

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

**Validação de simuladores de condução  
*low-cost* baseados num motor de jogo  
usando *Heads-Up Display*: estudo de caso  
com simulação de dispositivos *in-glass***

Patrícia Raquel de Jesus Araújo Alves



Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação

Orientador: Rui Pedro Amaral Rodrigues

Coorientador: Rosaldo José Fernandes Rossetti

23 de Junho de 2014



**Validação de simuladores de condução *low-cost*  
baseados num motor de jogo usando *Heads-Up  
Display*: estudo de caso com simulação de dispositivos  
*in-glass***

**Patrícia Raquel de Jesus Araújo Alves**

Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação

Aprovado em provas públicas pelo Júri:

Presidente: Luís Filipe Pinto de Almeida Teixeira

Vogal Externo: António José Borba Ramires Fernandes

Orientador: Rui Pedro Amaral Rodrigues

Coorientador: Rosaldo José Fernandes Rossetti

---

23 de Junho de 2014



# Resumo

A existência de simuladores de condução cada vez mais evoluídos e acessíveis em termos de custo é uma realidade, permitindo a realização de uma grande variedade de estudos, muitos dos quais de extrema importância para a melhoria da segurança na estrada. São exemplo os imensos cenários que não podem ser testados no mundo real devido ao perigo que podem apresentar para a segurança quer do condutor e passageiros, quer das pessoas na estrada. Com a incorporação de realidade aumentada no para-brisas de automóveis, usando um *Heads-Up Display* (HUD) para a integração de sistemas de informação embutidos no veículo (IVIS), os condutores conseguem visualizar e perceber a informação mostrada sem necessidade de desviarem o olhar da estrada, para olharem para o painel de instrumentos ou para o computador de bordo. Isto tem-se revelado bastante útil para o aumento da segurança, estando em crescimento o desenvolvimento de simuladores de condução cada vez mais fiáveis e imersivos, e de novos IVIS integrados num HUD em automóveis.

A realização de testes de simulação de condução em veículos com HUD não é fácil de conseguir quando se procura um baixo custo, acessibilidade e um ambiente realista, sendo importante encontrar formas de fazer esses testes de forma mais fácil e em grande escala. Assim, com este trabalho pretendeu-se determinar até que ponto um simulador de baixo custo, baseado num motor de jogo, pode ser utilizado em detrimento de um simulador de médio custo, para o estudo da perceção e análise de IVIS num HUD também de baixo custo. Para isso foram efetuadas experiências de simulação, envolvendo 35 participantes, num computador ligado a um volante e pedais (simulador de baixo custo), e num carro real instrumentado no interior de um laboratório (simulador de médio custo de base fixa), ambos com e sem o auxílio de um HUD. Como resultado verificou-se que os condutores tinham a mesma perceção e reação à informação no HUD em ambos os simuladores, tendo sido considerados equivalentes, e por isso, o simulador de baixo custo pode ser utilizado para a análise e validação de IVIS num HUD. Em termos de realismo e controlo, os simuladores são totalmente diferentes, sendo mais imersivo e fácil de controlar um simulador de condução de médio custo. Neste caso, o simulador de baixo custo não consegue substituir um simulador de médio custo, não sendo adequado para estudos mais complexos, ou que possam necessitar de uma maior imersividade e controlo por parte dos condutores.



# Abstract

The existence of driving simulators increasingly evolved, and accessible in terms of cost, is a reality, allowing a great variety of studies, many of which extremely important to the road safety improvement, since there are many scenarios that cannot be tested in the real world due to the danger they can represent for the driver, the passengers, and the pedestrians. With the incorporation of augmented reality in the windshield of automobiles using Heads-Up Displays (HUD) for the integration of In-Vehicle Information Systems (IVIS), drivers can visualize and perceive the displayed information without needing to take the eyes off the road to look at the dashboard or the trip computer. This is proving to be useful in increasing safety, leveraging the need to develop increasingly reliable and immersive driving simulators and new IVIS for HUD's integration.

When seeking for a low budget, accessibility and a realistic environment, performing driving simulations in vehicles with HUD is not easy to achieve, being important to find new ways of performing those tests easily and in large scale. Therefore, this work intended to determine whether a low cost driving simulator, PC-based with a game engine, can be used instead of a medium cost simulator, to study the perception and analysis of IVIS in a low cost HUD. For that, driving simulations were conducted, with 35 participants, in a laptop connected to a steering wheel and pedals (low cost simulator), and in an instrumented car inside a laboratory (fixed-base medium cost simulator), both with and without an HUD. As a result, it was found that drivers perceived and reacted in the same way to the information displayed in the HUD, in both simulators, being equivalents, and therefore the low cost simulator can be used in the analysis and validation of IVIS in a HUD. In terms of realism and control, the studied simulators are totally different, with the medium cost simulator being more immersive and easy to control. In this case, the low cost simulator is not able to replace the medium cost one, and is not adequate for complex studies, or studies that need a greater immersiveness and control by the drivers.



# Agradecimentos

Em primeiro lugar gostava de agradecer às pessoas mais importantes da minha vida, o meu futuro marido João, por todo o seu amor, apoio, ajuda e compreensão, à minha filha Mafalda pela sua paciência na menor dedicação que lhe pude proporcionar, ao Joãozinho pelos pontapés na barriga para me animar, e aos meus pais por todo o apoio e ajuda que sempre me deram.

Deixo um especial agradecimento ao meu orientador, Professor Rosaldo Rossetti, pela fantástica oportunidade de poder trabalhar com ele, pelos seus conselhos, compreensão e acompanhamento.

Queria também agradecer ao Professor Carlos Rodrigues do Departamento de Engenharia Civil pela cedência do laboratório do simulador de condução, e toda a disponibilidade, ajuda e esclarecimentos prestados pelo Professor Miguel Leitão e pelo Carlos Campos.

Faço um especial agradecimento aos Professores Eugénio Oliveira, Augusto de Sousa, Henrique Lopes Cardoso e Ana Paula Rocha, pela sua compreensão na mudança do tema da dissertação, e por toda a sua amabilidade, disponibilidade, ajuda e dedicação ao longo de todo o curso.

Por último, mas não menos importante, deixo um agradecimento a todos professores, funcionários e colegas que de alguma forma contribuíram ou ajudaram neste trajeto.

Patrícia Raquel de Jesus Araújo Alves



*“A dúvida é o princípio da sabedoria.”*

Aristóteles



# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>1</b>
1.1	Motivação e Objetivos.....	2
1.2	Estrutura da Dissertação .....	3
<b>2</b>	<b>Conceitos e Revisão da Literatura.....</b>	<b>5</b>
2.1	Os Simuladores de Condução .....	5
2.1.1	Classificação .....	6
2.1.2	Controlabilidade.....	7
2.1.3	Situações e condições perigosas.....	8
2.1.4	Estudos com simuladores de condução.....	8
2.1.5	Validade dos simuladores de condução .....	9
2.1.6	Simuladores de baixo custo.....	12
2.2	Sistemas de Informação Embutidos no Veículo (IVIS).....	13
2.2.1	Heads-Up Displays (HUD) .....	14
2.2.2	Sistemas Avançados de Auxílio ao condutor (ADAS) e Trabalho Prévio Realizado .....	16
2.3	Sumário.....	18
<b>3</b>	<b>Metodologia .....</b>	<b>19</b>
3.1	Equipamento utilizado .....	20
3.1.1	Simulador de Médio Custo .....	20
3.1.2	Simulador de Baixo Custo .....	22
3.2	Desenho do HUD.....	23
3.3	Programação do HUD.....	26
3.3.1	Simulador de Médio Custo .....	27
3.3.2	Simulador de Baixo Custo .....	28
3.4	Registo das Métricas.....	29
3.5	Sumário.....	31
<b>4</b>	<b>Validação Experimental com Condutores .....</b>	<b>33</b>
4.1	Cenário das simulações.....	33

## Conteúdo

4.2	Preparação do Cenário nos Simuladores.....	36
4.2.1	Simulador de Médio Custo .....	36
4.2.2	Simulador de Baixo Custo .....	38
4.3	Experiências de Simulação .....	40
4.3.1	Metodologia de Recolha dos Dados.....	40
4.3.2	Caracterização dos Participantes.....	41
4.3.3	Descrição das Experiências.....	44
4.4	Análise dos Resultados das Experiências .....	46
4.4.1	Avaliação do Cumprimento da Distância de Segurança .....	47
4.4.2	Avaliação do Tempo de Reação às Informações no HUD.....	53
4.5	Análise das respostas subjetivas .....	55
4.5.1	Análise do Impacto dos Simuladores no Condutor.....	55
4.5.2	Avaliação do HUD.....	56
4.5.3	Controlo do carro .....	60
4.5.4	Análise da Imersividade dos Simuladores .....	61
4.5.5	Opinião Livre dos Condutores .....	62
4.6	Sumário.....	65
<b>5</b>	<b>Conclusões.....</b>	<b>67</b>
5.1	Considerações Finais .....	68
5.2	Propostas de Melhoria e Trabalho Futuro.....	69
	<b>Referências.....</b>	<b>71</b>
<b>A</b>	<b>Detalhe das Implementações .....</b>	<b>79</b>
<b>B</b>	<b>Guião .....</b>	<b>81</b>
<b>C</b>	<b>Questionários.....</b>	<b>83</b>
<b>D</b>	<b>Tabelas de Dados.....</b>	<b>91</b>

# Lista de Figuras

Figura 1. Imagem do NADS, considerado um dos simuladores de condução mais avançados do mundo (NHTSA 2013).....	6
Figura 2. Exemplo da modelação de um cenário com base numa estrada real (Yan et al. 2008).	7
Figura 3. Exemplo de uma linha de paragem no simulador de condução do Centro de Pesquisa Nissan, para estudo da perceção da distância (Boer, Kuge, e Yamamura 2001). ....	11
Figura 4. Imagem de uma simulação para o teste do desempenho na condução durante o uso de um telefone (Reed e Green 1999).....	12
Figura 5. Simuladores de condução de médio custo e de baixo custo, no estudo efetuado por Jamson e Jamson (2010). ....	13
Figura 6. <i>Heads-Up Display</i> do BMW X6 (BMW 2012). ....	15
Figura 7. HUD de um BMW série 5 (WardsAuto 2006). ....	15
Figura 8. Símbolos propostos para o aviso de violação da distância de segurança no trabalho prévio realizado (Alves et al. 2013). ....	17
Figura 9. Sinalização escolhida para representação das metáforas propostas no trabalho prévio realizado (Alves et al. 2013). ....	17
Figura 10. Planta do laboratório do DriS (escala 1:100), (Jacob 2005). ....	21
Figura 11. Diagrama de instalação ( <i>deployment diagram</i> ) do sistema de simulação do DriS....	21
Figura 12. Fotografias do simulador de condução, DriS.....	22
Figura 13. Fotografia do interior do DriS. ....	22
Figura 14. Fotografia dos sistemas de simulação da sala de controlo.....	22
Figura 15. Diagrama de instalação do simulador de baixo custo. ....	23
Figura 16. Fotografia do sistema de simulação de baixo custo montado. ....	23
Figura 17. Representação do <i>layout</i> do HUD implementado, retirado de Liu e Wen (2004). ....	24
Figura 18. Esquemas visuais implementados no HUD para as experiências. ....	24
Figura 19. Imagem do HUD desenvolvido com toda a informação possível.....	25
Figura 20. Correlação entre a distância de paragem e a velocidade de circulação.....	26
Figura 21. Fotografia do jogo desenvolvido em Unity 3D.....	29
Figura 22. Esboço preliminar do circuito planeado para as experiências de simulação. ....	34

## Lista de Figuras

Figura 23. Fotografia de um momento de uma simulação de teste, tirada a partir do interior do DriS. ....	37
Figura 24. Fotografia de um dos testes do DriS. ....	38
Figura 25. <i>Screenshots</i> do jogo desenvolvido no Unity 3D. ....	39
Figura 26. Idade dos participantes nas experiências de simulação. ....	41
Figura 27. Distribuição das profissões dos participantes. ....	42
Figura 28. Área da profissão dos participantes. ....	42
Figura 29. Anos de experiência de condução dos participantes. ....	43
Figura 30. Caracterização dos participantes em termos de frequência de condução no último ano. ....	43
Figura 31. Número de km já percorridos como condutor por cada participante. ....	44
Figura 32. Respostas dos participantes a algumas das questões no questionário pré-simulação. ....	45
Figura 33. Fotografia de um dos participantes durante a simulação no DriS. ....	46
Figura 34. Fotografia de um dos participantes durante a simulação no computador. ....	46
Figura 35. Distância média de cada participante ao veículo de referência, em metros, ao longo dos ensaios no simulador de médio custo, com e sem HUD. ....	47
Figura 36. Distância média de cada participante ao veículo de referência, em metros, ao longo dos ensaios no simulador de baixo custo, com e sem HUD. ....	48
Figura 37. Comparação da distância ao veículo da frente com e sem HUD para o participante 1 no DriS. ....	49
Figura 38. Comparação da distância ao veículo da frente com e sem HUD para o participante 1 no simulador de baixo custo. ....	50
Figura 39. Variação da velocidade do $car_{host}$ e do $car_{ref}$ ao longo do tempo, na situação sem HUD, para o simulador de médio custo. ....	51
Figura 40. Variação da velocidade do $car_{host}$ e do $car_{ref}$ ao longo do tempo, na situação com HUD, para o simulador de médio custo. ....	51
Figura 41. Variação da velocidade do $car_{host}$ e do $car_{ref}$ ao longo do tempo, com e sem HUD, para o simulador de baixo custo. ....	52
Figura 42. Respostas dos participantes às questões de avaliação do bem-estar durante as simulações. ....	55
Figura 43. Respostas às questões dos grupos 2 e de parte do grupo 3 do questionário pós-simulação para avaliação do HUD. ....	56
Figura 44. Respostas às questões de parte do grupo 3 do questionário pós-simulação para avaliação do HUD. ....	57
Figura 45. Respostas às questões do grupo 4 do questionário pós-simulação para avaliação do HUD. ....	58
Figura 46. Respostas às questões do grupo 6 do questionário pós-simulação para avaliação do HUD. ....	59

## Lista de Figuras

Figura 47. Respostas às questões do grupo 5 do questionário pós-simulação para avaliação do controle do carro. ....	60
Figura 48. Respostas às questões do grupo 8 do questionário pós-simulação para avaliação do controle do carro. ....	61
Figura 49. Respostas às questões do grupo 7 do questionário pós-simulação para avaliação da imersividade dos simuladores. ....	61
Figura 50. Número de violações da distância de segurança, por participante, no simulador de condução de médio custo, com e sem HUD.....	96
Figura 51. Número de violações da distância de segurança, por participante, no jogo, com e sem HUD. ....	97
Figura 52. Tempo de reação ao aviso de excesso de velocidade para cada participante, em cada simulador.....	104
Figura 53. Tempo de reação ao aviso de violação da distância de segurança para cada participante, em cada simulador.....	105



# Lista de Tabelas

Tabela 1. Descrição das principais classes implementadas na criação do HUD.....	27
Tabela 2. Descrição dos comportamentos do carro de referência ao longo do trajeto. ....	35
Tabela 3. Resumo das características do cenário implementado nos simuladores.....	40
Tabela 4. Comparação da percentagem de violações do aviso de violação da distância de segurança entre géneros, para cada simulador. ....	53
Tabela 5. Resumo das respostas às questões de resposta livre do questionário pós-simulação, para avaliação da opinião pessoal dos condutores sobre os simuladores. ....	62
Tabela 6. Detalhes da implementação do HUD e do cenário para o simulador de baixo custo. .	79
Tabela 7. Número de violações do aviso de violação da distância de segurança por participante, em cada simulador.....	91
Tabela 8. Tabela ANOVA para o número médio, $\mu$ , de violações do aviso de violação da distância de segurança com HUD, entre os simuladores.....	92
Tabela 9. Tabela ANOVA para o número médio, $\mu$ , de violações do aviso de violação da distância de segurança sem e com HUD para o simulador de condução de médio custo. ..	93
Tabela 10. Tabela ANOVA para o número médio, $\mu$ , de violações do aviso de violação da distância de segurança sem e com HUD para o jogo. ....	93
Tabela 11. Distância média, $\mu$ , ao carro de referência para cada participante, em cada simulador. .....	94
Tabela 12. Tabela ANOVA para a distância média, $\mu$ , ao carro de referência, entre os simuladores. ....	95
Tabela 13. Tempo de reação ao aviso de excesso de velocidade para cada participante, em cada simulador (a vermelho os valores excluídos). ....	98
Tabela 14. Tabela ANOVA para o tempo de reação médio, $\mu$ , ao aviso de excesso de velocidade, entre os simuladores.....	99
Tabela 15. Tabela ANOVA para o tempo de reação médio, $\mu$ , ao aviso de violação da distância de segurança, entre simuladores.....	99
Tabela 16. Tempo de reação ao aviso de violação da distância de segurança para cada participante, em cada simulador (a vermelho os valores excluídos). ....	100

## Lista de Tabelas

Tabela 17. Tabela ANOVA do tempo de reação médio, $\mu$ , ao aviso de excesso de velocidade entre géneros para o simulador de médio custo. ....	101
Tabela 18. Tabela ANOVA do tempo de reação médio, $\mu$ , ao aviso de excesso de velocidade entre géneros para o jogo. ....	101
Tabela 19. Tabela ANOVA do tempo de reação médio, $\mu$ , ao aviso de violação da distância de segurança entre géneros para o simulador de médio custo.....	102
Tabela 20. Tabela ANOVA do tempo de reação médio, $\mu$ , ao aviso de violação da distância de segurança entre géneros para o jogo.....	102

# Glossário e Abreviaturas

ADAS	<i>Advanced Driver Assistance Systems</i> , sistemas avançados de auxílio ao condutor.
ANOVA	<i>Analysis of Variance</i> , análise de variância.
Car <sub>host</sub>	Carro conduzido pelos participantes e que tinha embutido no para-brisas o HUD.
Car <sub>ref</sub>	Carro que circulava à frente do Car <sub>host</sub> .
Cinestésico	O mesmo que proprioceptivo.
debug	Processo metódico de encontrar defeitos num programa de computador.
Deployment diagram	Diagrama de instalação.
Diagrama de cromatância CIE	Diagrama de cores baseado nas cores primárias R ( <i>red</i> ), G ( <i>green</i> ) e B ( <i>blue</i> ), definido pela Commission Internationale de l'Éclairage (CIE), e que representa todas as cores visíveis que o olho humano consegue interpretar.
Direção egocêntrica	Direção de um objeto no espaço em relação ao observador.
DriS	<i>Driving Simulator</i> , simulador de condução de base fixa do Departamento de Engenharia Civil da FEUP.
FCW	<i>Forward Collision Warning</i> , Aviso de colisão frontal.
Flag	Variável utilizada na programação para o controlo de estados.
Fluxo ótico	Padrão do movimento aparente dos objetos, superfícies e arestas numa cena visual causado pelo movimento relativo entre o observador e a cena.
Framework	Plataforma de <i>Software</i> , universal e reutilizável, para o desenvolvimento de aplicações.
HDD	<i>Heads-Down Display</i> , oposto do HUD.
HUD	<i>Heads-Up Display</i> , qualquer dispositivo transparente capaz de apresentar informação sem necessidade dos utilizadores desviarem o olhar do seu campo de visão.
IC-DEEP	<i>In-Car Ergonomics Evaluation Platform</i>

## Glossário e Abreviaturas

IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
IVIS	<i>In-Vehicle Information Systems</i> , sistemas de informação embutidos no veículo.
LIACC	Laboratório de Inteligência Artificial e Ciência dos Computadores
MVC	Arquitetura <i>Model-View-Controller</i>
Offset	Deslocamento
Paralaxe do movimento	Movimento diferencial de pares de pontos como resultado das suas diferentes profundidades em relação ao ponto de fixação e ao deslocamento do observador.
PC	<i>Personal Computer</i> , computador pessoal.
Propriocetivo	Que dá a percepção ou sensibilidade da posição, deslocamento, equilíbrio, peso e distribuição do próprio corpo e das suas partes.
RA	Realidade Aumentada
timestamp	Registo com a data e hora de cada momento de uma simulação.
TTC	<i>Time To Collision</i> , tempo para a colisão.
UDP	<i>User Datagram Protocol</i> , protocolo de transporte de informação na rede.
Validade ecológica	Em investigação, a validade ecológica de um estudo significa que os materiais, métodos e configurações do estudo devem aproximar-se do mundo real que está a ser estudado (Brewer 2000).
Waypoint	Ponto de passagem

# Capítulo 1

## Introdução

A evolução dos veículos motorizados e a quantidade de estradas construídas têm vindo a crescer, aumentando o número de fatores (conhecidos ou não) que podem levar a acidentes ou afetar a segurança na estrada. O desconhecimento desses fatores e/ou o uso de novas tecnologias nos veículos tem criado uma necessidade crescente de estudos baseados em simuladores de condução, de forma a testar e validar essas tecnologias, ou a conhecer as causas de determinados acidentes ou falhas de segurança, entre outras situações. Por exemplo, o aumento da esperança média de vida tem levado ao aumento do número de doenças e incapacidades associadas à idade (Boyle e Lee 2010), e como consequência, ao aumento de acidentes relacionados com a idade dos condutores. A urbanização crescente está a trazer veículos para áreas com infraestruturas de estrada limitadas, trazendo potenciais impactos para a segurança dos condutores (Boyle e Lee 2010). Nos países em desenvolvimento, como a China e Índia, o aumento dramático de veículos motorizados tem sido associado com o aumento substancial de fatalidades na estrada, mais do que em países desenvolvidos (Boyle e Lee 2010). Previsões mostram que as fatalidades relacionadas com a condução irão aumentar 66% em 2020, com uma diminuição de 28% das fatalidades em países desenvolvidos, e aumentando dramaticamente em países como a China (92%) e Índia (147%) (Kopits e Cropper 2005).

Os simuladores de condução têm, por isso, vindo a ter um papel cada vez mais importante e determinante, e assim como os simuladores de voo, têm sido amplamente utilizados para treinos, para o desenho de veículos e estradas, para examinar o impacto de diferenças individuais e estado dos condutores, ou investigação da segurança (Yan et al. 2008, Boyle e Lee 2010). Os simuladores tornam possível replicar cenários em ambientes extremamente controlados, podendo ser um meio muito eficiente de estudar eventos raros (Boyle e Lee 2010). Com a evolução das tecnologias, os simuladores de alta-fidelidade têm preços cada vez mais suportáveis, uma dinâmica dos veículos cada vez mais realista, e podem renderizar cenas altamente representativas (Boyle e Lee 2010). São exemplo do poder dos simuladores de

condução os estudos que têm sido feitos, como por exemplo a análise de situações difíceis de medir num estudo de condução na realidade da estrada, tais como: medir comportamentos individuais influenciados pela noite, dia ou chuva (Konstantopoulos, Chapman, e Crundall 2010); estudar as diferenças no desempenho da condução em condutores com e sem Transtorno por Défice de Atenção e Hiperatividade enquanto desempenham diferentes tarefas (Reimer et al. 2010); entre muitos outros, alguns dos quais serão oportunamente referidos no Capítulo 2.

Com o objetivo de proporcionar uma condução mais segura, têm vindo a ser integrados nos automóveis sistemas avançados de auxílio de condução (ADAS<sup>1</sup>), como os sistemas de aviso de colisão frontal (FCW<sup>2</sup>), de deteção de desvios longitudinais da estrada, entre outros. Quando embutidos num *Heads-Up Display* (HUD) no para-brisas de automóveis, estes sistemas tornam-se ainda mais vantajosos, evitando que o condutor tenha de desviar os olhos da estrada para verificar o painel de instrumentos ou computador de bordo, sendo uma realidade cada vez mais comum nos veículos recentes (Green 1999, Dingus et al. 1989). No entanto, a perceção das imagens projetadas num HUD nem sempre é intuitiva, podendo levar a más interpretações (Charissis e Naef 2007). Torna-se por isso também de grande importância realizar testes de simulação com HUD, por exemplo para detectar ou avaliar possíveis problemas de interpretação, que nem sempre são fáceis de conseguir quando se procura um baixo custo e um ambiente realista.

### 1.1 Motivação e Objetivos

Dada a importância dos simuladores de condução, dos HUD, e dos estudos que neles podem ser feitos, com este trabalho pretendeu-se saber até que ponto um simulador de baixo custo (baseando num PC com um motor de jogo) pode ser utilizado em detrimento de um simulador de condução de médio custo<sup>3</sup>, em que ambos incluíam a simulação de um HUD integrado no para-brisas do automóvel, com o objetivo de analisar se:

- É possível avaliar a perceção humana do HUD usando um simulador de baixo custo;
- A qualidade do HUD implementado no simulador de baixo custo é suficientemente próxima da qualidade de um HUD no simulador de médio custo, tornando possível a sua utilização em testes de simulação de condução;
- O jogo desenvolvido é imersivo o suficiente para que possa substituir o ambiente de condução num simulador de médio custo e permitir o teste de HUD;
- É possível estabelecer uma equivalência entre o simulador de baixo custo e o simulador de médio custo.

---

<sup>1</sup> Do inglês *Advanced Driver Assistance Systems*.

<sup>2</sup> Do inglês *Forward Collision Warning*.

<sup>3</sup> A definição e classificação dos simuladores de condução pode ser encontrada em 2.1.1.

## Introdução

Outro interesse deste estudo prendeu-se com a necessidade de se conseguir fazer simulações de baixo custo e que possam ser efetuadas de forma mais distribuída, o que não é possível usando um simulador de condução mais complexo, como um de médio custo, que tem de estar fixo num local devido às suas dimensões e todo o equipamento que implica (ver ponto 2.1.1). A possibilidade de fazer simulações de condução fiáveis em grande escala, baseadas num PC com um motor de jogo, seria uma conquista, uma vez que hoje em dia ter um computador e um volante em casa é mais acessível, podendo-se distribuir mais facilmente aplicações de simulação em computador para fins de investigação.

