	----	----	----	----

3. **Variabilidade da situação**

Quantas variáveis estão a mudar durante a situação? Existe um grande número de fatores a variar (Alto) ou há muito pouca alteração de variáveis (Baixo)?

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
----	----	----	----	----	----	----

4. **Entusiasmo**

Quão entusiasmado(a) está com a situação? Está alerta e pronto(a) para atividade (Alto) ou possui um baixo grau de alerta (Baixo)?

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
----	----	----	----	----	----	----

5. **Concentração da atenção**

Quão concentrado está na situação? Encontra-se concentrado em muitos aspetos da situação (Alto) ou focado em apenas um (Baixo)?

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
----	----	----	----	----	----	----

6. **Divisão da atenção**

Quão dividida a sua atenção se encontra? Encontra-se concentrado(a) em muitos aspetos da situação (Alto) ou focado em apenas um (Baixo)?

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
----	----	----	----	----	----	----

8. **Capacidade mental restante**

Quanta capacidade mental restante durante a situação? Possui suficiente para prestar atenção a muitas variáveis (Alto) ou nenhuma restante (Baixo)?

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
----	----	----	----	----	----	----

9. **Quantidade de informação**

Quanta informação adquiriu durante a situação? Recebeu e compreendeu uma grande quantidade de informações (Alto) ou muito poucas (Baixo)?

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
----	----	----	----	----	----	----

10. **Familiaridade com a situação**

Quão familiar é a situação? Possui uma grande quantidade de experiência relevante (Alto) ou é uma situação nova (Baixo)?

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
----	----	----	----	----	----	----

Anexo III - Questionário NASA-TLX (Versão expandida)

- | | | | |
|--------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> CO | <input type="checkbox"/> NAV | <input type="checkbox"/> BPSO | <input type="checkbox"/> ECDIS |
| <input type="checkbox"/> Carta | <input type="checkbox"/> Vigia BB | <input type="checkbox"/> Vigia EB | <input type="checkbox"/> Operador Sonda |
| <input type="checkbox"/> Leme | <input type="checkbox"/> Telégrafos | <input type="checkbox"/> Sinaleiro | <input type="checkbox"/> Registos |

Circule, em cada linha, o campo que considera mais importante para avaliação da carga de trabalho associada à sua tarefa

Esforço	/	Desempenho
Desempenho	/	Exigência temporal
Desempenho	/	Frustração
Exigência física	/	Desempenho
Esforço	/	Exigência física
Exigência mental	/	Exigência física
Exigência temporal	/	Frustração
Exigência física	/	Frustração
Exigência mental	/	Esforço
Exigência temporal	/	Esforço
Exigência física	/	Exigência temporal
Frustração	/	Exigência mental
Frustração	/	Esforço
Exigência temporal	/	Exigência mental
Desempenho	/	Exigência mental