Para cumprir os objetivos propostos, desenvolveu-se e implementou-se um protótipo de um HUD, em Java, e planeou-se um cenário para a realização de testes de condução em ambos os simuladores. O cenário em cada simulador foi implementado usando linguagens de programação e ferramentas distintas (C#, C, JavaScript, Unity 3D), uma vez que os simuladores corriam em plataformas diferentes. Para o estudo da perceção do HUD, foi desenvolvido um sistema de aviso de colisão frontal que indicava a violação da distância de segurança, e um aviso de excesso do limite de velocidade da estrada. Os testes de condução foram rigorosamente planeados e realizados com participantes reais (35 pessoas) de ambos os sexos, tendo-se conseguido obter dados bastante conclusivos sobre a utilização de simuladores de baixo custo para o estudo de HUD.

## 1.2 Estrutura da Dissertação

O restante documento está organizado da seguinte forma: no Capítulo 2 são explicados os conceitos por trás deste estudo e descritos os trabalhos existentes mais relevantes (estado da arte). O Capítulo 3 descreve a metodologia seguida para o presente estudo, incluindo o equipamento das simulações, o método utilizado para o desenho e programação do HUD para cada simulador, e as métricas mais relevantes para o estudo. No Capítulo 4 é feita a descrição dos passos seguidos para a validação experimental dos simuladores com participantes. É aqui que são apresentados: o cenário planeado para as simulações, todos os detalhes de implementação do cenário e do HUD em cada simulador, as experiências de simulação, os resultados do tratamento dos dados obtidos nas simulações e a sua análise. Por último, o Capítulo 5 apresenta as conclusões tiradas e sugestões de trabalho futuro.



## Capítulo 2

# Conceitos e Revisão da Literatura

Para um melhor enquadramento nos temas abordados, este capítulo apresenta os conceitos relacionados com o presente trabalho, e a revisão da literatura mais relevante. Primeiro são abordados os conceitos sobre simuladores de condução, a sua validade e alguns estudos realizados mais relevantes. Por último, são apresentados os sistemas de informação embutidos em veículos (IVIS<sup>1</sup>) e a sua utilização em HUD, assim como o trabalho prévio que foi utilizado como caso de estudo na dissertação.

### 2.1 Os Simuladores de Condução

Nos últimos anos a evolução da engenharia eletrónica e dos computadores tem proporcionado o desenvolvimento e melhoria das tecnologias de simulação, estando a ser usados cada vez mais simuladores de condução no processo de desenho de veículos e de estradas, em estudos da segurança na estrada, de distrações na condução, de evitação de acidentes, em treino de condutores e de cenários de condução, entre outros. Como estudos de campo com veículos instrumentados são potencialmente perigosos por diversas razões, pois os condutores participantes têm de ser protegidos de situações de trânsito perigosas e o trânsito em redor não pode ser controlado, entre outros fatores, são considerados como um último recurso (Santos et al. 2005). Por isso, a utilização de simuladores de condução é considerada como uma alternativa muito mais conveniente e segura (Santos et al. 2005, Jamson e Jamson 2010, Yan et al. 2008, Nilsson 1993, Bella 2008, Ferreira et al. 2008), sendo uma realidade cada vez mais comum.

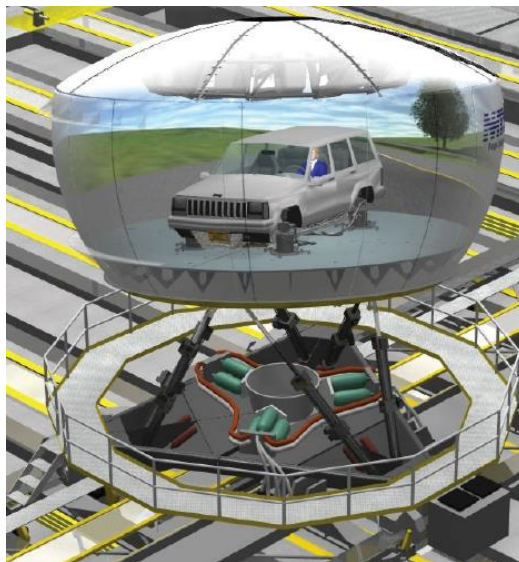
---

<sup>1</sup> Do inglês *In-Vehicle Information Systems*.

### 2.1.1 Classificação

Os simuladores de condução são um conjunto de ferramentas e equipamentos, desde um simples computador pessoal ligado a um ecrã, a carros reais alterados e equipados dentro de um laboratório, sobre uma base fixa ou móvel, com gráficos avançados em ecrãs gigantes, que permitem a condução de um veículo simulado em cenários virtuais especialmente concebidos para o efeito.

Os simuladores de condução variam consideravelmente em sofisticação e custo. Uma forma vulgarmente aceite para classificar os simuladores é a de sistemas de baixo, médio e alto custo (Weir e Clark 1995). De acordo com os mesmos autores, um simulador de médio custo é definido como sendo um simulador que tenha um grande ecrã para mostrar a cena da estrada, compreendendo gráficos animados por computador. Pode ter um sistema de movimento ou uma base fixa, deve ter uma cabine dedicada com um sistema de sensação da direção, controlos e ecrãs interativos. Tem um modelo de dinâmica do veículo parametricamente configurável, e permite a aquisição de dados das simulações. Um simulador de baixo custo é geralmente baseado num PC, com um ecrã pequeno comparativamente ao de médio custo, e os controlos resumem-se a um volante com pedais e possivelmente caixa de velocidades.



**Figura 1.** Imagem do NADS, considerado um dos simuladores de condução mais avançados do mundo (NHTSA 2013).

Um dos simuladores de condução mais complexos e avançados que existem é o National Advanced Driving Simulator (NADS), tendo sido desenvolvido de 1996 a 2001 pela National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), na Universidade de Iowa nos Estados

Unidos, para a investigação de fatores humanos no comportamento de condutores (ver Figura 1). Este simulador é de alto custo, sendo constituído por uma cúpula com a cabine de um veículo no interior, a qual está presa a um prato giratório motorizado que permite a rotação da cúpula e a simulação de diferentes condições de condução. O prato tem movimento em seis eixos e a cúpula tem ecrãs a toda a volta, perfazendo 360° (NHTSA 2013).

### 2.1.2 Controlabilidade

Os estudos com simuladores trazem muitas vantagens sobre os estudos no mundo real, sendo uma delas a sua versatilidade (Jamson e Jamson 2010). De facto, os simuladores de condução podem ser mais facilmente e economicamente configurados do que um veículo instrumentado, podendo ser criados cenários virtuais controláveis e repetíveis (ver Figura 2) para corresponderem aos requisitos de um estudo em particular (Kaptein, Theeuwes, e Van Der Horst 1996). Tal como os métodos laboratoriais em geral, os simuladores podem oferecer alta precisão, fiabilidade, controlabilidade, repetibilidade e reprodutibilidade, fatores muito importantes em análise comportamental (Yan et al. 2008, Nilsson 1993, Kaptein, Theeuwes, e Van Der Horst 1996, Rossetti et al. 2008). Uma ou mais variáveis podem ser variadas facilmente de forma sistemática enquanto outras são mantidas constantes, tornando os simuladores de condução altamente convenientes para estudos de efeitos comparativos (Nilsson 1993). Porque as condições ambientais e experimentais podem ser constantes, expondo todos os condutores a circunstâncias idênticas, o número de participantes necessário para alcançar o mesmo poder estatístico nos resultados é menor que para os estudos de campo (Nilsson 1993).



**Figura 2.** Exemplo da modelação de um cenário com base numa estrada real (Yan et al. 2008).

Muitos fatores jogam a favor dos simuladores de condução: possibilidade de manipulação das condições ambientais tais como a altura do dia (De Valck et al. 2006), as condições climáticas, como por exemplo o nevoeiro (Broughton, Switzer, e Scott 2007) e o estado da superfície da estrada (Peltola 2002); possibilidade de alteração das características do veículo conduzido, tais como a construção dos pneus (Pacejka e Besselink 1997), o desenho da suspensão (Sayers e Han 1996) ou da direção (Jamson, Whiffin, e Burchill 2007); entre muitas outras possibilidades e configurações.

O maior controlo experimental, eficiência, menor custo, segurança, e maior facilidade na recolha dos dados (Nilsson 1993, Yan et al. 2008, Bella 2008) são muitas das vantagens dos simuladores de condução sobre os veículos instrumentados, procurando-se cada vez mais fazer estudos com esse tipo de simuladores. Apesar das inúmeras vantagens que os simuladores de condução proporcionam, também têm desvantagens e problemas de validade associados. O ponto 2.1.5 é dedicado à exposição desses problemas e desvantagens que podem advir do uso dos simuladores de condução.

### **2.1.3 Situações e condições perigosas**

As exigências do sistema de trânsito atual podem ser muito elevadas e difíceis de lidar, um facto que às vezes leva os condutores a passar por situações indesejadas ou críticas. Intervalos curtos de tempo para a deteção, decisão e atuação devido a grandes velocidades e situações de tráfego complexas, e em cada vez mais crescente número de distrações na estrada, são razões que podem levar a essas situações. Num simulador, o comportamento do condutor em situações exigentes pode ser investigado até ao ponto de situações críticas, e inclusive até em situações de colisão e condução fora da sua faixa ou estrada, e por isso, as ações do condutor nestas situações podem ser facilmente monitorizadas. Tal monitorização gera conhecimento sobre o comportamento e dificuldades do condutor, constituindo uma base valiosa para a investigação (Nilsson 1993, Rossetti e Bampi 1999). Apesar de os simuladores de condução facilitarem estas investigações, o facto dos condutores estarem conscientes de não serem situações realmente perigosas, não afetará o seu comportamento? Estas e outras questões são colocadas no ponto 2.1.5 que discute a validade dos simuladores de condução.

### **2.1.4 Estudos com simuladores de condução**

Há já mais de quatro décadas que têm sido realizados imensos estudos com diversos intuitos, muitos dos quais para procurar uma melhor compreensão dos condutores e dos perigos que podem acontecer numa estrada, com o objetivo de tornar a condução cada vez mais segura.

Por exemplo, segundo Nilsson (1993), um simulador de condução é provavelmente o único método de estudar a *performance* dos condutores sob a influência de álcool e drogas. Outros exemplos de estudos que têm sido feitos são os de estudar: acidentes relacionados com adormecer ao volante, para determinar as suas causas e possível prevenção (Petit et al. 1990, Lisper, Laurell, e Van Loon 1986, McCartt et al. 2000, Lyznicki et al. 1998, Horne e Reyner 1999, Sagberg 1999, Reyner e Horne 1998, Horne e Reyner 1995, Hobson et al. 2002, Nordbakke e Sagberg 2007); disfunções médicas relacionadas com defeitos no campo visual (Owsley et al. 1998, Wood e Troutbeck 1994, Johnson e Keltner 1983, Lövsund, Hedin, e Törnros 1991); o efeito das marcações no pavimento das estradas (Horberry, Anderson, e Regan 2006, Charlton 2007); a interpretação dos sinais de trânsito (Dutta, Fisher, e Noyce 2004, Jamson, Tate, e Jamson 2005); manobras de ultrapassagem (Jenkins e Rilett 2005, Farah, Bekhor, e Polus 2009); a distração na condução devido ao uso de telemóveis (Strayer, Drews, e Johnston 2003, Horrey e Wickens 2006, Rakauskas, Gugerty, e Ward 2004, Alm e Nilsson 1995, 1994, Reed e Green 1999); entre muitos outros.

Muitos estudos, alguns considerados pouco éticos e difíceis de concretizar numa situação de tráfego real, podem por isso ser conseguidos com os simuladores.

### **2.1.5 Validade dos simuladores de condução**

Qualquer que seja o orçamento disponível, a validade de um simulador é sempre discutível, uma vez que a complexidade do mundo real nunca pode ser replicada na sua totalidade (Jamson e Jamson 2010), pelo menos para já.

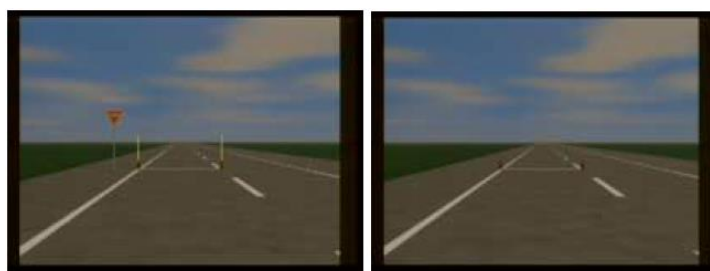
Com o objetivo de recriar artificialmente ambientes de condução realistas, os designers de simuladores têm-se esforçado para reproduzir o melhor possível as qualidades visuais, sonoras e cinestésicas do mundo envolvente. Com isto surgem várias questões: citando Jamson e Jamson (2010), como “os participantes estão claramente conscientes de que não estão expostos a qualquer perigo físico, até que ponto a simulação de condução os absorve?”, “Quão real é a experiência de simulação para eles?”, “o simulador é “emocionalmente” válido?”. E quanto à validade “física”? “Como é que o comportamento dinâmico do simulador corresponde ao veículo que está a imitar?”, “aplicações similares dos controlos do condutor induzem o mesmo desempenho no veículo simulado como seria de esperar no mundo real?”. Quanto mais próximo da condução real está um simulador na forma como é conduzido, como os estímulos são apresentados, e como reage fisicamente a esse estímulo, maior a sua fidelidade (Triggs 1996). Um simulador de base móvel é por isso frequentemente assumido como tendo maior validade física do que um simulador de base fixa (Godley, Triggs, e Fildes 2002). E a validade “facial”? Voltando a Jamson e Jamson (2010), “Como é que o simulador é percebido em termos da sua aparência e toque?”, “o interior do veículo e os controlos assemelham-se aos do veículo

real?”. Os mesmos autores referem ainda que a validade “perceptual” também deve ser considerada, i.e., “será que os condutores adquirem as capacidades oculares, auditivas e proprioceptivas apropriadas para conseguirem fazer estimativas precisas da distância, velocidade e aceleração?”. Finalmente, e a considerada mais importante pelos autores, é a validade comportamental: “será que a percepção do ambiente por um condutor leva a um controlo do veículo comparável sob ambas as condições naturais e simuladas?”. Já em 1982, Blaauw (1982) argumentou que o método mais compreensivo de fazer uma validação comportamental em simuladores é fazendo uma comparação entre conduzir num simulador e num carro real, usando tarefas o mais similares possíveis nos dois ambientes.

Consequentemente, existem vários estudos, inclusive já desde a década de 70, que questionam e procuram validar os simuladores de condução. Neale e Liebert (1973) criticam os simuladores como método de recolha de dados por falta de validade ecológica, uma vez que as pressões sociais e motivacionais da condução no dia-a-dia são removidas. A avaliação da velocidade do veículo e a estimativa da distância entre os veículos é uma capacidade essencial para a segurança da condução e realização de manobras, como por exemplo ultrapassar ou evitar colisões (Michon 1985). De acordo com Gogel e Tietz (1979), estas capacidades exigem a representação exata do próprio movimento a partir do fluxo ótico e da direção egocêntrica. Como é referido por Jamson e Jamson (2010), estudos demonstram que em ambientes simulados os participantes tendem a subestimar a sua velocidade (Howarth 1999, Groeger et al. 1999), observando-se em muitos casos maiores velocidades e variações de velocidade do que em condições naturais (Blana e Golias 1999, Godley, Triggs, e Fildes 2002, Duncan 1998, Riemersma et al. 1990, Alicandri, Roberts, e Walker 1986). Esta diferença de velocidades é, entre outros fatores, sensível ao contraste da imagem simulada (Blakemore e Snowden 1999), à quantidade de texturas (Blakemore e Snowden 2000), ao brilho do projetor (Takeuchi e De Valois 2000) e ao campo de visão no geral (Jamson 2000). A estimativa da distância também se deve a uma série de fatores, tendo, a título exemplificativo, Bremmer e Lappe (1999) estudado o fluxo ótico, Howard (1995) a disparidade e Rogers e Graham (1979) a paralaxe do movimento. De facto, vários estudos mostram que existe uma subestimativa da distância, como são exemplo os estudos efetuados por Groeger et al. (1999), e Boer, Kuge, e Yamamura (2001), revelando que o sistema nervoso central é capaz de inferir a distância absoluta de forma menos eficiente num ambiente virtual do que em condições reais. Por exemplo, em muitos simuladores a movimentação da cabine de simulação não é reproduzida, como é o caso dos simuladores de base fixa. Como os condutores de simuladores percebem a distância, velocidade, tempo para a colisão e acelerações de forma escalada, necessitam de adaptar o seu comportamento e redefinir os seus critérios de decisão e controlo para conseguirem ter de novo um comportamento eficiente, seguro e confortável (Boer, Kuge, e Yamamura 2001).

Outra situação que costuma acontecer nas simulações de condução é a experiência de enjoos ou tonturas durante a condução, e até após (LaViola Jr 2000), começando a surgir estudos para minimizar esse desconforto. Como é sugerido por Duh, Parker, e Furness (2004), colocar objetos estacionários na cena visual permite identificar no ambiente que outros objetos são estacionários e quais estão em movimento. Aqueles que não conseguem fazer esta identificação têm mais probabilidade de experimentar os referidos enjoos.

Existem por isso muitos fatores, alguns talvez até desconhecidos, que fazem com que os simuladores de condução ainda não consigam refletir completamente a realidade, sendo um grande desafio conseguir que estes sejam uma cópia exata do veículo e ambiente que pretendem simular.



**Figura 3.** Exemplo de uma linha de paragem com sinal de stop (esquerda) e sem sinal de stop (direita) a uma distância de 20m no simulador de condução do Centro de Pesquisa Nissan, para estudo da percepção da distância (Boer, Kuge, e Yamamura 2001).

A comparação de diferentes tipos de simulador de condução é pois crucial para se conseguir validá-los: é exemplo o estudo feito por Godley, Triggs, e Fildes (2002), onde procuraram validar um simulador de base fixa, comparativamente a um carro instrumentado, para avaliação das medidas que podem ser tomadas em casos de excesso de velocidade. Santos et al. (2005) compararam resultados entre dois simuladores de condução de base fixa e um veículo real instrumentado, com o objetivo de comparar um teste de desempenho visual padronizado. Törnros (1998) pretendeu validar o comportamento dos condutores em termos de velocidade e posição lateral na estrada, tendo utilizado um carro instrumentado e um simulador de condução de base fixa. Reed e Green (1999) compararam o desempenho da condução num veículo instrumentado e num simulador de condução de base fixa, enquanto eram efetuadas tarefas com um telefone (Figura 4). Para também validar um simulador de condução de base fixa, Bella (2008) conduziu um estudo de avaliação da velocidade em estradas rurais de duas faixas, fazendo a comparação com um veículo instrumentado. Por exemplo, Yan et al. (2008) conseguiram validar um simulador de condução de alto custo (base móvel) como sendo uma ferramenta válida para identificar problemas de segurança no trânsito em interseções

sinalizadas, tudo isto para permitir a procura de medidas que possam reduzir os acidentes em localizações de alto risco.



**Figura 4.** Imagem de uma simulação para o teste do desempenho na condução durante o uso de um telefone (Reed e Green 1999).

### **2.1.6 Simuladores de baixo custo**

Em especial quando se pretende fazer estudos em pequena escala, como durante estudos piloto ou quando os efeitos comportamentais não são completamente compreendidos, os simuladores de baixo custo podem-se revelar benéficos, se o orçamento ou tempo forem reduzidos (Jamson e Jamson 2010). Este tipo de simuladores permite investigar situações básicas de condução que possam ser realizadas em ambientes muito menos imersivos (Jamson e Jamson 2010).

Torna-se por isso importante conseguir validar um simulador deste tipo, para se saber em que tipo de situações pode ser utilizado em vez de outros simuladores mais complexos e caros. Foi este um dos objetivos do presente estudo (ver ponto 1.1).

Existem alguns casos de estudo de simuladores de baixo custo, no entanto, de acordo com Jamson e Jamson (2010), apenas tem havido tentativas limitadas para investigar o compromisso entre o custo de montagem e a validade de um simulador. Estes autores referem Jamson e Mouta (2004), que sugerem a aplicação de uma “lei dos rendimentos decrescentes”, ou seja, “embora o investimento num simulador de médio custo possa fornecer ao investigador uma ferramenta mais válida do que num de baixo custo, dependendo do estudo em questão, um investimento adicional pode não se justificar uma vez que o comportamento do condutor pode não diferir significativamente entre os dois simuladores”. Tendo isto em consideração, Jamson e Jamson (2010) fizeram um estudo para investigar se os resultados obtidos usando uma versão reduzida de um simulador de condução (baixo custo) podem ser comparados com os obtidos na versão em grande escala (simulador médio custo), no contexto da distração e desempenho do

condutor. Neste estudo os autores introduziram tarefas de distração, relacionadas com sistemas de informação embutidos no veículo (IVIS), para aumentarem a carga mental do condutor e assim poderem comparar os simuladores em cenários de segurança crítica. Na Figura 5 podem-se visualizar os simuladores que foram utilizados.



**Figura 5.** À esquerda, Leeds, o simulador de condução de médio custo, e à direita o simulador de baixo custo Leeds LabSim, no estudo efetuado por Jamson e Jamson (2010).

Com as experiências de simulação que efetuaram, verificaram que o simulador de baixo custo era capaz de reproduzir resultados similares ao de médio custo em termos da velocidade, mas não em termos da distância aos outros veículos e do controlo lateral do carro que guiavam. De facto, os condutores avaliaram o seu desempenho como sendo pior no simulador de baixo custo, tendo mais dificuldade em controlar o veículo.

Como referido pelos mesmos autores, isto não implica que os simuladores de baixo custo não possam ser usados na avaliação dos IVIS, mas sim que este tipo de simuladores deve ser melhorado de acordo com as suas limitações. “A beleza de uma ferramenta de baixo custo é que pode ser utilizada cedo no processo de desenho”, abrindo oportunidades para o redesenho antes de avaliações mais elaboradas e dispendiosas no desenvolvimento de IVIS que atenuem a distração do condutor, mas retenham a sua utilidade (Jamson e Jamson 2010).

## **2.2 Sistemas de Informação Embutidos no Veículo (IVIS)**

De acordo com a Comissão Europeia (European-Commission 2014) e a Organização Mundial de Saúde (WHO 2011), os acidentes de viação são uma grande causa de morte e ferimentos nas sociedades modernas, estando geralmente associados a erro humano (Lee et al. 2002, Patten et al. 2004, Strayer, Drews, e Johnston 2003). Por exemplo, de acordo com Tonnis,

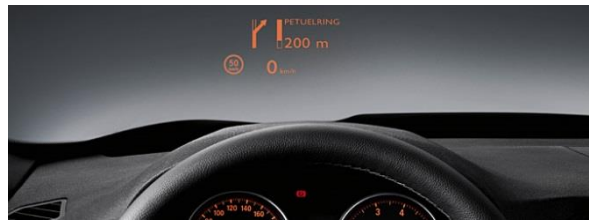
Lange, e Klinker (2007), a maioria dos acidentes ocorre devido a colisões longitudinais ou saídas da faixa de rodagem.

Com a forte evolução tecnológica presente nas últimas décadas, os veículos motorizados têm sofrido grandes mudanças, nomeadamente a inclusão de sistemas de informação embutidos no próprio veículo (IVIS). Estes sistemas incluem sistemas de informação de trânsito especializada, telemóveis, envio de mensagens de texto, *email*, diagnóstico do veículo, e, mais recentemente, sistemas de aviso e sistemas de ajuda em caso de emergência. O desafio está em fornecer essa informação e funcionalidades de forma facilmente perceptível para o condutor, mas que ao mesmo tempo não interfira com a condução (UMTRI 2013). A segurança na estrada tem sido uma das grandes causas para a inovação na indústria automóvel (Doshi, Cheng, e Trivedi 2009), sendo já uma realidade a existência de IVIS integrados no painel de instrumentos dos carros, ou noutros dispositivos, que permitem aos condutores ter uma condução mais segura, como é exemplo o sistema do Opel Astra e do novo Opel Insignia (Opel 2014). Este sistema já permite o reconhecimento de sinais de trânsito, o aviso de desvios da trajetória, a indicação da distância de segurança assim como o aviso de perigo de colisão frontal, entre outras funcionalidades.

### 2.2.1 Heads-Up Displays (HUD)

Visto que os *Heads-Down Displays* (HDD), tais como o painel de instrumentos e os ecrãs laterais existentes nos veículos atuais, podem desviar a atenção dos condutores da estrada (Weinberg, Harsham, e Medenica 2011, Ablaßmeier et al. 2007), recentemente têm começado a surgir alguns sistemas que fazem uso da Realidade Aumentada (RA) no para-brisas dos carros através de um *Heads-Up Display*, como é o caso do HUD da BMW (2012), que projeta a velocidade a que o carro está a circular, limites de velocidade na estrada, e instruções de navegação (Figura 6 e Figura 7). Acredita-se que este tipo de sistemas seja menos distrativo que dispositivos secundários (Tonnis e Klinker 2006, Yoo et al. 1999), como, por exemplo, computador de bordo ou painel de instrumentos, fazendo com que os condutores não tenham de desviar os olhos da estrada para se aperceberem das informações mostradas, com a vantagem de as poderem ver sobrepostas com a realidade da estrada no seu campo de visão. Graças à flexibilidade que os HUD proporcionam, muito acima dos limites impostos pelos HDD, em especial devido ao maior espaço utilizável e à natureza da sua apresentação (sobreposto com os objetos na estrada), podem ser utilizados para apresentar diferentes tipos de informação (Charissis et al. 2008). No entanto, como é frisado por Doshi, Cheng, e Trivedi (2009), devido aos efeitos de paralaxe, os condutores não conseguem focar o HUD e a estrada ao mesmo tempo. Todavia, ao apresentar informação que está mais próxima do campo normal de visão, os HUD requerem menos esforço por parte do condutor do que outros tipos de mostradores visuais (Liu e Wen 2004), sendo por isso mais eficazes para mostrar informação. Para exemplificar,

quando os condutores olham para o velocímetro no painel de instrumentos, podem não ver um evento crítico que precisa de atenção imediata, como é o caso de um veículo à sua frente. Com um HUD, apenas é necessária uma acomodação, e não movimentos de cabeça ou do olhar que consomem tempo (Yoo et al. 1999). Para situações em que é necessária uma resposta imediata, tais como reagir a um aviso para evitar uma colisão, a redução no tempo de resposta graças ao aparecimento da informação no HUD pode ser significativa (Yoo et al. 1999). De acordo com Fukano et al. (1995), a localização ideal para um HUD é diretamente à frente do condutor, cerca de 10 graus abaixo da linha de visão frontal.



**Figura 6.** *Heads-Up Display* do BMW X6 (BMW 2012).



**Figura 7.** HUD de um BMW série 5 (WardsAuto 2006).

Na tentativa de melhorar os HUD e a forma como comunicam a informação ao condutor, ou simplesmente analisar os benefícios ou malefícios, têm sido feitos imensos estudos com simuladores de condução usando HUD, referindo-se aqui apenas alguns. Doshi, Cheng, e Trivedi (2009) desenvolveram um novo HUD baseado em laser, capaz de interagir ativamente com o condutor como parte de um sistema de auxílio na condução. Com base no estado e postura do condutor, veículo e ambiente, este sistema apresenta alertas no campo de visão do condutor apenas quando necessário. Charissis e Naef (2007) analisaram o desempenho de condutores usando diferentes níveis focais para a projeção do HUD, enquanto conduziam em condições climáticas e de tráfego variadas, com e sem o HUD. Weinberg, Harsham, e Medenica (2011) efetuaram experiências onde analisaram duas alternativas aos HDD para apresentação de listagens textuais. Durante as simulações os condutores tinham de procurar uma série de nomes de ruas usando um HDD, um HUD, e uma variante só de áudio. Com este estudo descobriram

que a variante só de áudio tinha o menor impacto no desempenho na condução e na carga mental, mas era menos eficiente para o cumprimento das tarefas. O HUD foi a alternativa mais viável, pois tinha um baixo impacto na carga mental e foi o sistema que mais satisfez os condutores. Seguindo a sugestão do Departamento da Polícia de Strathclyde, em Glasgow na Escócia, Charissis et al. (2008) desenharam um HUD para utilização em condições de baixa visibilidade, tais como nevoeiro e chuva intensa, com o objetivo de guiar os condutores nessas situações.

Combinados com informação relevante, os HUD podem revelar-se extremamente úteis e melhorar a segurança na estrada, daí a sua inclusão nos simuladores do presente estudo, sendo a avaliação da perceção do HUD num simulador de baixo custo face a um HUD num de médio custo, um dos outros objetivos da dissertação.

### **2.2.2 Sistemas Avançados de Auxílio ao Condutor (ADAS) e Trabalho Prévio Realizado**

Dentro dos IVIS existem os sistemas avançados de auxílio ao condutor (ADAS<sup>1</sup>), alguns dos quais já referidos anteriormente, que atuam com o objetivo de evitar acidentes, ou reduzir a sua severidade de forma significativa (Bella e Russo 2011). Estes sistemas permitem várias funcionalidades, como controlo lateral, controlo longitudinal, auxílio no estacionamento e inversão de marcha, aprimoramento da visão, monitorização do condutor, evitar colisões, como são o caso dos sistemas de aviso de colisão frontal (FCW<sup>2</sup>), entre outros.

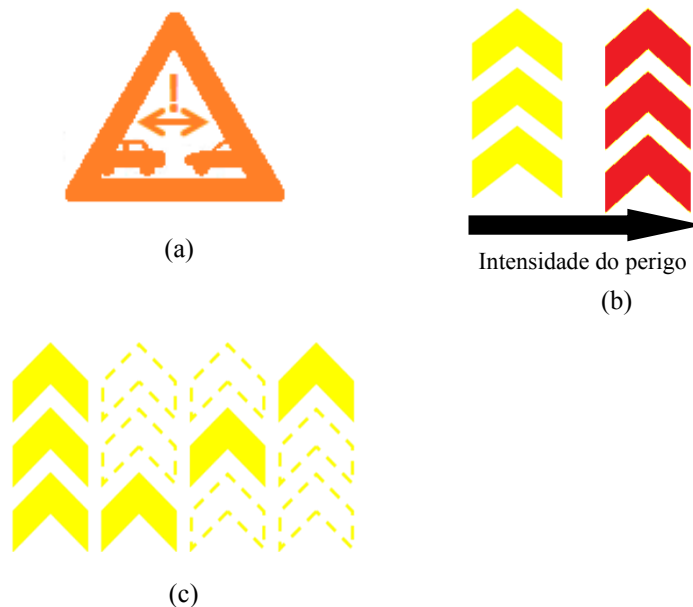
Em 2013 realizou-se um caso de estudo de um ADAS como trabalho prévio à dissertação, o qual foi publicado (Alves et al. 2013). Com esse trabalho pretendeu-se desenvolver duas metáforas de visualização (esquemas visuais) para sistemas de aviso de colisão frontal para o HUD de automóveis, mais especificamente, para um sistema de aviso da violação da distância de segurança, na tentativa de ajudar os condutores na perceção da distância de segurança de forma rápida e eficaz, e acima de tudo evitar colisões. Estas metáforas foram testadas em termos de usabilidade, de forma a escolher a mais adequada. Nesse artigo é feita uma contextualização sobre os ADAS, os FCW e as metáforas visuais, descrevendo-se a abordagem usada para o desenho das metáforas, na tentativa de serem o mais perceptíveis e intuitivas possível para os condutores; o raciocínio por trás do cálculo da distância de segurança para os testes de simulação; as experiências efetuadas; e os resultados e conclusões obtidas. Os esquemas de visualização analisados foram os que se encontram na Figura 8, os quais foram baseados em sinais de trânsito usados no Código da Estrada na tentativa de serem mais fáceis de perceber pelos condutores, e evitar ou diminuir a carga de trabalho mental. A metáfora M1 é baseada no

---

<sup>1</sup> Do inglês *Advanced Driver Assistance Systems*.

<sup>2</sup> Do inglês *Forward Collision Warning*.

signal de trânsito C10 (ver Figura 9), que indica a proibição de transitar a uma distância do veículo precedente inferior à indicada no sinal, e a metáfora M2 nas marcas de segurança M21 que recomendam a distância de segurança a observar para o afastamento em relação ao veículo precedente (tanto presentes em pavimento como em sinalização vertical).



**Figura 8.** Símbolos propostos para o aviso de violação da distância de segurança no trabalho prévio realizado (Alves et al. 2013). (a) Símbolo M1 para indicação de violação da distância de segurança; (b) Símbolo M2, mostrando as várias cores consoante a diminuição da distância de segurança. A amarelo o aviso de precaução, e a vermelho o aviso de perigo iminente; (c) Sequência da animação do símbolo M2.



**Figura 9.** Sinalização escolhida para representação das metáforas propostas no trabalho prévio realizado (Alves et al. 2013).

De forma a testar a usabilidade das metáforas escolhidas, no trabalho previamente realizado foram efetuadas experiências de simulação num simulador de baixo custo, com 22 participantes, de diversas faixas etárias. Como a ideia desse estudo visava apenas a comparação e análise da adequação e perceção das metáforas, não foram tidas em conta as condições climáticas, características dos veículos, entre outros fatores, que influenciam o cálculo da distância de segurança, uma vez que são variáveis complexas de calcular.

Com o estudo realizado conseguiu-se concluir que a metáfora M2 (Figura 8) era a mais perceptível, útil e adequada, tendo sido essa a implementada para o estudo da presente dissertação.

## **2.3 Sumário**

Neste capítulo foram expostos conceitos e características importantes dos simuladores de condução, tendo-se identificado as principais vantagens, como a realização de estudos em ambientes controlados, mais seguros e repetíveis, e as desvantagens, como a incapacidade de reproduzirem o mundo real na sua totalidade e terem uma imersividade discutível. Foi também focada a importância crescente dos IVIS, especialmente os integrados num HUD do para-brisas de automóveis, para o aumento da segurança na estrada e prevenção de acidentes.

A validade questionável dos simuladores de condução levou ao presente estudo, procurando-se validar um simulador de baixo custo com um HUD integrado no para-brisas do veículo.

## Capítulo 3

# Metodologia

Como já referido, com este trabalho pretendeu-se comparar dois métodos de simulação diferentes: um simulador de condução de médio custo (*Driving Simulator*, DriS) e um simulador de baixo custo baseado num motor de jogo, em que ambos incluíam a simulação de um HUD integrado no para-brisas do automóvel, com o objetivo de avaliar:

- A perceção humana do HUD e da sua qualidade usando o simulador de baixo custo, comparativamente ao de médio custo, de forma a se determinar se é possível a sua utilização em testes de simulação de condução;
- A imersividade do jogo desenvolvido e se é suficiente para que possa substituir o ambiente de condução num simulador de condução de médio custo e permitir o teste de HUD;
- Se é possível estabelecer uma equivalência entre o simulador de baixo custo e o simulador de médio custo.

Para cumprir os objetivos propostos, desenvolveu-se e implementou-se um protótipo de um HUD, mais realista que o usado no trabalho prévio (Alves et al. 2013), definiu-se um cenário de simulação para teste desse HUD e comparação dos simuladores, programando-se depois os simuladores com esse cenário, e realizaram-se testes de condução em ambos os simuladores. Este capítulo descreve em pormenor o equipamento usado para as simulações e a metodologia utilizada para a implementação do HUD. A implementação do cenário e programação dos simuladores encontra-se no Capítulo 4.

### 3.1 Equipamento utilizado

As características dos simuladores de condução utilizados encontram-se descritas seguidamente.

#### 3.1.1 Simulador de Médio Custo

O simulador de condução de médio custo utilizado foi um simulador de base-fixa, correspondente a um carro verdadeiro, um Volvo 440 Turbo, devidamente equipado e adaptado para fazer simulações de condução (Leitão, Coelho, e Ferreira 1997), instalado no Laboratório de Análise de Tráfego do Departamento de Engenharia Civil da FEUP (ver Figura 10). Este carro estava ligado a um sistema de computadores que geravam e corriam todo o ambiente de simulação, projetando o cenário numa tela de 3.20 m x 2.40 m (ver Figura 11), com uma resolução de 1280 x 1024. A sala onde se encontrava o carro (sala de experiências) estava rodeada de cortinas pretas opacas, de forma a evitar quaisquer reflexos na tela de projeção. O sistema de simulação principal era constituído por um computador pessoal Prescott Intel Pentium IV 3GHz, com 1 GB de DDRAM e uma placa gráfica Nvidia Geforce FX 5600 xt, e o sistema operativo Linux Fedora. O *Software* de simulação encontrava-se neste sistema, tendo sido desenvolvido em OpenSceneGraph usando a biblioteca OpenGL Performer da Silicon Graphics (Leitão, Coelho, e Ferreira 1997). O painel de instrumentos do carro era simulado, através de um outro computador, sendo exibido num ecrã que estava situado no lugar do painel de instrumentos original do veículo. Esse computador estava ligado por rede ao sistema de simulação principal. Para tornar o simulador de condução ainda mais realista, existia um outro computador, também ligado ao sistema principal, que simulava todo o som existente, desde os ruídos do carro até aos ruídos do meio envolvente, estando conectado a dois amplificadores áudio e a quatro colunas de som. A comunicação entre os vários computadores era efetuada através de uma rede *Ethernet*, estando ligados a um *switch* D-link 1010G. Os cenários de simulação gerados eram projetados por um projetor Barco Data 801s, situado por cima do veículo e que estava ligado ao sistema de simulação principal.

A forma de condução deste veículo era semelhante à forma como se conduz um carro real, sendo necessário o uso do volante, caixa de velocidades, embraiagem, acelerador e travão.

Para facilitar a monitorização das experiências, o sistema de simulação principal registava em tempo real diversos dados gerados e enviados pelos sensores do carro conduzido, assim como pelos carros virtuais que pudessem circular no cenário. Estes dados eram automaticamente gravados para um ficheiro em cada simulação, sendo também enviados pela rede através de um protocolo UDP, num pacote com 18 objetos de 4 bytes.



## Metodologia



**Figura 12.** Fotografias do simulador de condução, DriS.



**Figura 13.** Fotografia do interior do DriS.



**Figura 14.** Fotografia dos sistemas de simulação da sala de controlo.

### 3.1.2 Simulador de Baixo Custo

O simulador de baixo custo consistia num portátil (ver especificações no Anexo A) ligado a um volante e pedais Logitech G27, um monitor HP de 23'' e duas colunas de som. O *software* de simulação foi implementado sobre um motor de jogo em Unity 3D (ver ponto 4.2.2).

O diagrama de instalação e fotografia da montagem do simulador de baixo custo encontram-se na Figura 15 e Figura 16.

## Metodologia



**Figura 15.** Diagrama de instalação do simulador de baixo custo.

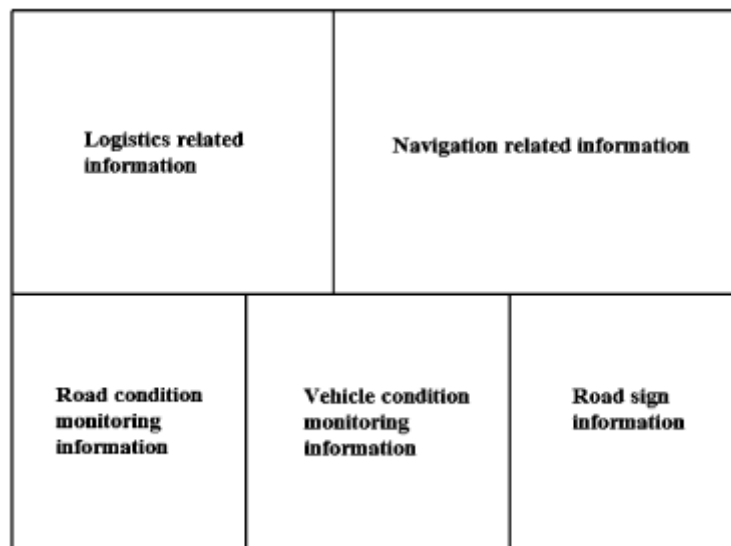


**Figura 16.** Fotografia do sistema de simulação de baixo custo montado.

### 3.2 Desenho do HUD

O *layout* do HUD para ambos os simuladores foi desenhado seguindo o esquema proposto por Liu e Wen (2004), que é baseado nas diretrizes gerais e de navegação para exibição visual de Green et al. (1993). A Figura 17 mostra o *layout* adotado.

Para estudar a qualidade e a percepção que os condutores tinham do HUD e da informação exibida neste, foram implementados dois esquemas visuais: o aviso de violação da distância de segurança resultante do trabalho prévio (ver ponto 2.2.2); e um aviso de excesso do limite de velocidade (ver Figura 18). Ambos foram utilizados com o intuito de se perceber se os condutores conseguiam interpretar e obedecer aos avisos que pudessem surgir no para-brisas do carro, e até que ponto estes lhes causavam carga mental ou interferiam com a condução e visão da estrada. O HUD também apresentava a velocidade instantânea a que circulava o veículo. A disposição dos esquemas visuais no *layout* do HUD encontra-se na Figura 19.



**Figura 17.** Representação do *layout* do HUD implementado, retirado de Liu e Wen (2004).



**Figura 18.** Esquemas visuais implementados no HUD para as experiências. À esquerda o aviso de violação da distância de segurança, e à direita o aviso de excesso de velocidade.

Existem determinadas cores que devem ser evitadas num HUD, tais como o azul, por ser difícil de focar, e o vermelho, por não ser compatível com visão noturna (Semple Jr et al. 1971, Weintraub 1992), sendo sugerido por Weintraub (1992) que os HUD devem ser monocromáticos. De acordo com a norma norte americana SAE J578 e a norma europeia ECE R6, as quais governam a colorimetria das luzes dos veículos, é designada uma gama de tonalidades laranja-amarelo do diagrama de cromatância CIE que pode ser utilizada, referidas como sendo cores âmbar. O âmbar é por isso uma das cores ideais para a representação num HUD, sendo exemplo o HUD desenvolvido pela BMW, existente em versões topo de gama (BMW 2012, WardsAuto 2006). Seguindo, por isso, essas diretrizes, o aviso de violação da distância de segurança foi implementado na cor âmbar RGB (255, 126, 0), deixando de existir os dois níveis de perigo propostos no trabalho prévio (ver ponto 2.2.2). Desta forma, sempre que o condutor viola a distância de segurança, surge o aviso de violação da distância de cor âmbar ilustrado na Figura 18. Como no trabalho prévio, este aviso mostra cada uma das setas de forma

alternada, sendo o aparecimento de cada uma acompanhada por um aviso sonoro do tipo “beep” (ver Alves et al. (2013)).



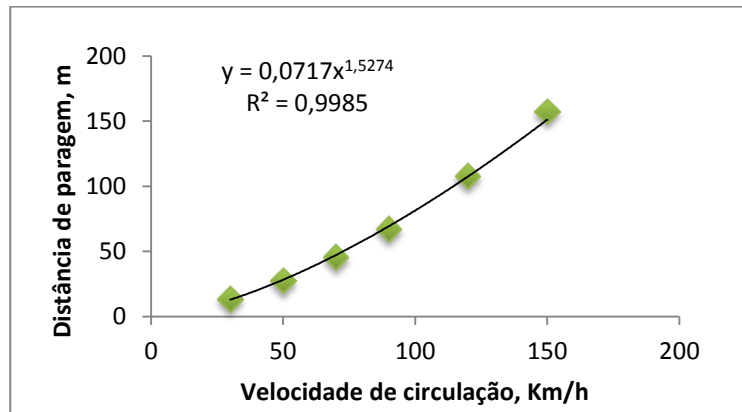
**Figura 19.** Imagem do HUD desenvolvido com toda a informação possível, podendo-se visualizar o aviso de violação da distância de segurança (à esquerda), o aviso de violação do limite de velocidade (à direita) e a informação para *debug* (em baixo).

O alerta de excesso de velocidade foi implementado para estudar o tempo que o condutor demorava a reagir à indicação da transgressão, na primeira vez que este aparecia. Como tal, apenas foi implementado o aviso de proibido circular a mais de 90 km/h. De forma a ser mais intuitivo e fácil de interpretar (Alves et al. 2013), o sinal escolhido correspondia ao respetivo sinal de trânsito do código da estrada (ver Figura 18). Para este símbolo não se seguiram as normas de cor referidas no parágrafo anterior, mantendo-se a cor original do sinal de trânsito, por ser um sinal de fácil reconhecimento se forem mantidas as cores originais, pois a cor âmbar não era um fator importante no estudo do tempo de reação. Sempre que o símbolo aparecia era imitado um sinal sonoro do tipo “boop”.

O aparecimento do aviso de violação da distância de segurança no HUD foi feito com base em Alves et al. (2013) apresentando-se os cálculos a seguir.

A partir da tabela de valores de referência de distâncias de paragem do IMTT (2005), construiu-se um gráfico de dispersão e aplicou-se uma linha de regressão potencial, obtendo-se uma correlação de  $R^2 = 0.9985$  (Figura 20), permitindo a interpolação da distância de paragem com base na velocidade de circulação. Os valores da distância de paragem utilizados dependiam

da distância de reação média prevista<sup>1</sup> para um tempo de reação médio de 1s, e da distância de travagem<sup>2</sup>.



**Figura 20.** Correlação entre a distância de paragem e a velocidade de circulação.

A partir da fórmula obtida para a linha de regressão, calculou-se a distância de paragem  $d_p$ , em metros, do carro hospedeiro (carro que possui o sistema de navegação,  $car_{host}$ ) com base na sua velocidade (ver Equação 1), em que  $v$  corresponde à velocidade de circulação do carro em km/h. Sabendo a diferença entre  $d_{actual}$  e  $d_p$  (ver Equação 2), em que  $d_{actual}$  corresponde à distância atual do veículo hospedeiro ao veículo de referência (carro à frente do carro hospedeiro,  $car_{ref}$ ), calculou-se a distância mínima segura,  $d_{min}$ , ao veículo de referência. Logo, sempre que  $d_{min} < 0$ , era mostrado o aviso de violação da distância de segurança no HUD, uma vez que nessa condição a distância de paragem prevista do carro hospedeiro é superior à distância entre ambos os carros, podendo ocorrer colisão em caso de travagem brusca do carro de referência.

$$d_p = 0.0717v^{1.5274} \quad \text{Equação 1}$$

$$d_{min} = d_{actual} - d_p \quad \text{Equação 2}$$

### 3.3 Programação do HUD

Após o desenho do HUD, procedeu-se à sua programação. Neste ponto são descritos os detalhes de implementação do HUD em ambos os simuladores.

<sup>1</sup> Distância percorrida pelo veículo desde o evento que obriga à sua travagem até ao momento em que o condutor reage para travar.

<sup>2</sup> Distância percorrida pelo veículo desde que o condutor trava até ao momento em que o veículo se imobiliza.

### 3.3.1 Simulador de Médio Custo

O HUD para o simulador de condução de médio custo (DriS) representava uma aplicação independente, e foi desenvolvido em linguagem de programação Java<sup>1</sup> (ver descrição das classes implementadas na Tabela 1), seguindo uma arquitetura *Model-View-Controller* (MVC), e em termos gráficos, consistia num ecrã de fundo preto onde surgem esquemas visuais e/ou informação de auxílio à condução (Figura 19). Foi necessário criar o fundo preto para que não fosse visível aquando da simulação da projeção do HUD no para-brisas do carro. Desta forma apenas os esquemas eram visíveis, simulando assim a transparência de um HUD real.

**Tabela 1.** Descrição das principais classes implementadas na criação do HUD.

<b>SafetyDistance</b>
<p>Implementa a função <code>int evaluateSafetyDistance(double velHost, double distance)</code> que recebe como argumentos a velocidade do carro hospedeiro do HUD (<math>car_{host}</math>), e a distância euclidiana entre este e o carro imediatamente à frente. Esta função calcula a distância de paragem do <math>car_{host}</math> e a partir desta a distância de segurança ao carro da frente, com base nas Equações 1 e 2. Se a distância resultante for negativa, significa que o <math>car_{host}</math> está a violar a distância de segurança e a função retorna o valor 1. Em caso contrário retorna 0.</p> <p>Esta classe também implementa a função <code>double calcTTC(double velHost, double velLead, double distance)</code>, que calcula o tempo para a colisão em segundos, mas que não foi necessário neste projeto. Esta função recebe como argumentos a velocidade do carro hospedeiro do HUD (<math>car_{host}</math>), a velocidade do carro imediatamente à frente deste (<math>car_{ref}</math>), e a distância euclidiana entre estes.</p>
<b>HUD</b>
<p>Classe responsável por desenhar o HUD e respetivo conteúdo. Implementa diversas funções, mas aqui apenas se referem as mais relevantes: <code>void enableSafetyWarning()</code>, que desenha o aviso de violação da distância de segurança no HUD. As 3 setas do esquema visual foram desenhadas individualmente e constituem 3 objetos distintos, de forma a ser possível ativá-las de forma intermitente. O aparecimento das setas é controlado através de uma <i>flag</i>. A sincronização desse aparecimento é conseguida através de um ciclo <i>for</i> infinito e de <i>threads</i>. O aparecimento das setas está sincronizado com a emissão de um sinal sonoro através da chamada à função <code>void playBeep()</code>, utilizando a biblioteca JavaFX. A função <code>void disableSafetyWarning()</code> desativa o aparecimento do esquema visual referido. A função <code>void enableSpeedWarning()</code> controla o aparecimento do símbolo de aviso de excesso do limite de velocidade também através de uma <i>flag</i>, também sincronizado com um sinal sonoro.</p>

<sup>1</sup> No Anexo A podem encontrar-se mais pormenores da implementação.

## Metodologia

<b>Main</b>
Classe principal da aplicação, sendo nesta classe que toda a aplicação é controlada, através da chamada à função <code>main</code> . Implementa um servidor para receber os dados do DriS, usando um protocolo de comunicação UDP. Para isso é criada uma <i>socket</i> que fica à escuta na porta definida (ver Anexo A) para efetuar a recepção dos pacotes de dados a receber do simulador. Para conseguir interpretar o pacote recebido (que vinha em binário), foi necessário ordenar os <i>bytes</i> do menos para o mais significativo (ordem <i>little endian</i> ). O servidor está sempre a correr através de um ciclo <code>for</code> de forma a conseguir receber em tempo real os dados enviados pelo DriS. Todos os cálculos necessários e a chamada às funções para exibir a informação no HUD são feitos dentro deste ciclo. Em cada instante é avaliada a distância de segurança através da função <code>int evaluateSafetyDistance(double velHost, double distance)</code> já referida, para verificar se o aviso de violação da distância de segurança deve ser emitido. O mesmo se aplica para a velocidade do <code>car<sub>host</sub></code> , sendo avaliado a cada instante a velocidade deste para determinar se deve ou não ser lançado o aviso de excesso do limite de velocidade. Os dados recebidos são gravados para um ficheiro (parametrizável).
<b>Globals</b>
Contém todas as variáveis globais utilizadas na aplicação, tornando-a parametrizável.

Para auxiliar na interpretação dos dados que o HUD recebe do veículo, implementou-se um método visual de *debug* que mostra informação auxiliar na margem inferior do HUD, tal como a velocidade do carro à frente, distância ao carro da frente, velocidade do próprio veículo, e a distância prevista de paragem do próprio carro (ver Figura 19). Esta informação podia ser visualizada/escondida premindo a tecla I no teclado do computador.

### 3.3.2 Simulador de Baixo Custo

No caso do simulador de condução de baixo custo, o HUD foi diretamente implementado no jogo (ver ponto 4.2.2), tendo sido criado um *script* em C# para o efeito. O código implementado seguia a mesma lógica do código do DriS, referida no ponto anterior.

Como neste caso não era necessário definir um painel com fundo para a apresentação da informação no HUD, os próprios esquemas visuais e informação que eram apresentados foram modelados com 65% de transparência, simulando-se assim o efeito de transparência do HUD.

A localização do HUD no ecrã do jogo foi pensada de forma a ficar no campo de visão do condutor, alinhada ao centro do mesmo (Figura 21).



**Figura 21.** Fotografia do jogo desenvolvido em Unity 3D, podendo-se observar a informação a aparecer no HUD.

### 3.4 Registo das Métricas

Para a análise e comparação dos simuladores e respetivo HUD, é necessário o registo de diversos dados (variáveis objetivas) durante as experiências de simulação, comuns a ambos os simuladores:

- Tempo decorrido (*timestamp*), em milissegundos;
- Velocidade em km/h do carro hospedeiro do HUD ( $car_{host}$ );
- Velocidade em km/h do carro de referência ( $car_{ref}$ );
- Posição vetorial (x, y, z) do  $car_{host}$ , em metros;
- Posição vetorial (x, y, z) do  $car_{ref}$ , em metros;
- Valor da travagem do  $car_{host}$  (em que 0 significava que não estava a travar, e maior que 0 se estava), para determinar se o condutor acionou ou não o travão de pé;
- Valor booleano *true* ou *false*, que indicava se o aviso de violação da distância de segurança estava ou não ativo, respetivamente, obtido a partir do simulador do HUD;
- Valor booleano *true* ou *false*, que indicava se o aviso de excesso de velocidade estava ou não ativo, respetivamente, obtido a partir do simulador do HUD.

Conhecendo os valores booleanos referidos, pode-se saber o número de vezes que o condutor violou ou cumpriu a distância de segurança, assim como o limite de velocidade dos 90 km/h.

## Metodologia

Estes dados são enviados em tempo real a cada 100 ms, i.e., durante o decorrer de cada simulação, pelo sistema principal do DriS, no caso do simulador de médio custo, e pela execução do código do jogo, no caso do simulador de baixo custo.

Como os dados que se pretendem medir do DriS vêm de um sistema à parte do sistema em que está o HUD, foi necessário implementar um servidor UDP do lado do HUD para receber por *socket* os dados dos testes de simulação considerados relevantes, sendo gravados para um ficheiro “.csv”. No caso do jogo, os dados também são gravados para ficheiro.

Os dados recebidos pelo HUD são tratados em tempo real de forma a despoletar os avisos e informações necessárias no HUD visualizado pelo condutor, originando as seguintes variáveis calculadas:

- Distância euclidiana entre o  $car_{host}$  e o  $car_{ref}$ , em metros, calculada a partir da posição vetorial destes (também gravada para o ficheiro “.csv”);
- Distância de paragem do  $car_{host}$ , em metros (ver ponto 2.2.2);
- Distância de segurança prevista<sup>1</sup>, em metros (ver ponto 2.2.2).

Sabendo a distância de segurança prevista, se esta tiver um valor negativo, significa que o condutor estava a violá-la e conseqüentemente, em caso de travagem brusca do  $car_{ref}$ , pode haver colisão entre eles. O aviso de violação da distância de segurança é então emitido pelo HUD, mantendo-se ativo até o condutor a deixar de violar.

Sabendo a distância euclidiana e a velocidade de circulação do condutor, pode-se determinar se reduziu a velocidade para manter a distância de segurança ou cumprir o limite de velocidade imposto. O mesmo se aplica para o valor da travagem, podendo-se determinar se o condutor travou ou não para manter a distância de segurança e/ou evitar a colisão, ou cumprir o limite de velocidade. Com base na distância entre os carros e a velocidade de circulação respetivas, também se pode calcular o tempo para a colisão (TTC<sup>2</sup>) aproximado. A partir da altura em que o  $car_{ref}$  trava e o participante carrega no travão, pode-se também aferir o seu tempo de reação. A distância entre os dois carros irá também permitir extrair o número de colisões que aconteceram.

---

<sup>1</sup> Prevista porque há determinados fatores que influenciam a distância de segurança e que não foram tidos em conta por dependerem de variáveis complexas, cuja influência no cálculo não era conhecida (ver 2.2.2).

<sup>2</sup> Do inglês *Time To Collision*.

### **3.5 Sumário**

Neste capítulo descreveram-se os pormenores técnicos dos simuladores de condução utilizados, assim como a metodologia usada para o desenho e programação do HUD, e as métricas relevantes para os testes pretendidos. Graças à modularidade do HUD desenvolvido, pode ser facilmente adaptado para utilizar noutros tipos de simulações, nos cenários que se pretender, com registo e gravação para ficheiro das variáveis necessárias.



## Capítulo 4

# Validação Experimental com Condutores

Após o desenho e programação do HUD, foi necessário planejar o cenário de simulação para o teste desse HUD e comparação dos simuladores. Este capítulo descreve em pormenor o planeamento do cenário e sua implementação nos simuladores, assim como as experiências de simulação realizadas. Após a realização das experiências, procedeu-se ao processamento dos dados registados de forma a ser possível fazer as comparações entre os dois simuladores e o respetivo HUD.

Ao longo das experiências verificou-se que nem todos os condutores demoravam o mesmo tempo a terminar cada ensaio, isto porque a duração dos ensaios dependia sempre da velocidade a que circulavam, mesmo seguindo o guião. Isto fez com que muitas sessões de simulação demorassem mais do que o tempo previsto. Os condutores que mantinham velocidades abaixo do limite de 90 km/h e/ou que mantinham uma distância ao carro da frente muito maior do que a que seria precisa demoravam mais tempo a completar o trajeto.

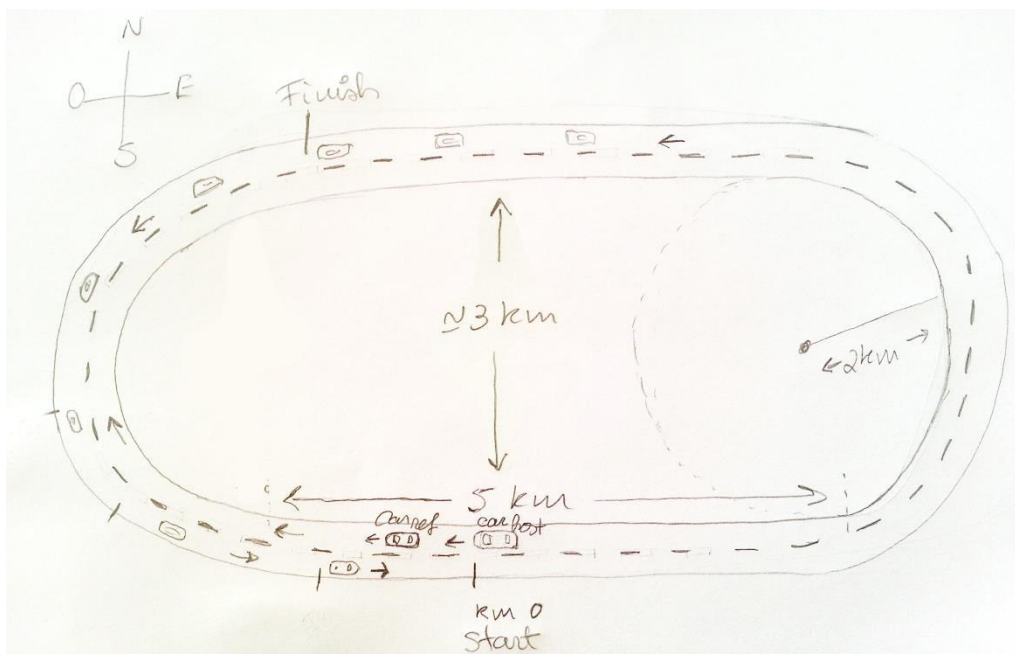
Cada condutor originou 4 ficheiros de dados, 2 para cada simulador, com cerca de 3500 linhas de registo cada um. Os resultados obtidos após processamento desses dados e a sua análise encontram-se descritos neste capítulo, assim como a análise das respostas subjetivas aos questionários.

### 4.1 Cenário das simulações

A fim de comparar os simuladores e testar o HUD, foi necessário planejar o cenário que iria ser utilizado para as experiências de simulação. Como se pretendia fazer comparações entre os dois simuladores, o circuito a ser utilizado tinha de ser o mesmo em ambos, de forma a permitir

## Validação Experimental com Condutores

fazer as comparações sem que estas fossem influenciadas por os cenários terem um trajeto ou eventos diferentes. Como também não era conveniente que a forma do próprio trajeto influenciasse o comportamento dos condutores, planeou-se um trajeto simples e que não interferisse negativamente na condução, para se poder avaliar os simuladores e a influência do HUD sem interferências típicas da complexidade de uma estrada. Para se conseguir fazer o estudo pretendido, era necessária a existência de um carro de referência ( $car_{ref}$ ), dotado de inteligência artificial, à frente do carro do condutor (carro hospedeiro -  $car_{host}$ ), que simulasse determinados comportamentos, para se conseguir medir a influência da informação no HUD na condução dos condutores, assim como para comparar os simuladores. Para isso, esboçou-se um circuito oval fechado de 2 faixas com sentidos opostos (Figura 22). O circuito tinha um comprimento total aproximado de 16 km, tendo 10 km (5 + 5) em linha reta e aproximadamente 6 km (3 + 3) em linha curva. As curvas correspondiam a meia circunferência de 2 km de raio. A faixa interior seria para circulação do carro guiado pelo condutor e do carro de referência, e na faixa exterior seria inserida população artificial, i.e., carros com inteligência artificial, que circulavam a uma velocidade de 90 km/h, para tentar simular o tráfego normal numa via rápida e tornar as experiências mais realistas.



**Figura 22.** Esboço preliminar do circuito planeado para as experiências de simulação.

Para o  $car_{ref}$  foram planeados dois tipos de comportamento, para que não houvesse aprendizagem dos participantes do comportamento do carro, e assim não influenciar o comportamento destes nas experiências. Em ambos os comportamentos o carro de referência circulava com uma velocidade variável, travando até imobilizar no final do trajeto (ver Tabela 2). Como o circuito era muito grande, para não tornar as experiências demasiado longas e

## Validação Experimental com Condutores

entediadas para os participantes, apenas se utilizou parte do circuito (ver trajeto para o Comportamento 1 delimitado entre *start* e *finish* na Figura 22). Por exemplo, no Comportamento 1, o carro iniciava a marcha no ponto 0 do circuito (*start*), circulando a 40 km/h até chegar aos 800 m do trajeto. Dos 800 aos 3000 m circulava a 110 km/h, dos 3000 aos 5000 m a 80 km/h, etc. Quando chegasse aos 9000 m (*finish*), travava até ficar imobilizado, altura em que o ensaio acabava.

**Tabela 2.** Descrição dos comportamentos do carro de referência ao longo do trajeto.

<b>Comportamento 1</b>			
<b>Distância percorrida, m</b>	<b>Velocidade, m/s</b>	<b>Velocidade, km/h</b>	<b>Tempo previsto, s</b>
0	11.11	40	-
800	30.56	110	89.11
3000	22.22	80	81.81
5000	30.56	110	90.01
6500	38.89	140	49.08
9000	0	0	38.57
Tempo total previsto			348.58 s
			5.8 min
<b>Comportamento 2</b>			
<b>Distância percorrida, m</b>	<b>Velocidade, m/s</b>	<b>Velocidade, km/h</b>	<b>Tempo previsto, s</b>
0	11.11	40	-
500	22.22	80	89.11
3000	30.56	110	112.51
5000	22.22	80	65.44
6000	38.89	140	45.00
7000	30.56	110	25.71
8000	0	0	32.72
Tempo total previsto			370.49 s
			6.2 min

As velocidades foram escolhidas após diversos testes efetuados no DriS até encontrar as que fossem mais adequadas e não aborrecessem os participantes, pois no trabalho prévio (Alves et al. 2013) verificou-se que os participantes ficavam aborrecidos por terem que conduzir sempre a baixas velocidades. A velocidade inicial dos 40 km/h foi pensada para que o condutor tivesse tempo de se instalar e ambientar.

## 4.2 Preparação do Cenário nos Simuladores

Para realizar as experiências de simulação foi necessário programar e configurar os simuladores tendo em conta o cenário planeado anteriormente. Foi também nesta altura que se programou o HUD para o jogo, dado que foi implementado diretamente no código do próprio jogo (ponto 3.3.2).

### 4.2.1 Simulador de Médio Custo

Para a implementação do circuito foi necessário criar vários ficheiros de pontos (.pts), um para cada troço do circuito, i.e., um para cada reta, e um para cada metade das curvas, num total de 6 ficheiros. Isto porque os troços em curva eram mais complexos de representar, sendo necessário milhares de pontos com um intervalo de  $0.1^\circ$  em termos de ângulo para criar cada arco e dar a sensação de uma curva perfeita. Os troços em linha reta foram criados com pontos de 1 em 1 metro. Para isso criou-se um programa em C que desenhava os pontos pretendidos para cada troço, tendo em conta as variações de ângulo para calcular os valores dos senos e cossenos e de cada uma das coordenadas x e y (como o circuito não tinha altura, a componente z era 0). Repetiu-se o processo para criar a outra faixa, acrescentando-se um *offset* geral a cada ponto. Os pontos de cada troço tiveram de ser gerados por ordem para que no final se pudessem encaixar desenhando um circuito completo. Cada faixa tinha uma largura de 3.5 m para simular a largura da faixa duma via rápida real.

Para dar uma maior sensação de realismo e da velocidade do carro, foram inseridas árvores de ambos os lados da estrada ao longo de todo o circuito. Foi também criado um horizonte com montanhas e nuvens para tornar o cenário mais real (ver Figura 23 e Figura 24).

Foram definidos 30 carros autónomos para circular na faixa contrária, no sentido contrário aos ponteiros de relógio, tendo 20 deles sido posicionados no circuito com um espaçamento de 450 m entre cada um, e os restantes 10 com 800 m de intervalo.

O carro de referência foi inserido na faixa mais interior do circuito e programado para seguir os pontos do circuito definido, tendo sido necessário conferir-lhe a rotação correta em cada ponto para circular sempre alinhado com a berma direita e avançar na estrada no sentido dos ponteiros do relógio. Para conseguir ter os comportamentos especificados na Tabela 2, foi

## Validação Experimental com Condutores

necessário definir dois ficheiros de pontos, um para cada comportamento, tendo-se especificado em que posições do circuito o carro acelerava ou desacelerava e até que velocidade, e com que valor era feita essa aceleração/desaceleração. Para se conseguir calcular a posição  $\Delta d$  em que o carro devia começar a acelerar/desacelerar para a nova velocidade, foi utilizada a Equação 3, em que  $v_f$  é a velocidade final pretendida em m/s,  $v_i$  a velocidade inicial em m/s,  $\Delta d$  a diferença entre as posições final e inicial, em metros, e  $a$  o valor da aceleração em  $m/s^2$ :

$$\Delta d = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2a} \quad \text{Equação 3}$$

Para ser o mais real possível, considerou-se uma aceleração de  $1 m/s^2$  e uma desaceleração de  $2 m/s^2$ .

Quanto ao HUD desenvolvido, foi colocado um projetor NEC centrado sobre o tejadilho do DriS e que apontava para a tela de projeção, de forma a projetar o HUD sobre a mesma no campo de visão do condutor, no alinhamento da estrada (ver Figura 23 e Figura 24), parecendo assim que o HUD estava no para-brisas do próprio carro. Como o fundo do HUD era preto, dava a sensação de transparência, apenas se visualizando a informação que aparecia neste. O projetor estava diretamente ligado ao portátil onde era feita a simulação do HUD (Figura 11). Para a emissão do som produzido pelo HUD, ligou-se o portátil a umas colunas que se encontravam no interior do DriS.



**Figura 23.** Fotografia de um momento de uma simulação de teste, tirada a partir do interior do DriS, podendo-se observar uma parte do circuito, o cenário em redor, o carro de referência e a informação no HUD.



**Figura 24.** Fotografia de um dos testes do DriS, podendo-se observar a informação completa do HUD e um dos carros que circulava em sentido inverso.

#### 4.2.2 Simulador de Baixo Custo

No LIACC<sup>1</sup> na FEUP, está a ser desenvolvida uma plataforma de simulação sobre o motor de jogo Unity 3D<sup>2</sup>, IC-DEEP<sup>3</sup> (Gonçalves, Rossetti, e Olaverri-Monreal 2012, Rossetti et al 2013), para permitir a avaliação de fatores humanos que possam prejudicar a condução aquando da manipulação ou leitura de informação em sistemas de informação embutidos no veículo (IVIS). Usando componentes da referida plataforma, foi programado um jogo de simulação e implementado o cenário planeado (ponto 4.1), de forma a se conseguir fazer as comparações pretendidas entre os simuladores.

Usando o Unity 3D e bibliotecas já existentes do IC-DEEP, começou-se pela modelação do circuito oval, ligando objetos em forma de placas de estrada com 2 faixas (criadas em 3ds Max), com as mesmas dimensões transversais e longitudinais do circuito já criado para o DriS. Na Figura 25 podem-se ver partes do circuito implementado no Unity 3D. Assim como no DriS, foram inseridas árvores à volta do circuito e criado um horizonte.

A inteligência artificial do carro de referência foi programada num *script* em C#, fazendo-se o carro deslocar ao longo do circuito entre *waypoints* pré-definidos, de forma a conseguir percorrê-lo da forma mais perfeita possível tendo em conta a curva do trajeto. Para isso foram

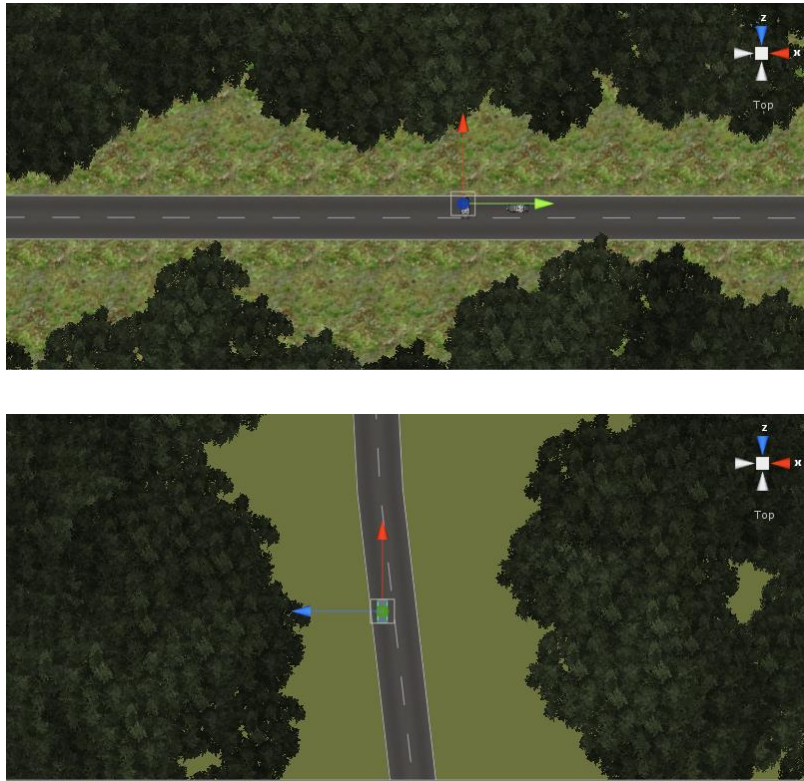
<sup>1</sup> Laboratório de Inteligência Artificial e Ciência dos Computadores.

<sup>2</sup> Ferramenta com IDE embutido para desenvolvimento de videojogos interativos 2D e 3D multiplataforma, desenvolvido pela Unity Technologies, podendo-se usar C# e JavaScript para programar. O motor gráfico utiliza Direct3D e OpenGL.

<sup>3</sup> Do inglês *In-Car Ergonomics Evaluation Platform*.

## Validação Experimental com Condutores

definidos 68 *waypoints*, indicando-se a velocidade que se pretendia para o carro em cada um, de forma a conseguir simular o comportamento pretendido (ver Tabela 2), tendo em conta a aceleração/desaceleração.



**Figura 25.** *Screenshots* do jogo desenvolvido no Unity 3D. Em cima, está parte da reta do circuito, podendo-se observar o  $car_{ref}$  e o  $car_{host}$ , e em baixo, parte da curva do lado esquerdo do circuito, observando-se um dos veículos autónomos que circulavam em sentido contrário.

Os carros autónomos que circulavam na faixa contrária usavam o mesmo *script* referido anteriormente, mas percorriam os *waypoints* em sentido inverso, sendo a velocidade em cada um de 90 km/h.

Todos os carros estavam modelados de acordo com as características reais do motor, dinâmica, controlo, limites e aspeto de um BMW Z4. A interação com o carro guiado encontrava-se implementada em *scripts* C# e JavaScript, não tendo sido implementada a utilização da caixa de velocidades e embraiagem, i.e., as velocidades eram automáticas.

Quanto ao HUD desenvolvido, como já estava embutido no próprio código (ver ponto 3.3.2), não foi necessária qualquer montagem externa.

Na Tabela 3 estão resumidas as características mais relevantes do cenário para ambos os simuladores.

**Tabela 3.** Resumo das características do cenário implementado nos simuladores.

<b>Comprimento aproximado total do circuito</b>	16000 m
<b>Comprimento aproximado do trajeto</b>	9000 m
<b>Largura de cada faixa</b>	3.5 m
<b>Tipo de estrada</b>	Via rápida sem separador central, com vegetação (árvores) circundante
<b>Número de curvas no trajeto</b>	1 (longa e fácil)
<b>Limite de velocidade da estrada</b>	90 km/h
<b>Velocidades possíveis do carro de referência</b>	0 km/h, 40 km/h, 80 km/h, 110 km/h, 140 km/h
<b>Densidade média do tráfego na faixa contrária</b>	1 veículo por 567 m
<b>Velocidade dos carros na faixa contrária</b>	90 km/h

### 4.3 Experiências de Simulação

Tendo por base o estudo efetuado sobre a literatura existente acerca de simuladores de condução e IVIS, foram planeadas e realizadas experiências de simulação envolvendo pessoas reais (participantes), de forma a testar e comparar os dois simuladores descritos e a influência do HUD desenvolvido em ambos.

#### 4.3.1 Metodologia de Recolha dos Dados

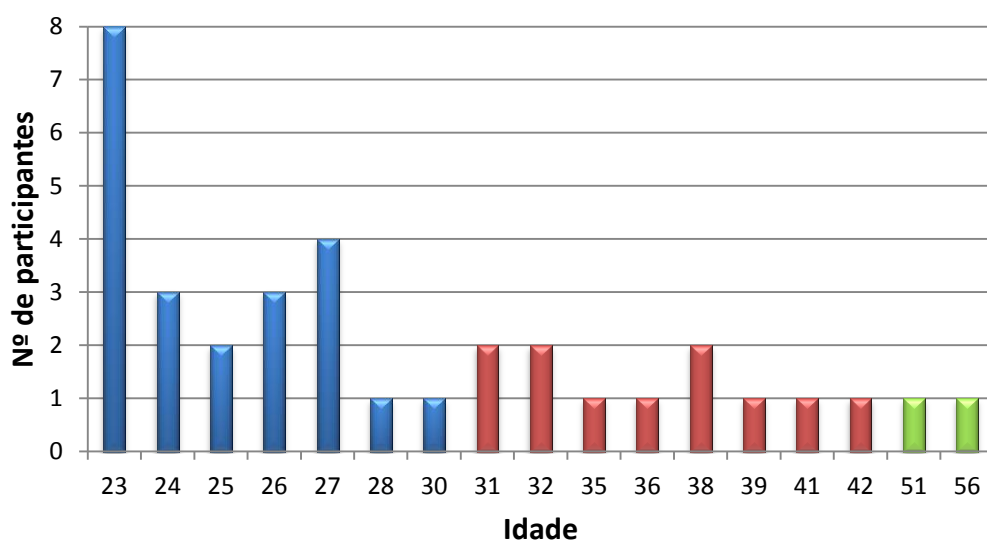
Para a recolha dos dados das experiências, foram efetuadas medidas objetivas, que consistiram na gravação de dados para ficheiro no decorrer de cada experiência (ver ponto 3.4); e medidas subjetivas, que consistiram num questionário pré-simulação, para caracterização dos condutores, e um questionário pós-simulação, composto maioritariamente por questões baseadas numa escala de Likert de 5 pontos, para conhecimento da perceção dos condutores sobre as experiências.

O questionário pré-simulação foi preenchido por cada participante antes do início das experiências, e era composto de questões pessoais: idade, género, profissão, área da profissão, número médio de km já percorridos com um carro, anos de experiência de condução, etc. O questionário pós-simulação foi preenchido após realizarem todos os ensaios, e era composto por

questões sobre o que sentiram nas experiências que realizaram, as características dos simuladores e do ambiente, o controlo do carro, e a perceção da informação no HUD. Os questionários utilizados encontram-se no Anexo C.

### 4.3.2 Caracterização dos Participantes

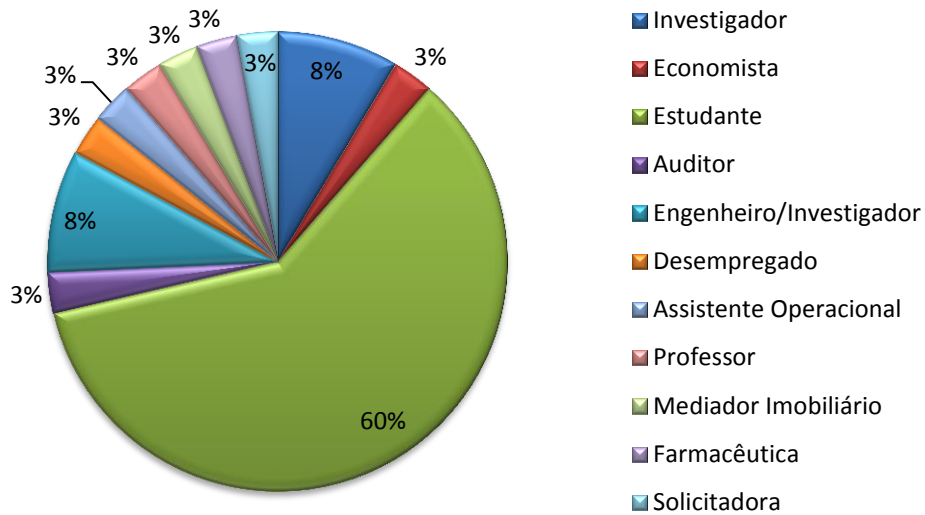
O recrutamento de voluntários passou pelo envio de *email* a toda a comunidade da FEUP e a pessoas conhecidas a nível pessoal, solicitando indivíduos com carta de condução válida e experiência de condução de pelo menos 5 anos e com pelo menos 10 000 km percorridos. A experiência na estrada e o conhecimento do código da estrada eram importantes para que o ambiente de simulação fosse o mais familiar possível para os condutores e menos sujeito a erros por falta de experiência ou conhecimentos. O *email* foi enviado para potencialmente 34 849 pessoas, incluindo estudantes, antigos estudantes, funcionários e professores, tendo-se conseguido cerca de 60 voluntários. No entanto, apenas 35 realmente efetuaram os testes (0,1%), sendo 10 do sexo feminino e 25 do sexo masculino. Apesar disso, o número de participantes foi bastante bom, pois fazendo uma analogia com testes de usabilidade, de acordo com Nielsen e Landauer (1993) o número ideal de participantes para este tipo de testes seria entre 10 a 15.



**Figura 26.** Idade dos participantes nas experiências de simulação.

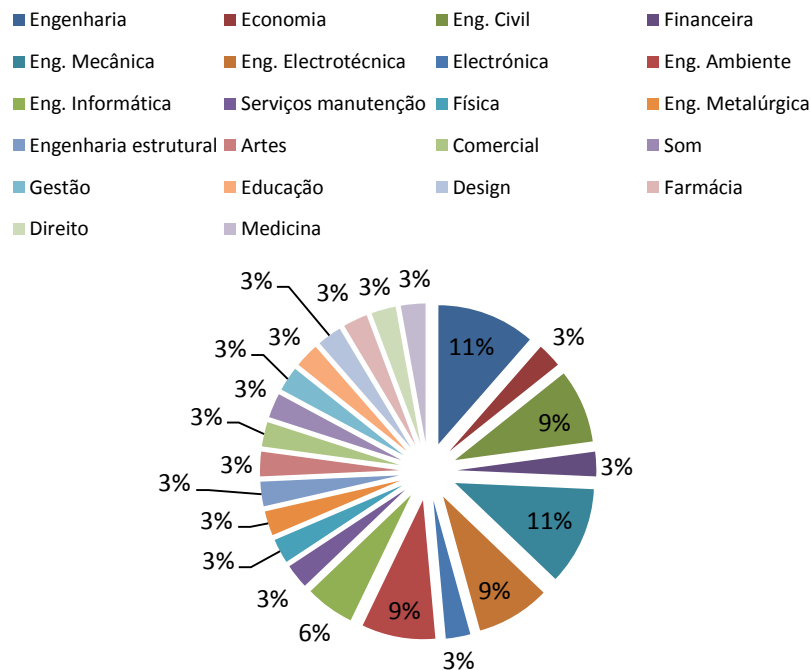
Observando o gráfico na Figura 26, os participantes tinham entre 23 e 56 anos, com uma média de 30 anos e uma moda de 23. A maioria, 63% (22 participantes), tinha 30 anos ou menos, 31% (11) estava entre os 31 e 42 anos, e apenas 6% (2) tinham mais de 50 anos, sendo por isso uma população relativamente jovem.

## Validação Experimental com Condutores



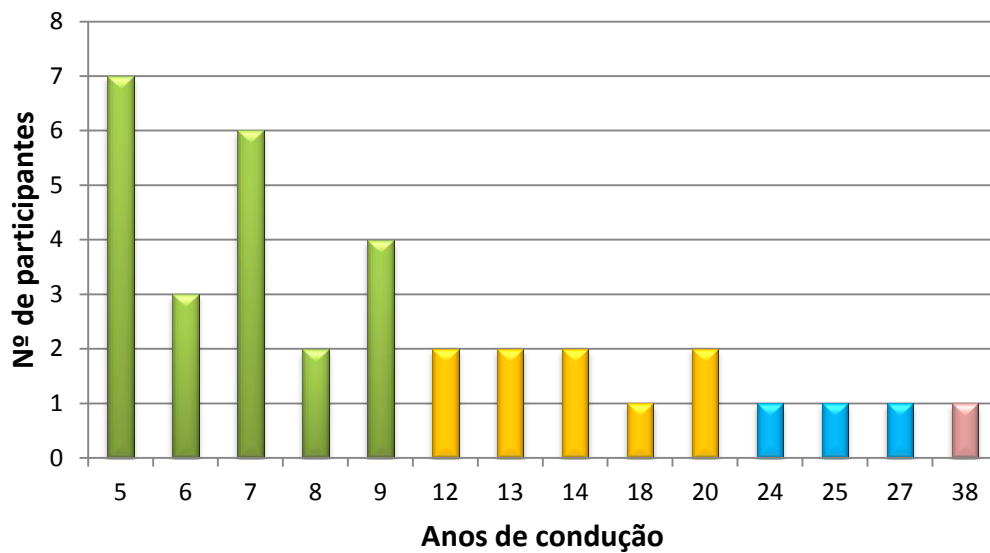
**Figura 27.** Distribuição das profissões dos participantes.

A maioria (60%) eram estudantes e 16% eram engenheiros ou engenheiros/investigadores, sendo que grande parte da área das profissões era ligada às engenharias (Figura 28), o que seria de esperar uma vez que o principal meio de divulgação foi a partir da FEUP.



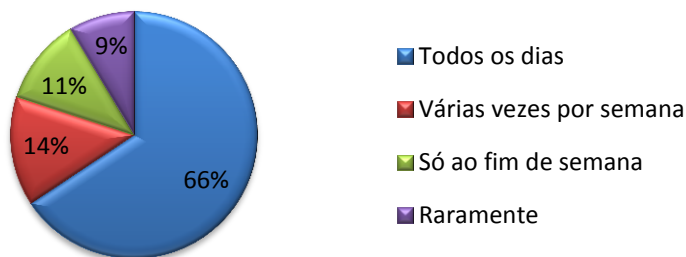
**Figura 28.** Área da profissão dos participantes.

## Validação Experimental com Condutores



**Figura 29.** Anos de experiência de condução dos participantes.

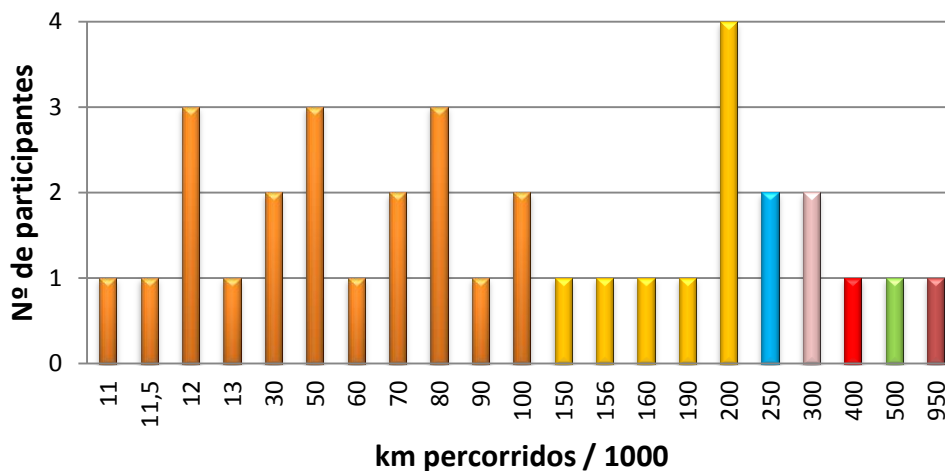
Em relação à experiência de condução, 63% dos participantes tinham entre 5 e 9 anos de experiência, 26% entre 12 e 20, 9% entre os 24 e 27, e apenas 3% tinham mais de 35 anos de experiência, que correspondiam ao mais velho. Expectavelmente, comparando os gráficos de experiência de condução e idade, pode-se verificar que são muito semelhantes, o que mostra que a idade estava de certa forma relacionada com a experiência que tinham, e que quanto maior a idade maior o número de anos de experiência.



**Figura 30.** Caracterização dos participantes em termos de frequência de condução no último ano.

Pela Figura 30 verifica-se que a grande maioria dos participantes conduzia todos os dias, e que só 3 raramente conduziam.

## Validação Experimental com Condutores



**Figura 31.** Número de km já percorridos como condutor por cada participante.

Analisando a Figura 31, 57% dos voluntários já tinha percorrido até 100 mil km, constituindo a maioria, 23% tinha feito até 200 mil, 6% até 250 mil, outros 6% até 300 mil, e os restantes 8% tinham percorrido pelo menos 400 mil km. No geral, os que tinham percorrido menos km eram os que tinham menos experiência de condução e também menor idade.

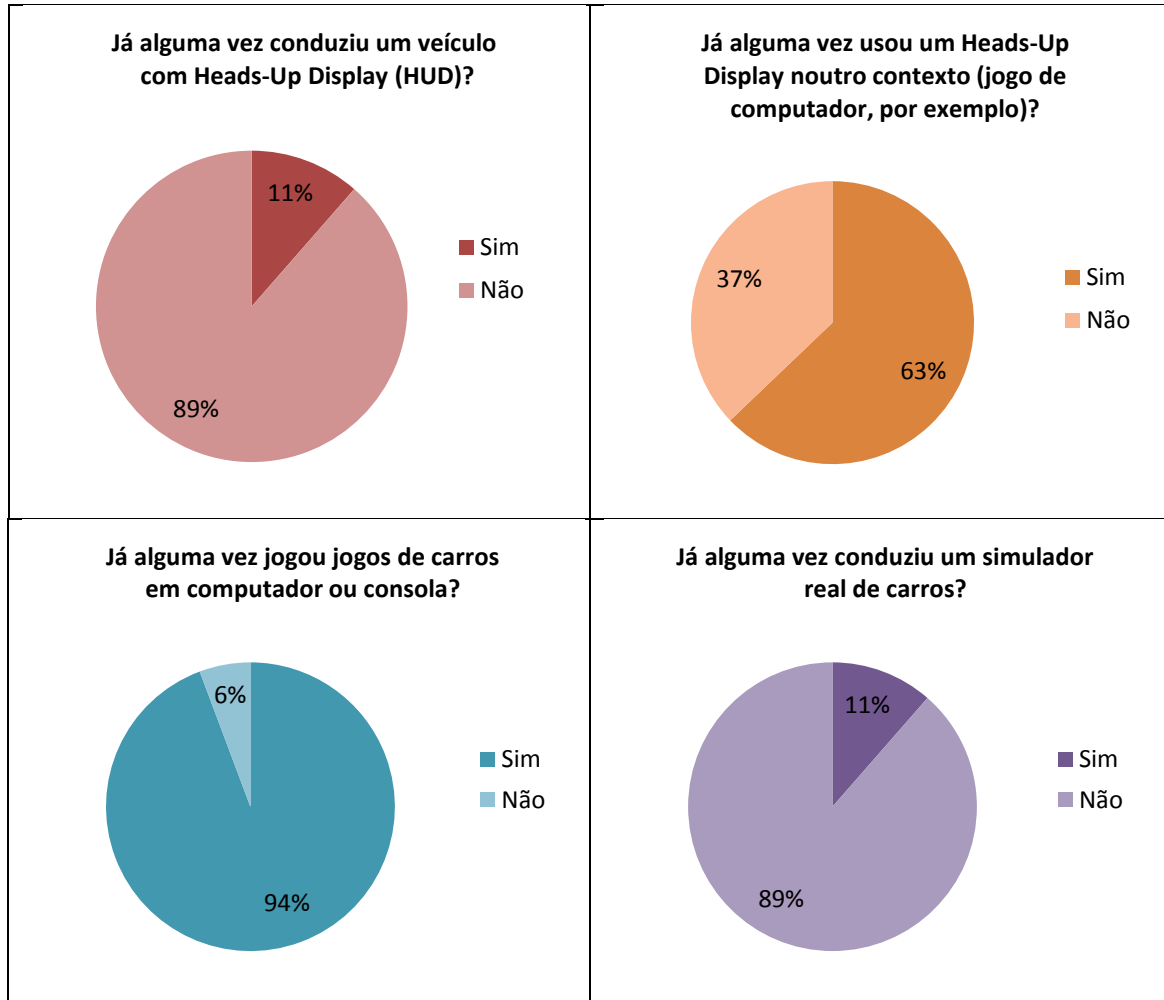
Em relação às respostas relativas às perguntas que se encontram na Figura 32, 89% dos participantes nunca tinha conduzido um veículo real com HUD, mas 63% já tinha usado HUD noutro contexto, como por exemplo em jogos de computador. No entanto, 94% dos indivíduos já tinha jogado jogos de carros o que despertou a atenção, pois se apenas 63% afirmaram ter usado HUD noutro contexto, não deveriam ter noção do que era um HUD num jogo de computador ou consola, apesar de no início das experiências se ter contextualizado os participantes e explicado o significado de HUD. 89% dos participantes nunca tinha experimentado um simulador de condução como o DriS.

### 4.3.3 Descrição das Experiências

As experiências de simulação consistiram na condução de um veículo ( $car_{host}$ ) no simulador de condução de médio custo de base fixa e no de baixo custo baseado num PC, num trajeto especialmente concebido para as experiências, já descrito anteriormente, tendo como prevista uma duração total de 40 minutos, já com o preenchimento dos questionários incluído. No início de cada simulação estava um carro ( $car_{ref}$ ) à frente do carro do participante, que desempenhava os comportamentos também já descritos anteriormente (secção 4.1), estando o participante proibido de ultrapassar esse carro, de forma a se poder estudar a forma como este se aproximava ou afastava do  $car_{ref}$  e a sua resposta à informação no HUD. Os participantes foram informados do tipo de avisos que iam aparecer no HUD, e no caso do aviso de excesso de velocidade, apenas se pediu para obedecerem a este da primeira vez que aparecesse, uma vez

## Validação Experimental com Condutores

que aqui só se pretendia medir o tempo de reação ao seu aparecimento e não limitar a velocidade do condutor durante o resto do percurso. Isto porque devido à velocidade do  $car_{ref}$  em determinadas alturas, o condutor iria ter de exceder o limite de velocidade da estrada (90 km/h) para o conseguir perseguir.



**Figura 32.** Respostas dos participantes a algumas das questões no questionário pré-simulação.

Para poder avaliar e comparar os comportamentos e opiniões dos participantes, estes foram divididos em dois grupos: um que iniciava os testes de simulação no DriS e depois no computador, e outro que iniciava no computador e depois no DriS. A razão para esta divisão foi para verificar se existiam diferenças significativas no comportamento e opinião dos participantes por começarem em simuladores diferentes, e para evitar introduzir tendências nos resultados. Todos os participantes deviam seguir as instruções que lhes eram dadas num guião no início das experiências (ver Anexo B).



**Figura 33.** Fotografia de um dos participantes durante a simulação no DriS.



**Figura 34.** Fotografia de um dos participantes durante a simulação no computador.

Cada experiência consistiu em 2 ensaios, em cada um dos simuladores, com uma duração aproximada de 6 minutos cada, correspondentes a um ensaio base (*baseline*), sem o uso do HUD, e a outro com o HUD. O ensaio base foi realizado com o propósito de verificar se a condução piorava, melhorava ou se mantinha em comparação com o ensaio com HUD. Todos os participantes começaram primeiro com o ensaio base e só depois fizeram o ensaio com HUD, porque se pretendia verificar a forma como o aparecimento da informação no HUD influenciava os condutores após conduzirem sem qualquer informação visual no seu campo de visão. Também para não enviesar os resultados, em metade dos participantes o ensaio base começava com o comportamento 1 do  $car_{ref}$  e o ensaio com HUD com o comportamento 2, e a outra metade ao contrário.

Antes de efetuar os ensaios, os participantes fizeram um ensaio experimental de condução em cada simulador de forma a se ambientarem ao uso do volante, dos pedais e ao meio envolvente. Só quando se sentiam preparados podiam avançar para os ensaios. Durante cada ensaio, o condutor devia tentar conduzir o carro normalmente como faria na realidade.

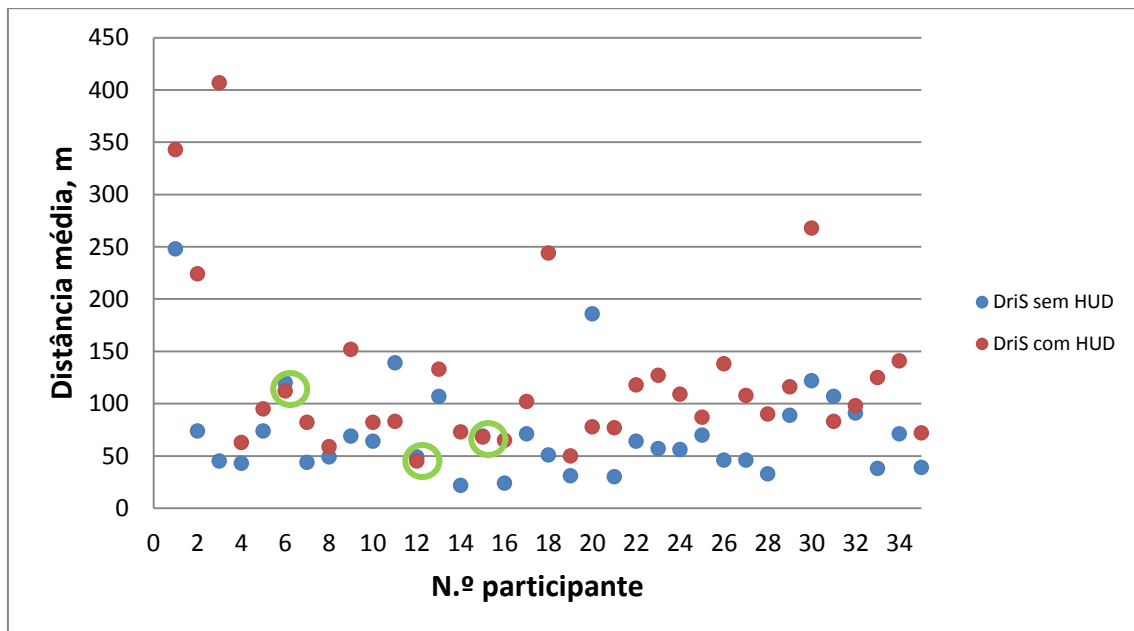
Como já referido, os ensaios foram realizados com a luz apagada e as cortinas fechadas para evitar interferências do meio envolvente.

### 4.4 Análise dos Resultados das Experiências

Os resultados obtidos após processamento dos dados registados nas experiências e a sua análise encontram-se descritos nesta secção.

#### 4.4.1 Avaliação do Cumprimento da Distância de Segurança

Um dos objetivos da implementação do aviso de violação da distância de segurança no HUD foi para verificar se os condutores o respeitavam, i.e., se mantinham a distância de segurança ao veículo da frente, se o seu comportamento com e sem HUD era diferente, e se o respeitavam da mesma forma em ambos os simuladores.

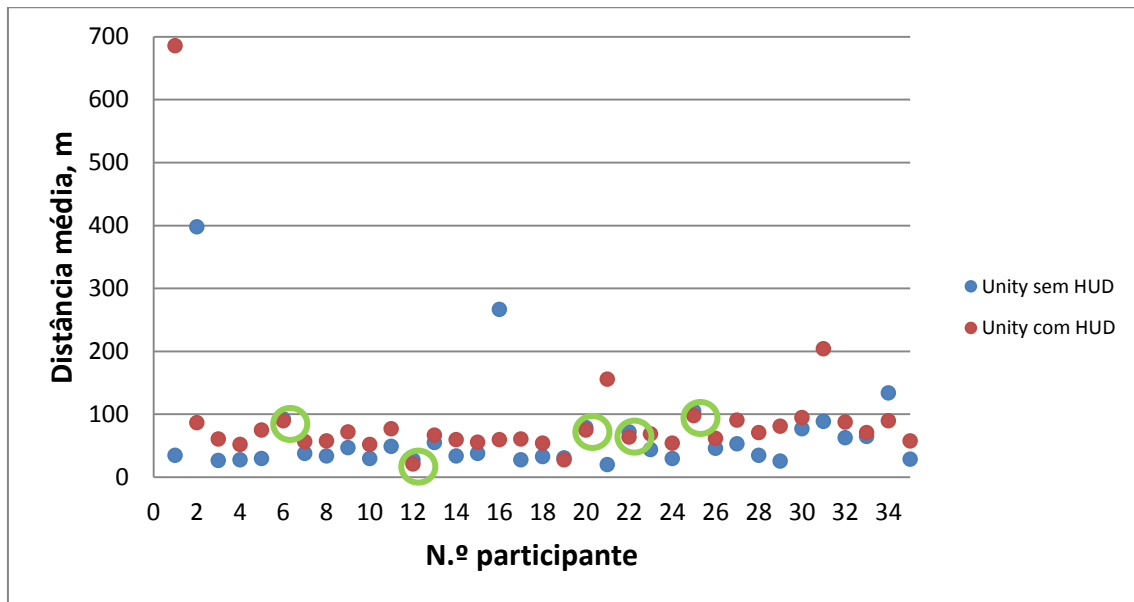


**Figura 35.** Distância média de cada participante ao veículo de referência, em metros, ao longo dos ensaios no simulador de médio custo, com e sem HUD.

Analisando os dados obtidos, verificou-se que a maioria dos condutores, na maior parte do percurso, mantinha uma distância superior ao veículo de referência quando utilizavam o HUD do que quando não utilizavam. Esta situação verificou-se quer para o DriS quer para o simulador de baixo custo (ver Figura 35 e Figura 36), excepto para 3 (6%) dos participantes, todos do sexo masculino, no caso do DriS, e para 5 (14%) no caso do simulador de baixo custo (3 do sexo masculino e 2 do feminino, 2 dos quais foram os mesmos que do DriS), que mantiveram uma distância média superior sem HUD (ver círculos a verde nos dois gráficos a seguir). No entanto, a distância média foi próxima para os 2 simuladores, como se pode constatar pela Tabela 11 no Anexo D, e por isso não se considerou a diferença significativa entre os resultados dos simuladores, já que os dados são insuficientes para realizar um teste ANOVA. Esta discrepância pode ser talvez explicada por esses 8 condutores terem uma condução mais inconstante, causando mais variações de distância que acabaram por ser maiores no caso sem HUD, variações essas que não são consideradas significativas. De facto, durante as simulações, observou-se que pelo menos 2 destes condutores, ambos do sexo masculino, eram bastante impacientes, em especial o participante 12, de 23 anos e que aparentava ter uma

## Validação Experimental com Condutores

personalidade mais imatura, que não respeitou a informação no HUD intencionalmente, tendo inclusive comentado que só respeitava os avisos que apareciam para não ter que os ouvir. Este participante circulou também intencionalmente a maior parte do tempo fora da faixa. Como havia outros participantes de 23 anos e mais nenhum teve este tipo de comportamento, pode-se concluir que a personalidade desse condutor foi um fator influente na sua condução e comportamento.



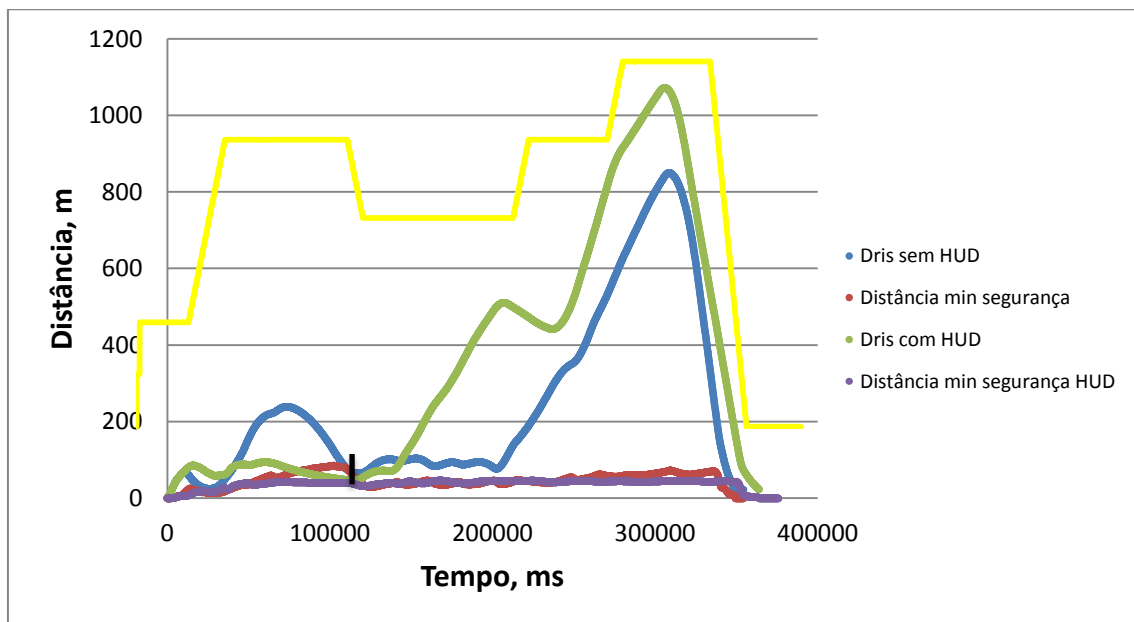
**Figura 36.** Distância média de cada participante ao veículo de referência, em metros, ao longo dos ensaios no simulador de baixo custo, com e sem HUD.

Na Figura 37 pode-se observar o comportamento de um dos participantes, relativamente à distância que mantinha ao veículo de referência no simulador de condução, quando estava a conduzir com e sem o auxílio do HUD, observando-se a diferença de distâncias. Em ambos os casos o condutor manteve quase sempre a distância de segurança, conforme se pode constatar comparando com os traçados (a vermelho e roxo) da distância mínima de segurança aconselhada para a velocidade a que circulava. A única exceção foi aquela que está assinalada com um traço preto vertical, que foi a única altura em que este condutor violou a distância de segurança. Essa violação ocorreu quando não tinha o auxílio do HUD.

Uma observação curiosa diz respeito aos picos maiores observados nos traçados com e sem HUD. Conforme se pode ver pela linha amarela no gráfico, que representa a variação da velocidade do carro de referência ao longo do tempo para o comportamento 1, na situação sem HUD, verifica-se pelos picos que estes correspondem exatamente à altura em que o carro à frente aumentava de velocidade. Nestas situações a distância entre os carros aumentava, uma vez que o condutor não estava a contar com esse aumento de velocidade, acabando por se aproximar ao fim de algum tempo, conforme se pode ver pelo formato da linha azul no gráfico.

## Validação Experimental com Condutores

Por volta dos 110 s, como o carro à frente está a reduzir de velocidade, o condutor acaba por se aproximar demais violando a distância segura, tendo sido a única vez que o fez. O mesmo se passou no ensaio com HUD, em que o condutor começou por manter sempre uma distância de segurança, apesar de reduzida no início, nunca chegando a violar a distância de segurança. Como neste caso tinha o auxílio do HUD, talvez por pressão mental ou por recear que aparecesse o aviso de violação de distância de segurança, a partir do momento em que o carro de referência aumentou de velocidade para os 110 km/h, o condutor aumentou a distância ao veículo da frente, mantendo sempre até ao final do percurso uma distância maior do que a que teve quando não tinha o HUD.



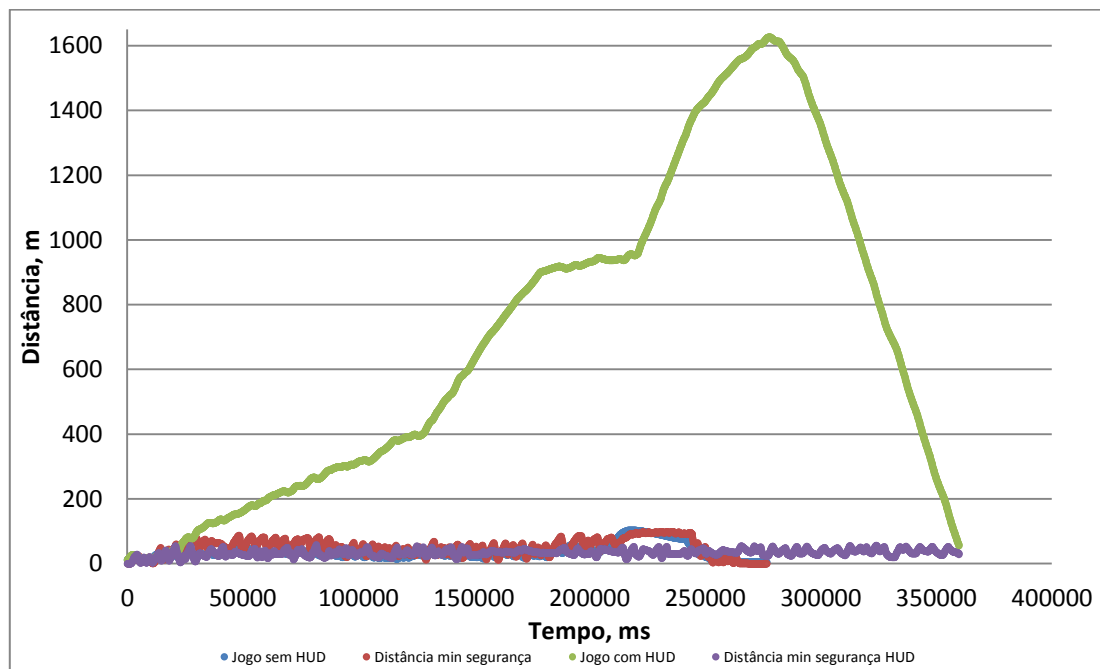
**Figura 37.** Comparação da distância ao veículo da frente com e sem HUD para o participante 1 no DriS, sendo apresentada a distância mínima de segurança para cada caso. A linha amarela representa a variação da velocidade do carro de referência ao longo do tempo para o comportamento 1, na situação sem HUD.

Em relação aos outros participantes, passou-se algo similar, sendo os gráficos obtidos semelhantes ao do participante 1, variando apenas na distância que mantinham ao carro da frente. Não se verificaram diferenças em relação ao género dos participantes. Os gráficos individuais não são apresentados para não tornar o documento excessivamente extenso, mas apresentou-se um gráfico com a distância média de cada participante, em cada simulador (Figura 35, Figura 36).

Estes resultados mostram que os condutores não tiveram grandes dificuldades em controlar o carro durante a simulação, quer fossem do sexo masculino ou feminino.

## Validação Experimental com Condutores

Em relação ao simulador de baixo custo (Figura 38), para o mesmo condutor, verificou-se que sem o auxílio do HUD violou 33 vezes a distância de segurança, mantendo-se sempre bastante próximo do carro de referência. Com o auxílio do HUD, o condutor violou apenas 6 vezes a distância segura, mantendo-se sempre muito mais afastado do carro à frente, conforme se pode observar pela linha verde. Contrariamente ao simulador de médio custo, verificou-se que o condutor tinha mais dificuldade em controlar o carro, especialmente em termos de controlo lateral e de velocidade, sendo difícil de manter um valor constante. Conforme se pode observar pelas Figura 39, Figura 41 e Figura 41, o condutor teve ligeiras variações de velocidade no simulador de médio custo, ao passo que no simulador de baixo custo a sua velocidade tinha grandes oscilações. Esta dificuldade verificou-se para todos os participantes, quer do sexo masculino, quer do feminino, apesar de algumas mulheres terem tido mais dificuldade na adaptação inicial ao jogo (ensaio de habituação), apresentando-se apenas os gráficos para o participante 1, para não tornar o documento extenso, como já referido.

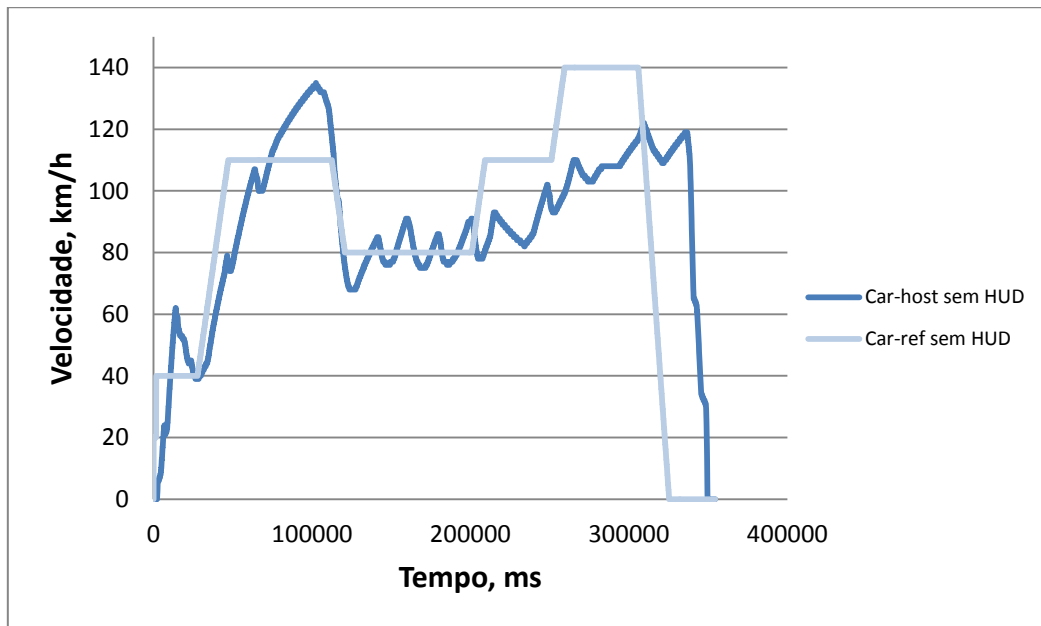


**Figura 38.** Comparação da distância ao veículo da frente com e sem HUD para o participante 1 no simulador de baixo custo, sendo apresentada a distância mínima de segurança para cada caso.

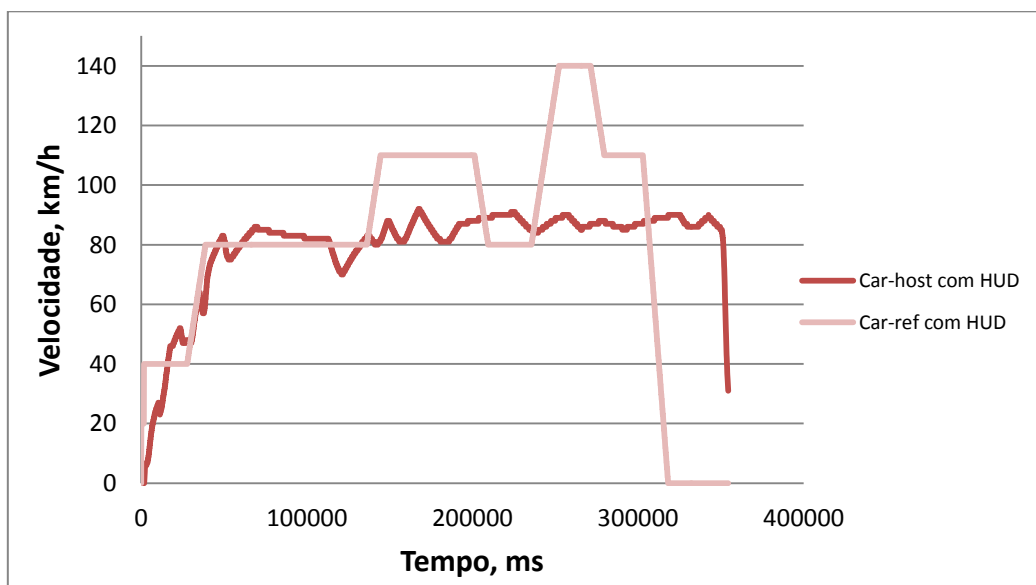
Em termos gerais, os resultados de ambos os simuladores permitem tirar a importante conclusão de que a exibição do aviso de violação da distância de segurança num HUD auxilia a um comportamento mais seguro, pelo menos em termos de manutenção da distância de segurança, e que a sua utilização em simuladores diferentes não influenciou os resultados. Isto foi comprovado com o teste ANOVA na Tabela 12 no Anexo D, que mostra que a diferença da

## Validação Experimental com Condutores

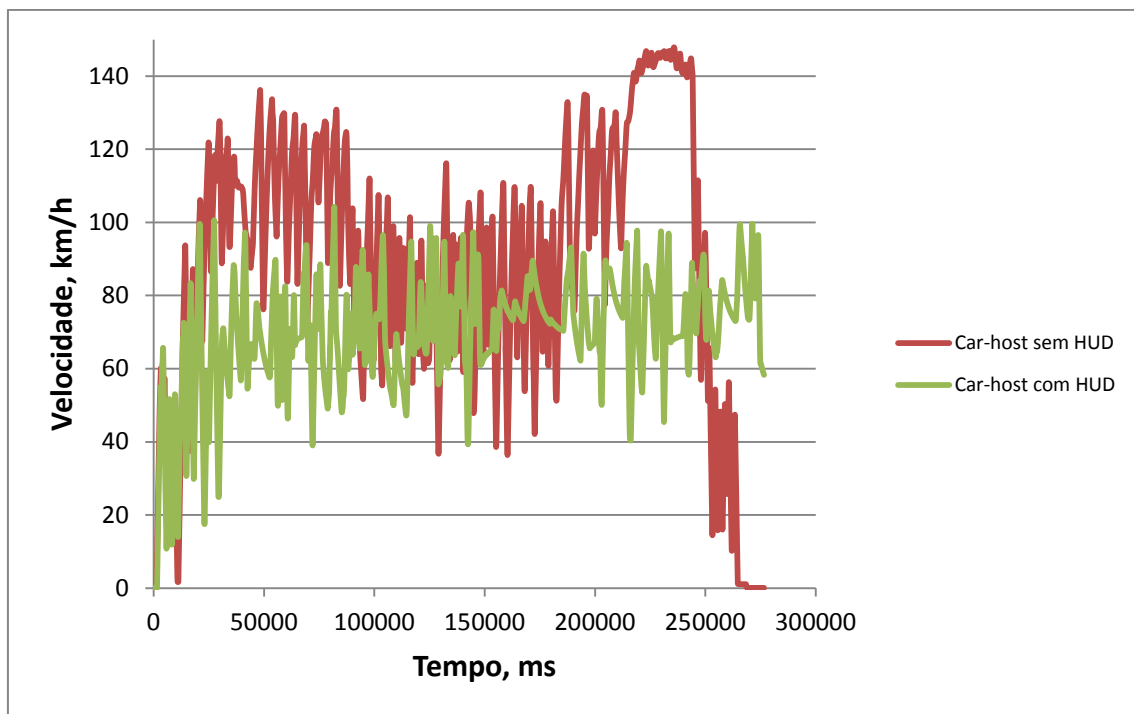
distância média ao carro de referência entre os simuladores com o uso do HUD não foi significativa, e por isso, o HUD é eficaz para o cumprimento da distância de segurança em ambos os simuladores, e como tal foi percebido de forma equivalente.



**Figura 39.** Variação da velocidade do  $car_{host}$  e do  $car_{ref}$  ao longo do tempo, na situação sem HUD, para o simulador de médio custo.



**Figura 40.** Variação da velocidade do  $car_{host}$  e do  $car_{ref}$  ao longo do tempo, na situação com HUD, para o simulador de médio custo.



**Figura 41.** Variação da velocidade do  $car_{host}$  e do  $car_{ref}$  ao longo do tempo, com e sem HUD, para o simulador de baixo custo.

Outro acontecimento relevante foi o que se pode visualizar nas Figura 50, Figura 51 e Tabela 7 (colocadas no Anexo D por serem grandes ou extensas para representar aqui no texto), que dizem respeito ao número de violações do aviso de violação da distância de segurança por participante, em cada simulador: em ambos os simuladores verificou-se que o número de violações foi maior usando o HUD do que não usando, em 51% dos casos para o simulador de médio custo e 57% para o de baixo custo, apesar de a distância ao carro da frente ter sido sempre maior com HUD do que sem. Desses valores, 22% e 25% eram do sexo feminino, respetivamente.

Efetuando-se o teste ANOVA para cada um dos simuladores, sem e com HUD, verifica-se que a diferença entre as amostras, para cada simulador, não é significativa (ver Tabela 9 e Tabela 10 no Anexo D), e como tal não tem qualquer implicação nas conclusões já tiradas. No entanto, efetuando-se o teste ANOVA para a situação com HUD, verifica-se que a diferença entre os simuladores é significativa (ver Tabela 8 no Anexo D), ou seja, o número médio de violações no jogo é muito maior que no simulador de médio custo. Isto permite concluir e confirmar que é mais fácil de controlar o carro no simulador de médio custo do que no de baixo custo.

Em relação à comparação de géneros, não se observaram diferenças dentro do mesmo simulador (Tabela 4). Por outro lado, tanto para o sexo masculino, como para o sexo feminino, a diferença de um simulador para o outro já é significativa, como já se tinha constatado pela

Tabela 8 no Anexo D, e por isso, o número médio de violações no jogo é muito maior que no simulador de médio custo para ambos os sexos, o que se deveu à dificuldade que os condutores tinham em controlar o carro. Ou seja, mais uma vez não houve influência do género nesta métrica, e como tal o género não foi um fator influente neste estudo.

**Tabela 4.** Comparação da percentagem de violações do aviso de violação da distância de segurança entre géneros, para cada simulador.

	Feminino		Masculino	
	sem HUD	com HUD	sem HUD	com HUD
<b>DriS</b>	4.7 %	3.5 %	3.44 %	4.76
<b>Jogo</b>	26.9 %	26.4 %	30.44 %	32.28 %

#### 4.4.2 Avaliação do Tempo de Reação às Informações no HUD

A implementação do aviso de excesso de velocidade foi uma forma adicional ao aviso de violação da distância de segurança, de verificar o tempo de reação dos condutores à informação que aparecia no HUD. Com isto pretendia-se verificar qual o tempo de reação ao aparecimento da informação e se era o mesmo entre os simuladores. Nas Tabela 13 a Tabela 16, no Anexo D, encontram-se os tempos de reação obtidos, assim como o respetivo teste ANOVA para verificar se as diferenças entre os simuladores eram significativas. Os dados considerados para este tipo de análise foram só aqueles em que o participante travou ou reduziu com intenção de cumprir o alerta que apareceu. Tendo em consideração que para o caso do aviso de excesso de velocidade, no simulador de condução, dois dos participantes (um feminino e outro masculino) tinham um “tempo de reação” muito elevado (ver as tabelas referidas atrás), ou seja, não reagiram ao aviso durante bastante tempo, foram excluídos da amostra respetiva. Isto terá sucedido por distração ou por simplesmente não quererem obedecer, pois não faz sentido ter um tempo de reação tão grande (5.40 s e 6.20 s, respetivamente), até porque no caso do participante feminino, teve tempos de reação dentro da média nos outros ensaios. Quanto ao masculino, teve o mesmo comportamento em relação ao aviso da violação da distância no jogo, tendo sido também excluído dessa amostra, e nos outros 2 ensaios teve reações dentro da média. No caso do aviso de excesso de velocidade no jogo, houve um participante feminino que não obedeceu ao alerta e como tal foi também excluído. Por último, quanto ao aviso da violação da distância no simulador de médio custo, foram excluídos os dados de 10 participantes. Cinco deles porque simplesmente não violaram a distância nenhuma vez, o que leva logo a concluir que os condutores tiveram mais facilidade em controlar o carro no DriS, 2 porque não respeitaram o aviso intencionalmente, outros 2 porque não foi possível aferir o tempo de reação por já virem a reduzir de velocidade antes sequer de aparecer o aviso, e um outro porque sempre que aparecia

o aviso da distância, o aviso de excesso de velocidade estava ativo, não dando para perceber por qual dos dois o condutor estava a reduzir.

Analisando os dados válidos, para o caso do aviso de excesso de velocidade, verificou-se que o tempo de reação entre participantes num dado simulador era próximo (ver Figura 52 e Figura 53), sendo a média de 1.40s para o simulador de médio custo e de 0.53s para o jogo, com um desvio padrão de 0.68s e 0.22s, respetivamente. No entanto, comparando-se os valores entre simuladores, verificou-se que a diferença era significativa e como tal, os tempos de reação no simulador de médio custo eram superiores aos tempos no jogo. Outra observação que se pôde fazer entre os dois simuladores, é que no caso do simulador de médio custo nenhum dos condutores travou quando aparecia um alerta no HUD, para ambos os tipos de alerta, e no caso do jogo, todos, sem exceção, travavam quando aparecia um alerta. Tudo isto pode estar relacionado com o facto de os participantes se terem queixado que não dava para perceber se o carro à frente estava a travar, pois não tinha luzes de travagem. Como o campo de visão no jogo era menor do que no DriS, e devido às configurações do próprio veículo o carro respondia (reduzia/acelerava) mais rapidamente no jogo<sup>1</sup>, os condutores aproximavam-se mais rapidamente do carro à frente sendo forçados a travar para conseguir reduzir a tempo. Uma explicação para a diferença entre os tempos de reação poderá então estar aí.

O mesmo se passou para os tempos de reação ao aviso de violação da distância de segurança, em que o tempo de reação médio foi de 0.94s no caso do simulador de médio custo, e de 0.33s no jogo. Os desvios padrões foram 0.56s e 0.23s, respetivamente. A diferença entre simuladores também foi significativa, tirando-se as mesmas conclusões já referidas.

Fazendo uma comparação entre géneros (da Tabela 17 à Tabela 20, no Anexo D), verificou-se que não existem diferenças entre os tempos de reação para o aviso de excesso de velocidade em ambos os simuladores, nem para o aviso de violação da distância de segurança no jogo, mas, detetou-se uma diferença significativa para o aviso de violação da distância de segurança no simulador de médio custo. No entanto, este caso foi também aquele em que a amostra era a menor, uma vez que foi necessário remover alguns registos por estarem fora dos valores considerados normais (ver análise no Anexo D), tornando a dimensão das amostras femininas insuficiente. Consequentemente, não se podem considerar os testes ANOVA para a comparação entre géneros, em termos de tempo de reação, como válidos.

Finalmente, tendo em conta a análise efetuada, pode-se dizer que os condutores tinham a mesma perceção da informação nos dois simuladores, e por isso os HUD eram equivalentes, o que é confirmado pela análise do questionário no ponto seguinte.

---

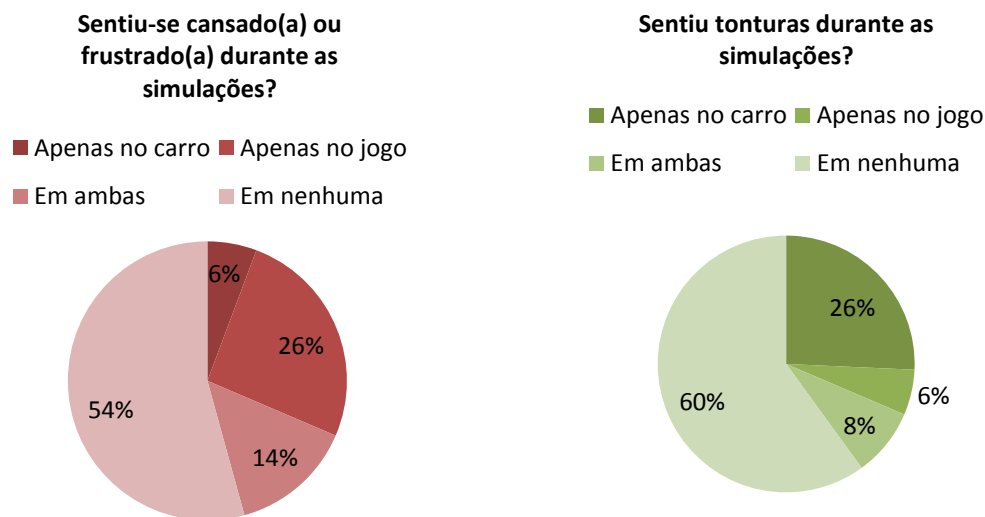
<sup>1</sup> De facto, os participantes queixaram-se dessa diferença na sensibilidade do acelerador entre os simuladores (ver ponto 4.5.5).

## 4.5 Análise das respostas subjetivas

Neste ponto são apresentados os resultados obtidos para as respostas subjetivas ao questionário pós-simulação (ver Anexo C), fazendo-se uma comparação com os resultados das medidas objetivas já analisadas.

### 4.5.1 Análise do Impacto dos Simuladores no Condutor

Com as questões do grupo 1 pretendeu-se a avaliar o impacto de cada simulador no bem-estar do condutor. Como se pode ver pelos gráficos na Figura 42, a maioria dos condutores não sentiu desconforto na utilização dos simuladores (50% das mulheres e 56% dos homens), e dos que sentiram desconforto, a maioria sentiu cansaço/frustração apenas no jogo para o caso dos homens (32% dos homens), e em ambos os simuladores para o caso das mulheres (40% das mulheres). Quanto às tonturas a maioria sentiu apenas no carro. Os condutores que sentiram desconforto referiram que no jogo o carro era mais difícil de controlar, o que os fazia sentir mais frustrados ou cansados. No caso do simulador de condução, experimentavam tonturas ao terminar a simulação no carro, o que era normal por causa da imagem na tela estar em movimento e o carro parado, “enganando” o cérebro, sensação que não era tão sentida no jogo.



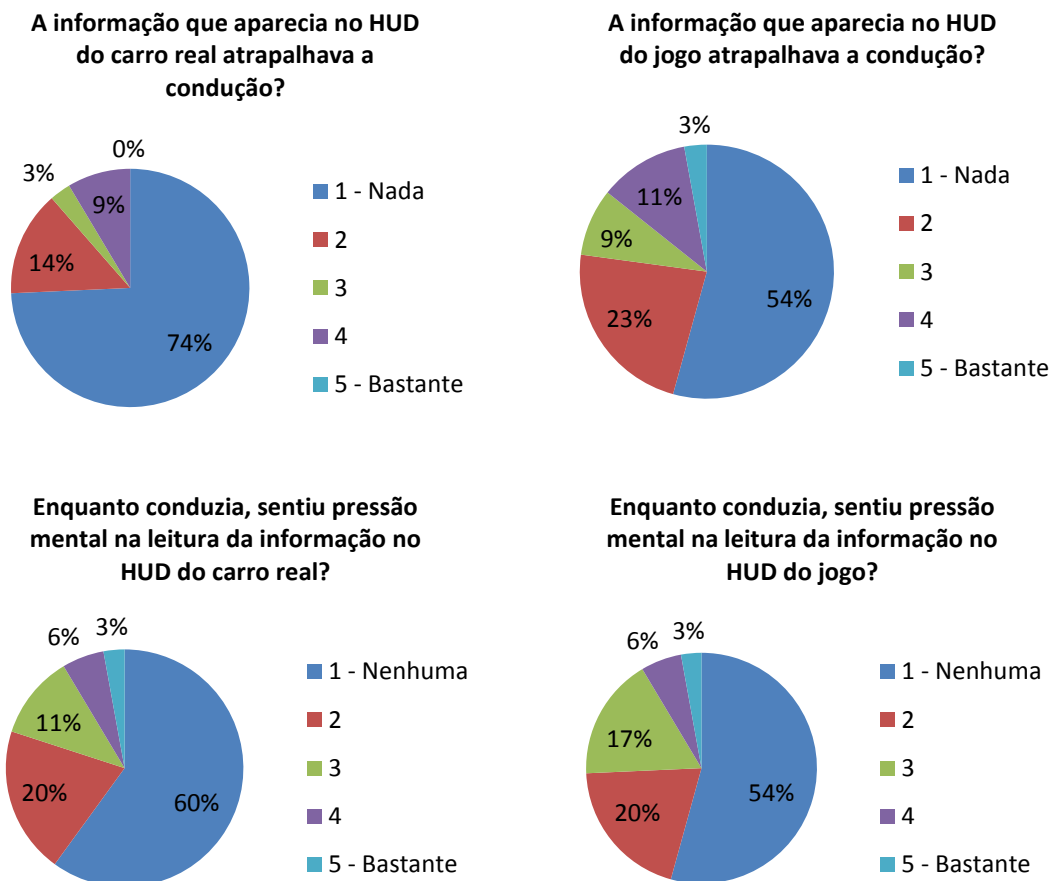
**Figura 42.** Respostas dos participantes às questões de avaliação do bem-estar durante as simulações.

### 4.5.2 Avaliação do HUD

As questões dos grupos 2, 3 e 4 pretendiam avaliar o HUD, quer em termos da pressão mental e da perceção da informação que era mostrada, quer da sua influência na condução e visão da estrada.

De acordo com a Figura 43, a maior parte dos participantes não achou que a informação atrapalhasse a condução, especialmente no simulador de condução (74% no caso do simulador de condução e 54% no caso do jogo). Isto também se deveu à maior dificuldade que os participantes tinham em controlar o carro no jogo, e por isso não conseguiam ter uma distância tão estável ao carro da frente, fazendo com o que o aviso de violação da distância aparecesse muito mais vezes do que aparecia no simulador de condução, como já se constatou pela análise feita em 4.4, atrapalhando a condução.

A maioria dos condutores também não sentiu pressão mental na leitura da informação que aparecia no HUD, em ambos simuladores (ligeiramente mais no DriS). Só 9% considerou haver pressão, quer para um simulador, quer para o outro.

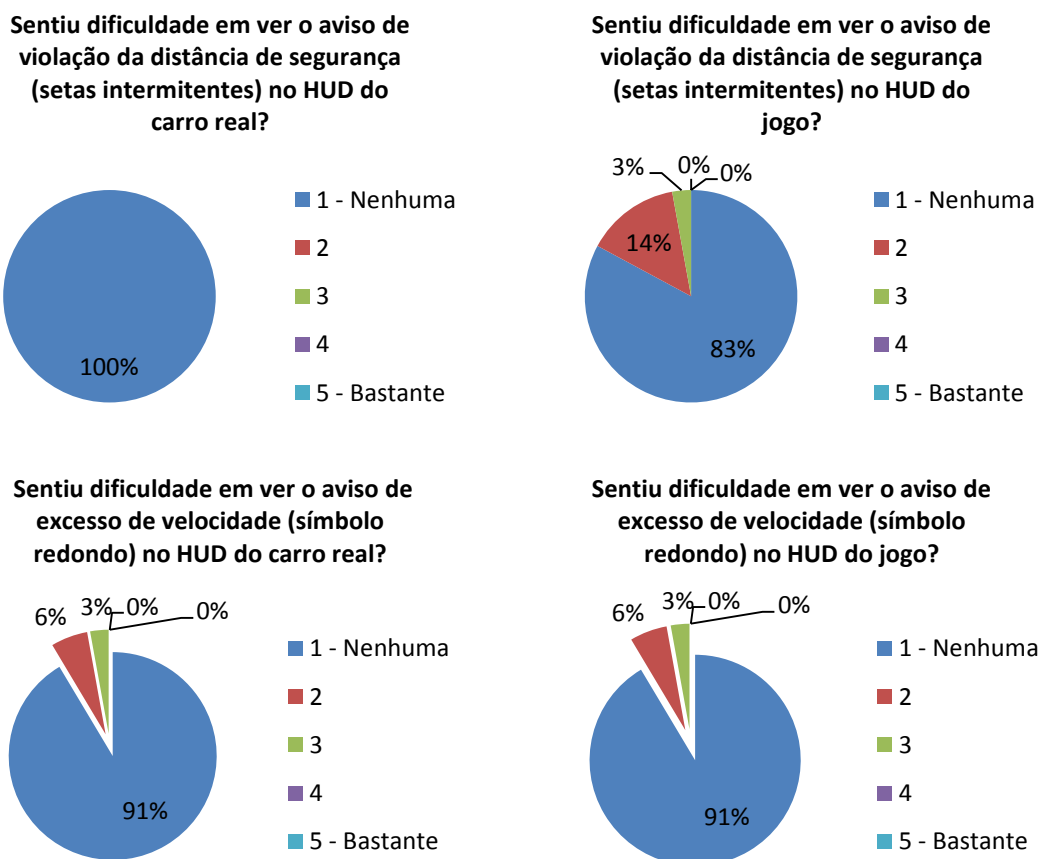


**Figura 43.** Respostas às questões dos grupos 2 e de parte do grupo 3 do questionário pós-simulação para avaliação do HUD.

## Validação Experimental com Condutores

Em relação à visibilidade dos avisos que surgiam (Figura 44), as respostas foram todas muito positivas. Curiosamente, nenhum condutor teve dificuldades em ver o aviso de violação da distância de segurança no simulador de médio custo. Já no jogo, 83% dos participantes não sentiram essa dificuldade. Fazendo um teste ANOVA, a diferença é considerada significativa, e como tal, algo no jogo interferia com essa visualização. Mais uma vez, isto pode ter-se devido ao aviso de violação da distância de segurança ter aparecido muito mais vezes no jogo do que no simulador de médio custo, devido à maior dificuldade em controlar o carro, e também ao tamanho do ecrã onde era simulado o cenário, que era muito menor no caso do jogo, havendo um menor campo de visão.

Analisando os gráficos para o aviso de excesso de velocidade (Figura 44), a distribuição das respostas foi exatamente a mesma, sendo que 91% dos participantes não teve dificuldades em ver o aviso, quer num simulador, quer no outro, e por isso a perceção deste aviso foi idêntica nos dois simuladores.

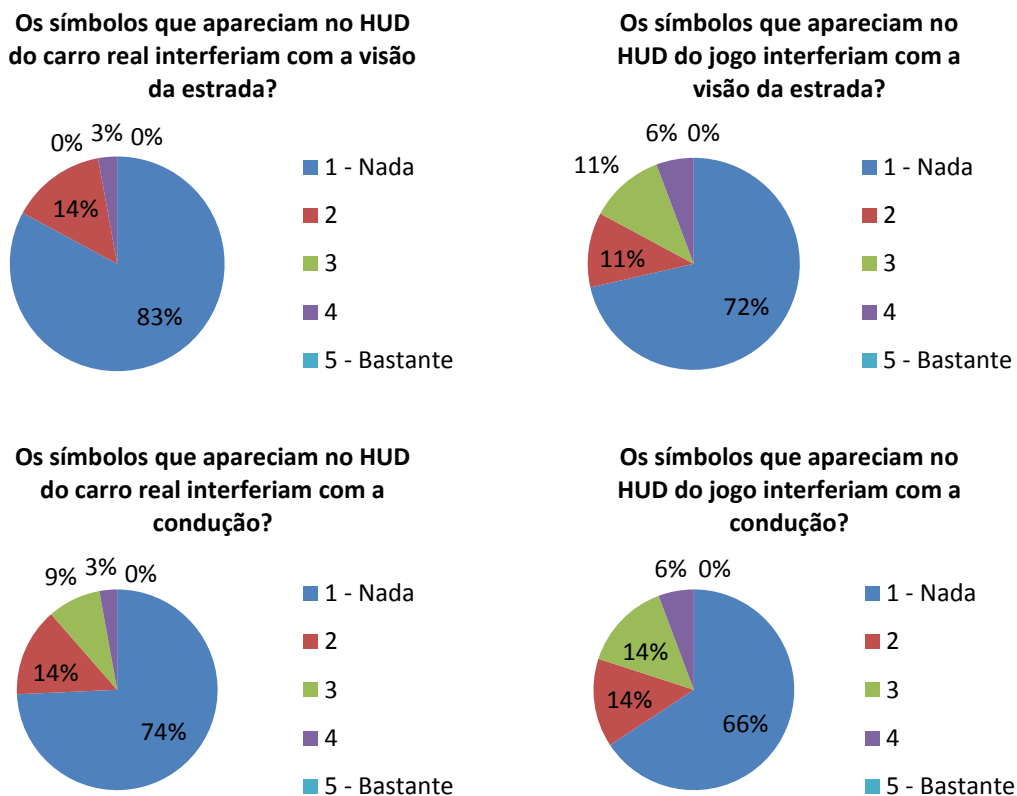


**Figura 44.** Respostas às questões de parte do grupo 3 do questionário pós-simulação para avaliação do HUD.

## Validação Experimental com Condutores

Observando os gráficos na Figura 45, verificou-se que a grande maioria dos condutores não considerava que os símbolos no HUD interferiam com a visão da estrada, quer num simulador quer no outro, e o que interferiam era muito pouco para os restantes condutores.

Quando questionados se os símbolos no HUD interferiam com a condução (questão intencionalmente semelhante à do grupo 2, na Figura 43), o mesmo número de participantes (74%) não achou que interferissem no caso do simulador de médio custo. Quanto ao jogo, já menos participantes acharam que não interferiam (66%), mas pelo teste ANOVA a diferença não foi significativa, e por isso estas respostas são consideradas idênticas dentro do grupo de questões 4 e entre os grupos 2 e 4.



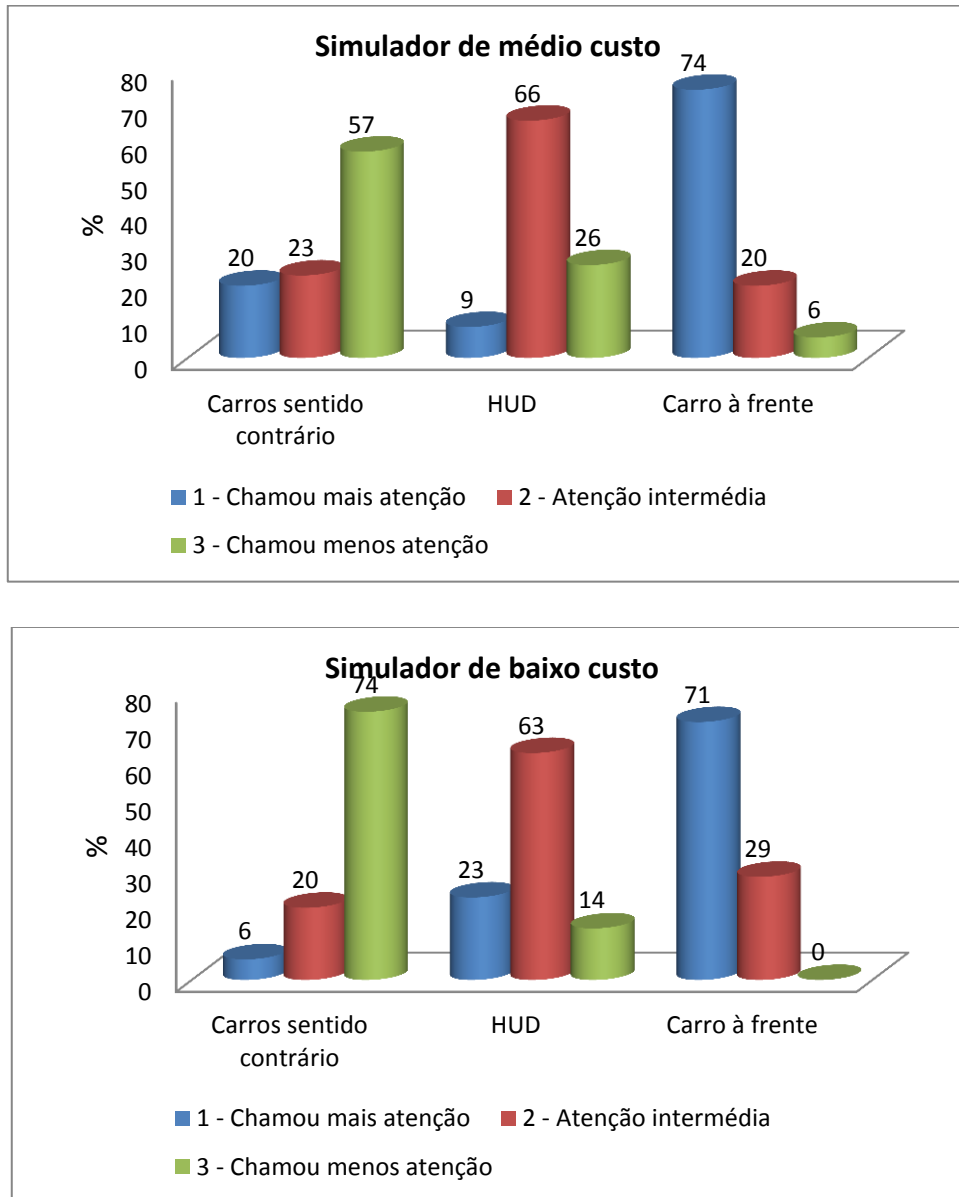
**Figura 45.** Respostas às questões do grupo 4 do questionário pós-simulação para avaliação do HUD.

Pedindo aos participantes para ordenar os eventos que lhe chamaram mais a atenção (Figura 46) de entre o carro que seguia à frente, os símbolos que apareciam no HUD, e os carros em sentido em contrário, verificou-se que em ambos os simuladores a grande maioria, 74% e 71%, respondeu que o que chamava mais a atenção era o carro que ia à sua frente. Seguidamente a atenção virava-se para a informação no HUD também em ambos os

## Validação Experimental com Condutores

simuladores, com 66% e 63%, e só depois os carros em sentido contrário, com 57% e 74%. No jogo a percentagem para os carros em sentido contrário que chamavam menos a atenção foi significativamente maior, isto porque o número de carros a circular acabou por ter de ser menor no jogo, para melhorar o desempenho.

Com estes resultados conclui-se novamente que o HUD não atrapalhava na visão da estrada, e o que devia ser o maior foco, o carro à frente, foi também o que os condutores consideraram.

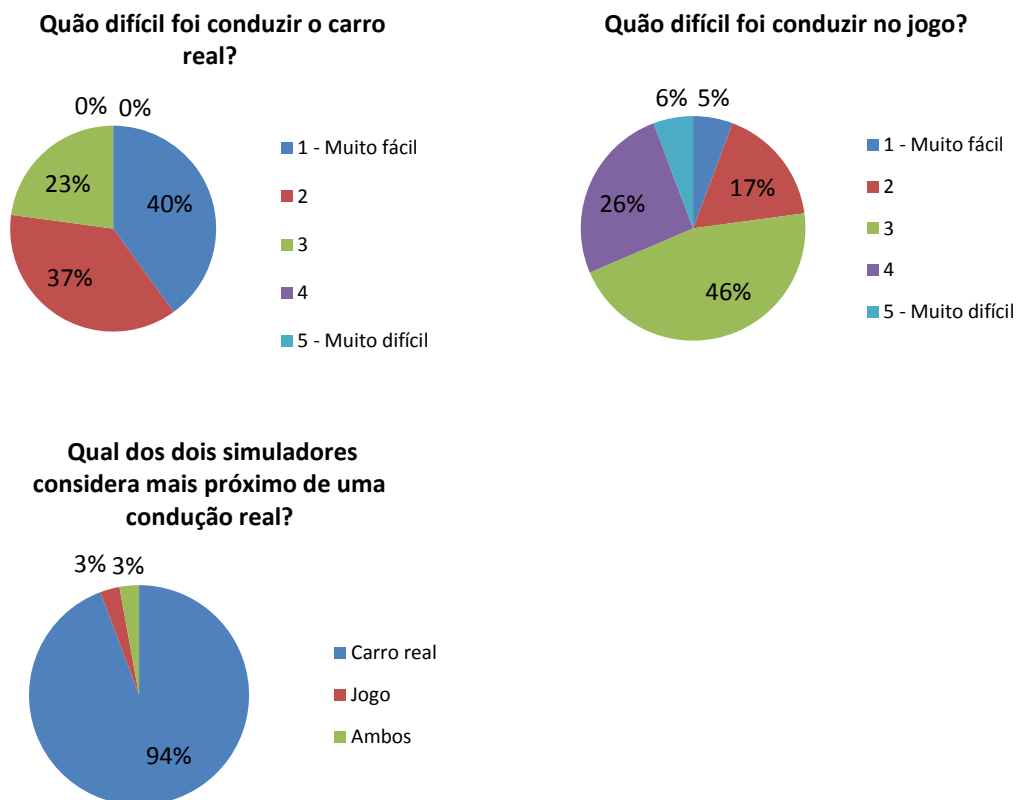


**Figura 46.** Respostas às questões do grupo 6 do questionário pós-simulação para avaliação do HUD.

De uma forma geral, pode-se afirmar que o HUD funciona bem tanto num simulador como no outro, não interferindo com a visão da estrada nem com a condução, e que era percebido da mesma forma em ambos os simuladores, servindo o seu propósito tanto no simulador de médio custo como no de baixo custo, não se detetando diferenças entre eles. Também não se detetaram diferenças entre géneros.

### 4.5.3 Controlo do carro

As questões dos grupos 5 e 8 tinham como objetivo saber a opinião dos condutores sobre o controlo do carro.

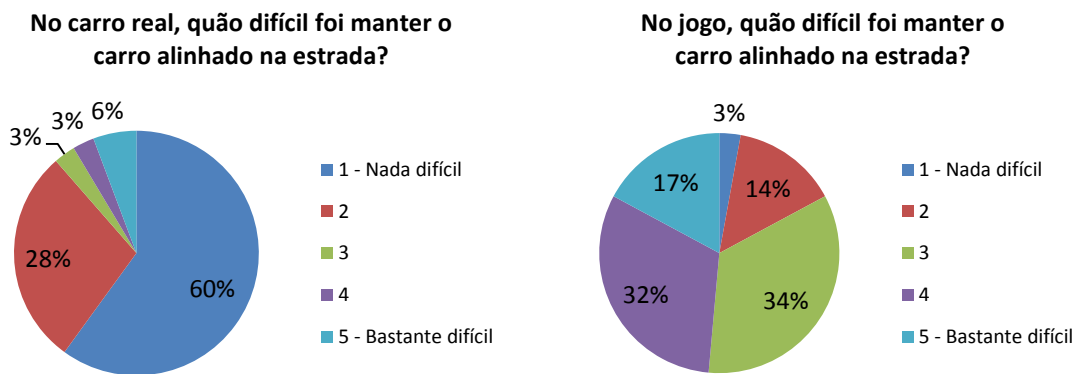


**Figura 47.** Respostas às questões do grupo 5 do questionário pós-simulação para avaliação do controlo do carro.

A condução do carro no simulador de médio custo foi considerada fácil por 77% dos participantes e intermédia por 23%, ao passo que no jogo 46% considerou intermédia e 43% difícil ou muito difícil (Figura 47). Isto foi comprovado pelos resultados das medidas objetivas já analisadas no ponto 4.4. Ou seja, o controlo do carro no jogo era mais difícil que no simulador de médio custo, principalmente devido à dificuldade de adaptação à maior

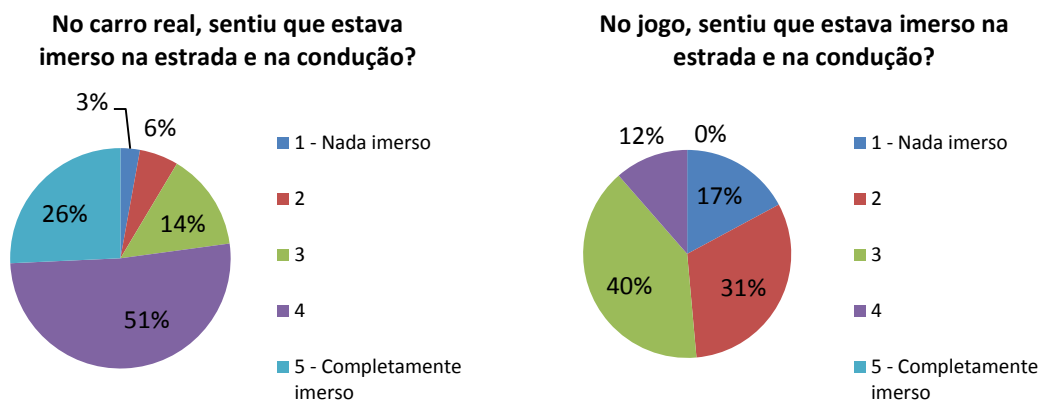
sensibilidade do volante e pedais. A resposta à outra questão na figura anterior vem reforçar que a condução no simulador de condução é mais próxima de uma condução real (com uma esmagadora maioria de 94% dos votos).

Analisando as respostas às questões do grupo 8 (Figura 48), mais uma vez se verifica que o controlo do carro era mais fácil no simulador de condução: 88% dos condutores considerou que manter o carro alinhado na estrada era nada ou pouco difícil no Dris, e 49% difícil ou bastante difícil no jogo.



**Figura 48.** Respostas às questões do grupo 8 do questionário pós-simulação para avaliação do controlo do carro.

#### 4.5.4 Análise da Imersividade dos Simuladores



**Figura 49.** Respostas às questões do grupo 7 do questionário pós-simulação para avaliação da imersividade dos simuladores.

A diferença de imersividade entre os simuladores é também bastante notória: 77% dos participantes sentiu-se imerso ou completamente imerso no simulador de médio custo, ao passo

que só 12% sentiram essa imersão no jogo. Mais uma vez isto confirma a sensação de realismo transmitida pelo simulador de médio custo em detrimento do de baixo custo, comprovada pelos resultados das medidas objetivas já analisadas no ponto 4.4.

#### 4.5.5 Opinião Livre dos Condutores

Seguidamente apresenta-se um resumo da opinião livre, tal qual como escrita por estes, dos condutores sobre as principais diferenças, problemas e vantagens entre os dois simuladores.

**Tabela 5.** Resumo das respostas às questões de resposta livre do questionário pós-simulação, para avaliação da opinião pessoal dos condutores sobre os simuladores.

Simulador de médio custo	Simulador de baixo custo
<i>Principais diferenças/vantagens</i>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sensação de condução mais intuitiva e próxima da realidade, fruto de uma resposta mais realista dos comandos da viatura;</li> <li>2. Sensibilidade e física do carro mais real;</li> <li>3. A interação com a caixa de velocidades torna a experiência mais próxima do real;</li> <li>4. Proporciona uma experiência mais intensa e aproximada da realidade;</li> <li>5. O facto de se estar mesmo dentro de um carro real em vez de sentado numa cadeira a uma mesa faz-nos sentir mais imersos na simulação;</li> <li>6. Por ter um ambiente muito mais idêntico à realidade, consegue-se "distrair" dos aspetos menos reais;</li> <li>7. Sensação de movimento maior que na do jogo;</li> <li>8. Consegue-se manter uma velocidade mais linear e constante;</li> <li>9. Grau de imersão é muito maior;</li> <li>10. Som mais real;</li> <li>11. O ecrã maior tornou a visualização de tudo em geral mais fácil;</li> <li>12. Perspetiva mais realista da situação de condução em estrada;</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Feedback</i> do volante mais realista;</li> <li>2. Bom simulador para jogos de computador/consolas;</li> <li>3. Imagem do cenário mais definida e visível em relação à projeção numa tela.</li> </ol>

## Validação Experimental com Condutores

Simulador de médio custo	Simulador de baixo custo
<p>13. É um bom simulador para se aprender a conduzir;</p> <p>14. Bom meio de estudo de vários aspetos ligados à condução e segurança na estrada. Para além da sua utilização para aprendizagem podem ser usado para estudar que fatores levam a certas situações de risco nas estradas;</p> <p>15. Bom para habituar as pessoas ao uso do HUD.</p>	
<b>Principais problemas</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. O volante do carro não tinha <i>feedback</i>, sendo menos sensível e demasiado solto;</li> <li>2. Física do volante era pouco real;</li> <li>3. O acelerador tinha pouca sensibilidade (tinha de se pressionar mais a fundo);</li> <li>4. O travão de pé devia ser menos sensível;</li> <li>5. Não havia a sensação de inércia, nem da força de travagem e aceleração;</li> <li>6. A velocidade sentida e o som gerado não correspondiam;</li> <li>7. Falta de vibrações que deviam ser a causa das tonturas, pois sentia-se falta de algo para colmatar a audição e a visão;</li> <li>8. Não havia percepção das rotações do carro.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Não parece adequado para testar situações reais;</li> <li>2. Mais difícil de controlar;</li> <li>3. Bastante perceptível a não aproximação da realidade;</li> <li>4. A sensação de envolvimento é muito menor;</li> <li>5. Difícil manter uma velocidade constante;</li> <li>6. Acelerador e travão muito sensíveis e reativos, e pouco ou nada progressivos;</li> <li>7. Difícil de manter o alinhamento da direção devido à grande sensibilidade do volante;</li> <li>8. O volante era muito mais rígido;</li> <li>9. Havia a consciência de que era um jogo, mantendo-se certo afastamento;</li> <li>10. A trajetória não é tão intuitiva, pois não existem as referências geométricas do próprio carro;</li> <li>11. A inexistência de embraiagem e mudanças;</li> <li>12. Necessária mais concentração para acompanhar o carro que seguia à frente;</li> </ol>

## Validação Experimental com Condutores

<b>Simulador de médio custo</b>	<b>Simulador de baixo custo</b>
	<ul style="list-style-type: none"><li>13. Muito longe da realidade, não dá vontade de conduzir;</li><li>14. O som não permite detetar se estamos a travar ou acelerar o suficiente, pois o barulho do motor é insuficiente;</li><li>15. Mais difícil de acompanhar o carro à frente;</li><li>16. Difícil de controlar a velocidade e respeitar os avisos do HUD ao mesmo tempo.</li></ul>
<b>Observações gerais para ambos os simuladores</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>1. Devia haver mais tráfego na via;</li><li>2. Não dava para perceber se o carro da frente estava a travar;</li><li>3. Poderia existir alternância na direção das curvas do trajeto por causa da monotonia;</li><li>4. O HUD devia ter um regulador de altura e de volume;</li><li>5. Ausência de sensação de velocidade, fazendo com que seja difícil prever a que velocidade se vai sem olhar para o conta-quilómetros;</li><li>6. O cenário não variava de velocidade conforme a variação da velocidade do carro;</li><li>7. Graças ao HUD não era necessário desviar os olhos da estrada para obter informações importantes tais como a velocidade instantânea e a distância de segurança;</li><li>8. O HUD pareceu bem localizado em ambos os simuladores, e bastante perceptível da mensagem a passar.</li></ul>	

Como se pode constatar pela tabela anterior, os participantes deram informações bastante relevantes e interessantes sobre a experiência que viveram nos simuladores, podendo-se confirmar a opinião geral de que o simulador de médio custo é muito mais imersivo e realista do que o de baixo custo. Por exemplo, o facto de se estar sentado numa cadeira à frente de um monitor retira logo a sensação de realismo ao simulador de baixo custo.

Todos os participantes afirmaram não sentir diferença no HUD entre os simuladores. Aliás, as únicas observações sobre o HUD foram vantagens que este trazia ou sugestões de melhoria.

Com todas estas opiniões obteve-se uma fantástica coleção de ideias para melhorias em ambos os simuladores e trabalhos futuros.

## **4.6 Sumário**

Neste capítulo foram descritos o cenário planeado para a realização das simulações com participantes, assim como a sua implementação e configuração nos simuladores de condução em conjunto com o HUD desenvolvido; e as experiências de simulação realizadas, tendo-se conseguido a presença de 35 participantes, 10 do sexo feminino e 25 do sexo masculino. A análise dos resultados obtidos nas experiências revelou que os simuladores de condução eram equivalentes na apresentação da informação no HUD, mas que o simulador de condução de baixo custo era menos imersivo e mais difícil de controlar que o de médio custo. Isto foi confirmado pelas respostas subjetivas dos participantes ao questionário pós-simulação.



## Capítulo 5

# Conclusões

Com o presente trabalho procurou-se validar um simulador de baixo custo (baseado num PC com um jogo de simulação) usando um simulador de médio custo (DriS) como referência, na tentativa de avaliar até que ponto o primeiro pode ser usado em detrimento do segundo, na percepção da informação mostrada num HUD.

Para fazer a comparação do HUD entre os simuladores, implementaram-se dois tipos de ADAS, um para auxiliar na manutenção da distância de segurança, avisando o condutor quando a estivesse a violar, e outro para auxiliar no cumprimento dos limites de velocidade na estrada em que circulava, avisando o condutor sempre que excedia esse limite. Para fazer o estudo referido, foram efetuadas experiências de simulação nos dois simuladores, com e sem o HUD, envolvendo 35 participantes, 10 do sexo feminino, e 25 do sexo masculino.

A primeira análise efetuada foi a do cumprimento da distância de segurança, procurando-se validar se a informação que aparecia no HUD era eficaz, se o comportamento dos condutores variava com e sem o HUD; e se havia diferenças entre os simuladores. Desta análise foram encontrados dados interessantes, tendo-se verificado que os condutores mantinham uma distância média superior ao veículo da frente com HUD do que sem este, em ambos os simuladores, procurando cumprir sempre a distância de segurança. De facto, os condutores não apresentaram dificuldades na interpretação do aviso de violação da distância de segurança, em ambos os simuladores, concluindo-se por isso que eram equivalentes na apresentação dessa informação no HUD, ajudando os condutores a manter uma condução mais segura em termos de distância de segurança.

Verificou-se também que o número médio de violações no simulador de baixo custo foi muito maior que no simulador de médio custo, sendo de 31 e 4, respetivamente. Isto veio confirmar a dificuldade que os condutores afirmaram sentir, e que se observou, no controlo do carro no jogo, não conseguindo circular a uma velocidade tão estável, nem estabilizar a direção do carro tão facilmente, como conseguiam no simulador de médio custo.

## Conclusões

A segunda análise efetuada foi a avaliação do tempo de reação dos condutores às informações que apareciam no HUD, com o intuito de averiguar se era o mesmo entre os simuladores. Com este estudo constatou-se que os tempos de reação no simulador de médio custo eram superiores aos tempos no de baixo custo. Uma das explicações encontradas é que como a sensibilidade dos pedais era maior no simulador de baixo custo e menor no de médio custo, acelerar/travar surtia efeito mais rapidamente do que no simulador de médio custo. Além disso, as configurações do próprio veículo não eram exatamente iguais, pois no jogo o carro tinha caixa de velocidades automática não sendo necessário o uso da embraiagem, e no simulador de médio custo esta era manual, obrigando ao uso da embraiagem e das mudanças. Posto isto, para se poder tirar conclusões mais exatas sobre a causa da diferença nos tempos de reação, deveria habilitar-se a utilização da caixa de velocidades e da embraiagem no simulador de baixo custo. No entanto, isto não invalida a conclusão já tirada, de que os condutores tinham a mesma perceção e reação à informação nos dois simuladores, e por isso os HUD eram equivalentes.

Em todas as análises efetuadas, não se verificaram diferenças entre o género dos participantes, e por isso o HUD era interpretado igualmente nos dois simuladores, quer por homens, quer por mulheres, pelo menos dentro da faixa etária avaliada (23 a 56 anos).

Finalmente, analisaram-se as respostas subjetivas dos participantes ao questionário pós-simulação, comprovando-se as conclusões já tiradas. Verificou-se que a informação no HUD foi bem aceite por estes, sendo que a maioria não considerou que o aparecimento da informação interferisse negativamente com a condução e a visão da estrada. Todos os participantes afirmaram não sentir diferença no HUD entre os simuladores. Aliás, as únicas observações sobre o HUD foram vantagens que este trazia ou sugestões de melhoria. Quanto ao controlo do carro, os participantes afirmaram ser mais difícil no jogo do que no simulador de médio custo, principalmente devido à dificuldade de adaptação à maior sensibilidade do volante e pedais, e à menor imersividade que este proporcionava. De facto, os condutores afirmaram haver uma maior sensação de realismo no simulador de condução de médio custo do que no de baixo custo, sendo muito mais imersivo e realista, conduzindo melhor nesse caso.

### **5.1 Considerações Finais**

Como conclusão final, pode-se afirmar que em termos de utilização de ADAS, o HUD do simulador de baixo custo é perfeitamente válido, sendo equivalente ao de médio custo na perceção humana e qualidade da informação apresentada. Pode, por isso, utilizar-se um simulador de baixo custo para a análise e validação do aparecimento de informação num HUD.

Já em termos de realismo e controlo do veículo, os simuladores estudados são totalmente diferentes, sendo mais imersivo e fácil de controlar o simulador de condução de médio custo. Neste caso, o simulador de baixo custo não consegue substituir o simulador de médio custo, não

## Conclusões

sendo adequado para estudos mais complexos, ou que possam necessitar de uma maior imersividade e controlo por parte dos condutores.

Pode-se, pois, afirmar que se conseguiram cumprir todos os objetivos propostos para este trabalho.

## 5.2 Propostas de Melhoria e Trabalho Futuro

Tendo por base as observações que se foram fazendo ao longo das experiências de simulação, as conclusões, e a opinião de alguns participantes, há pontos que podem ser melhorados em trabalhos futuros, e que a seguir se expõem.

Os carros deviam ter configurações semelhantes nos dois simuladores, devendo ajustar-se melhor a sensibilidade do volante e pedais para se assemelhar a uma condução mais real, e inclusive incluir a caixa de velocidades e embraiagem no caso do simulador de baixo custo.

O jogo desenvolvido pode ser melhorado e tornado mais imersivo, e o cenário melhorado e tornado mais complexo para se aproximar a estradas e tráfego mais reais, deixando de ser tão monótono.

O som, em ambos os simuladores, deve ser melhorado para se aproximar mais dos sons reais de um carro quando acelera ou trava, e dar uma perceção mais real das rotações do motor.

Os carros deviam acender as luzes do travão quando travam, pois os participantes queixaram-se que não dava para perceber se o carro à frente estava a travar.

Fazendo-se todas estas melhorias, pode-se conseguir um simulador de baixo custo mais imersivo e fácil de controlar, podendo até ser possível a sua utilização para testes mais complexos, que não só a validação de IVIS num HUD.



# Referências

- Ablaßmeier, Markus, Tony Poitschke, Frank Wallhoff, Klaus Bengler, and Gerhard Rigoll. 2007. Eye gaze studies comparing head-up and head-down displays in vehicles. Paper read at Multimedia and Expo, 2007 IEEE International Conference.
- Alicandri, Elizabeth, King Roberts, and Jonathan Walker. 1986. *A validation study of the DOT/FHWA highway simulator (HYSIM)*: Federal Highway Administration.
- Alm, Håkan, and Lena Nilsson. 1994. "Changes in driver behaviour as a function of handsfree mobile phones—a simulator study." *Accident Analysis & Prevention* no. 26 (4):441-451.
- Alm, Håkan, and Lena Nilsson. 1995. "The effects of a mobile telephone task on driver behaviour in a car following situation." *Accident Analysis & Prevention* no. 27 (5):707-715.
- Alves, P. R. J. A., J. Goncalves, R. J. F. Rossetti, E. C. Oliveira, and C. Olaverri-Monreal. 2013. Forward collision warning systems using heads-up displays: Testing usability of two new metaphors. Paper read at Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2013 IEEE, 23-26 June 2013.
- Bella, Francesco. 2008. "Driving simulator for speed research on two-lane rural roads." *Accident Analysis & Prevention* no. 40 (3):1078-1087.
- Bella, Francesco, and Roberta Russo. 2011. "A Collision Warning System for rear-end collision: a driving simulator study." *Procedia - Social and Behavioral Sciences* no. 20 (0):676-686. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.08.075>.
- Blaauw, Gerard J. 1982. "Driving experience and task demands in simulator and instrumented car: a validation study." *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* no. 24 (4):473-486.
- Blakemore, Mark R, and Robert J Snowden. 1999. "The effect of contrast upon perceived speed: a general phenomenon?" *Perception-London-* no. 28:33-48.

## Referências

- Blakemore, Mark R, and Robert J Snowden. 2000. "Textured backgrounds alter perceived speed." *Vision research* no. 40 (6):629-638.
- Blana, E, and J Golias. 1999. Behavioural validation of a fixed-base driving simulator. Paper read at Driving simulation conference.
- BMW. *BMW Head-Up Display* 2012. Available from [http://www.bmw.pt/pt/pt/newvehicles0/x/x6/2012/showroom/comfort/head\\_up\\_display.html#t=s](http://www.bmw.pt/pt/pt/newvehicles0/x/x6/2012/showroom/comfort/head_up_display.html#t=s).
- Boer, Erwin R, Nobuyuki Kuge, and Tomohiro Yamamura. 2001. Affording realistic stopping behavior: A cardinal challenge for driving simulators. Paper read at Proceedings of 1st Human-Centered Transportation Simulation Conference.
- Boyle, Linda Ng, and John D. Lee. 2010. "Using driving simulators to assess driving safety." *Accident Analysis & Prevention* no. 42 (3):785-787. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2010.03.006>.
- Bremmer, F, and M Lappe. 1999. "The use of optical velocities for distance discrimination and reproduction during visually simulated self motion." *Experimental Brain Research* no. 127 (1):33-42.
- Brewer, Marilyn B. 2000. "Research design and issues of validity." *Handbook of research methods in social and personality psychology*:3-16.
- Broughton, Kathy LM, Fred Switzer, and Don Scott. 2007. "Car following decisions under three visibility conditions and two speeds tested with a driving simulator." *Accident Analysis & Prevention* no. 39 (1):106-116.
- Charissis, V, and M Naef. 2007. Evaluation of prototype automotive head-up display interface: testing driver's focusing ability through a VR simulation. Paper read at Intelligent Vehicles Symposium, 2007 IEEE.
- Charissis, Vassilis, Martin Naef, Sachi Arafat, and George Vlachos. 2008. On the Impact of User's Computer Knowledge on Driving Simulation Test Results-HUD Simulation Case Study. Paper read at Proceedings of the European Annual Conference on Human Decision-Making and Manual Control, EAM.
- Charlton, Samuel G. 2007. "The role of attention in horizontal curves: A comparison of advance warning, delineation, and road marking treatments." *Accident Analysis & Prevention* no. 39 (5):873-885.
- De Valck, Elke, Stijn Quanten, Raymond Cluydts, and Daniel Berckmans. 2006. "Day versus night driving in real traffic and on a driving simulator during an 800km all-highway drive." *International journal of vehicle design* no. 42 (1):119-133.
- Dingus, Thomas A, Melissa C Hulse, Jonathan F Antin, and Walter W Wierwille. 1989. "Attentional demand requirements of an automobile moving-map navigation system." *Transportation Research Part A: General* no. 23 (4):301-315.
- Doshi, Anup, Shinko Yuanhsien Cheng, and Mohan M Trivedi. 2009. "A novel active heads-up display for driver assistance." *Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, IEEE Transactions on* no. 39 (1):85-93.

## Referências

- Duh, Henry Been-Lirn, Donald E Parker, and Thomas A Furness. 2004. "An independent visual background reduced simulator sickness in a driving simulator." *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* no. 13 (5):578-588.
- Duncan, B. 1998. "Calibration trials of TRL driving simulator." *Vision in Vehicles* no. 6:105-113.
- Dutta, Arup, Donald L Fisher, and David A Noyce. 2004. "Use of a driving simulator to evaluate and optimize factors affecting understandability of variable message signs." *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* no. 7 (4):209-227.
- European-Commision. *Road Safety Statistics - accidents data*. European Commision 2014 [cited 22-06-2014]. Available from [http://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/specialist/statistics/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/statistics/index_en.htm).
- Farah, Haneen, Shlomo Bekhor, and Abishai Polus. 2009. "Risk evaluation by modeling of passing behavior on two-lane rural highways." *Accident Analysis & Prevention* no. 41 (4):887-894.
- Ferreira, P, Edgar F Esteves, Rosaldo JF Rossetti, Eugénio C Oliveira. 2008. A cooperative simulation framework for traffic and transportation engineering. Cooperative Design, Visualization, and Engineering. Lecture Notes in Computer Science no. 5220: 89-97. Springer Berlin Heidelberg.
- Fukano, J, S Okabayashi, M Sakata, and T Hatada. 1995. Automotive head-up displays for navigation use. Paper read at Proceedings: International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles.
- Godley, Stuart T, Thomas J Triggs, and Brian N Fildes. 2002. "Driving simulator validation for speed research." *Accident analysis & prevention* no. 34 (5):589-600.
- Gogel, Walter C, and Jerome D Tietz. 1979. "A comparison of oculomotor and motion parallax cues of egocentric distance." *Vision Research* no. 19 (10):1161-1170.
- Gonçalves, Joel, Rosaldo JF Rossetti, and Cristina Olaverri-Monreal. 2012. IC-DEEP: A serious games based application to assess the ergonomics of In-Vehicle Information Systems. Paper read at Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2012 15th International IEEE Conference on.
- Green, Paul. 1999. The 15-second rule for driver information systems. Paper read at Proceedings of the ITS America Ninth Annual Meeting.
- Green, Paul, William Levison, Gretchen Paelke, and Colleen Serafin. 1993. "Suggested human factors design guidelines for driver information systems." *University of Michigan Transportation Research Institute Technical Report UMTRI-93-21*.
- Groeger, John A, OMJ Carsten, E Blana, and A Hamish Jamson. 1999. "Speed and distance estimation under simulation conditions." *Vision in vehicles* no. 7:291-299.
- Hobson, Douglas E, Anthony E Lang, WR Wayne Martin, Ajmal Razmy, Jean Rivest, and Jonathan Fleming. 2002. "Excessive daytime sleepiness and sudden-onset sleep in

## Referências

- Parkinson disease: a survey by the Canadian Movement Disorders Group." *Jama* no. 287 (4):455-463.
- Horberry, Tim, Janet Anderson, and Michael A Regan. 2006. "The possible safety benefits of enhanced road markings: a driving simulator evaluation." *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* no. 9 (1):77-87.
- Horne, JA, and LA Reyner. 1995. "Driver sleepiness." *Journal of sleep research* no. 4 (s2):23-29.
- Horne, Jim, and Louise Reyner. 1999. "Vehicle accidents related to sleep: a review." *Occupational and environmental medicine* no. 56 (5):289-294.
- Horrey, William J, and Christopher D Wickens. 2006. "Examining the impact of cell phone conversations on driving using meta-analytic techniques." *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* no. 48 (1):196-205.
- Howard, Ian P. 1995. *Binocular vision and stereopsis*: Oxford University Press.
- Howarth, Peter Alan. 1999. "Oculomotor changes within virtual environments." *Applied Ergonomics* no. 30 (1):59-67.
- IMTT, Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres. 2005. *Manual do Ensino da Condução*: Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres.
- Jacob, Ângelo. 2005. *Análise de Manobras de Ultrapassagem em Ambiente Virtual*, Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Jamson, A Hamish, and S. Mouta. 2004. More bang for your buck? A cross-simulator evaluation study. Paper read at Proceedings of the Driving Simulator Conference, DSC 2004.
- Jamson, A Hamish, Philip G Whiffin, and Peter M Burchill. 2007. "Driver response to controllable failures of fixed and variable gain steering." *International journal of vehicle design* no. 45 (3):361-378.
- Jamson, Hamish. 2000. Driving simulation validity: issues of field of view and resolution. Paper read at Proceedings of the driving simulation conference.
- Jamson, Samantha L, FN Tate, and A Hamish Jamson. 2005. "Evaluating the effects of bilingual traffic signs on driver performance and safety." *Ergonomics* no. 48 (15):1734-1748.
- Jamson, Samantha L., and A. Hamish Jamson. 2010. "The validity of a low-cost simulator for the assessment of the effects of in-vehicle information systems." *Safety Science* no. 48 (10):1477-1483. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2010.07.008>.
- Jenkins, Jacqueline M, and LR Rilett. 2005. "Classifying passing maneuvers: a behavioral approach." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* no. 1937 (1):14-21.
- Johnson, Chris A, and John L Keltner. 1983. "Incidence of visual field loss in 20,000 eyes and its relationship to driving performance." *Archives of Ophthalmology* no. 101 (3):371-375.

## Referências

- Kaptein, Nico A, Jan Theeuwes, and Richard Van Der Horst. 1996. "Driving simulator validity: Some considerations." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* no. 1550 (1):30-36.
- Konstantopoulos, Panos, Peter Chapman, and David Crundall. 2010. "Driver's visual attention as a function of driving experience and visibility. Using a driving simulator to explore drivers' eye movements in day, night and rain driving." *Accident Analysis & Prevention* no. 42 (3):827-834. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2009.09.022>.
- Kopits, Elizabeth, and Maureen Cropper. 2005. "Traffic fatalities and economic growth." *Accident Analysis & Prevention* no. 37 (1):169-178.
- LaViola Jr, Joseph J. 2000. "A discussion of cybersickness in virtual environments." *ACM SIGCHI Bulletin* no. 32 (1):47-56.
- Lee, John D, Daniel V McGehee, Timothy L Brown, and Michelle L Reyes. 2002. "Collision warning timing, driver distraction, and driver response to imminent rear-end collisions in a high-fidelity driving simulator." *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* no. 44 (2):314-334.
- Leitão, J Miguel, A Coelho, and FN Ferreira. 1997. *DriS—A Virtual Driving Simulator*. Paper read at Proceedings of the Second International Seminar on Human Factors in Road Traffic, ISBN.
- Lisper, H-O, Hans Laurell, and J Van Loon. 1986. "Relation between time to falling asleep behind the wheel on a closed track and changes in subsidiary reaction time during prolonged driving on a motorway." *Ergonomics* no. 29 (3):445-453.
- Liu, Yung-Ching, and Ming-Hui Wen. 2004. "Comparison of head-up display (HUD) vs. head-down display (HDD): driving performance of commercial vehicle operators in Taiwan." *International Journal of Human-Computer Studies* no. 61 (5):679-697.
- Lövsund, Per, Anders Hedin, and Jan Törnros. 1991. "Effects on driving performance of visual field defects: a driving simulator study." *Accident Analysis & Prevention* no. 23 (4):331-342.
- Lyznicki, James M, Theodore C Doege, Ronald M Davis, and Michael A Williams. 1998. "Sleepiness, driving, and motor vehicle crashes." *Jama* no. 279 (23):1908-1913.
- McCartt, Anne T, John W Rohrbaugh, Mark C Hammer, and Sandra Z Fuller. 2000. "Factors associated with falling asleep at the wheel among long-distance truck drivers." *Accident Analysis & Prevention* no. 32 (4):493-504.
- Michon, John A. 1985. *A critical view of driver behavior models: what do we know, what should we do?:* Springer.
- Neale, John M, and Robert M Liebert. 1973. *Science and behavior: An introduction to methods of research:* Prentice-Hall Englewood Cliffs, NJ.
- NHTSA. *The National Advanced Driving Simulator*. National Highway Traffic Safety Administration 2013 [cited 21-06-2014]. Available from <http://www.nads-sc.uiowa.edu/>.

## Referências

- Nielsen, Jakob, and Thomas K Landauer. 1993. A mathematical model of the finding of usability problems. Paper read at Proceedings of the INTERACT'93 and CHI'93 conference on Human factors in computing systems.
- Nilsson, Lena. 1993. Behavioural research in an advanced driving simulator-experiences of the VTI system. Paper read at Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting.
- Nordbakke, S, and Fridulv Sagberg. 2007. "Sleepy at the wheel: Knowledge, symptoms and behaviour among car drivers." *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour* no. 10 (1):1-10.
- Opel. *Segurança*. Opel 2014 [cited 22-06-2014]. Available from <http://www.opel.pt/experiencia-opel/inovacao/seguranca.html>.
- Owsley, Cynthia, Karlene Ball, Gerald McGwin Jr, Michael E Sloane, Daniel L Roenker, Milton F White, and E Todd Overley. 1998. "Visual processing impairment and risk of motor vehicle crash among older adults." *Jama* no. 279 (14):1083-1088.
- Pacejka, HB, and IJM Besselink. 1997. "Magic formula tyre model with transient properties." *Vehicle system dynamics* no. 27 (S1):234-249.
- Patten, Christopher JD, Albert Kircher, Joakim Östlund, and Lena Nilsson. 2004. "Using mobile telephones: cognitive workload and attention resource allocation." *Accident analysis & prevention* no. 36 (3):341-350.
- Peltola, Harri. 2002. Weather Related Isa-Experience From First Studies. Paper Read At Proceedings Of The Ictct Workshop On Intelligent Speed Adaptation Held Nagoya, Japan, May 2002.
- Petit, C, D Chaput, C Tarriere, JY Le Coz, and S Planque. 1990. Research to prevent the driver from falling asleep behind the wheel. Paper read at Proceedings: Association for the Advancement of Automotive Medicine Annual Conference.
- Rakauskas, Michael E, Leo J Gugerty, and Nicholas J Ward. 2004. "Effects of naturalistic cell phone conversations on driving performance." *Journal of safety research* no. 35 (4):453-464.
- Reed, Matthew P., and Paul A. Green. 1999. "Comparison of driving performance on-road and in a low-cost simulator using a concurrent telephone dialling task." *Ergonomics* no. 42 (8):1015-1037. doi: 10.1080/001401399185117.
- Reimer, Bryan, Bruce Mehler, Lisa A D'Ambrosio, and Ronna Fried. 2010. "The impact of distractions on young adult drivers with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD)." *Accident Analysis & Prevention* no. 42 (3):842-851.
- Reyner, LA, and JA Horne. 1998. "Falling asleep whilst driving: are drivers aware of prior sleepiness?" *International Journal of Legal Medicine* no. 111 (3):120-123.
- Riemersma, JBJ, A Richard A van der Horst, W Hoekstra, GMM Alink, and N Otten. 1990. "Validity of a driving simulator in evaluating speed-reducing measures." *Traffic engineering and control* no. 31 (7-8):416-420.

## Referências

- Rogers, Brian, and Maureen Graham. 1979. "Motion parallax as an independent cue for depth perception." *Perception* no. 8 (2):125-134.
- Rossetti, R, J E Almeida, Z Kokkinogonis, J Gonçalves. 2013. Playing Transportation Seriously: Applications of Serious Games to Artificial Transportation Systems. *IEEE Intelligent Systems* no. 28 (4): 107–112.
- Rossetti, R, Paulo Ferreira, Rodrigo Braga, Eugénio Oliveira. 2008. Towards an artificial traffic control system. 11<sup>th</sup> International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, ITSC, Beijing 12-15 Oct, 2008: 14-19.
- Rossetti, R, Sergio Bampi. 1999. "A software environment to integrate urban traffic simulation tasks". *Journal of Geographic Information and Decision Analysis* no. 3 (1): 56-63.
- Sagberg, Fridulv. 1999. "Road accidents caused by drivers falling asleep." *Accident Analysis & Prevention* no. 31 (6):639-649.
- Santos, Jorge, Natasha Merat, Sandra Mouta, Karel Brookhuis, and Dick de Waard. 2005. "The interaction between driving and in-vehicle information systems: Comparison of results from laboratory, simulator and real-world studies." *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* no. 8 (2): 135-146. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2005.04.001>.
- Sayers, Michael W, and Dongsuk Han. 1996. "A generic multibody vehicle model for simulating handling and braking." *Vehicle system dynamics* no. 25 (S1):599-613.
- Semple Jr, Clarence A, Raymond J Heapy, Ernest J Conway Jr, and Keith T Burnette. 1971. Analysis of human factors data for electronic flight display systems. DTIC Document.
- Strayer, David L, Frank A Drews, and William A Johnston. 2003. "Cell phone-induced failures of visual attention during simulated driving." *Journal of experimental psychology: Applied* no. 9 (1):23.
- Takeuchi, Tatsuto, and Karen K De Valois. 2000. "Velocity discrimination in scotopic vision." *Vision research* no. 40 (15):2011-2024.
- Tonnis, Marcus, and Gudrun Klinker. 2006. Effective control of a car driver's attention for visual and acoustic guidance towards the direction of imminent dangers. Paper read at Proceedings of the 5th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality.
- Tonnis, Marcus, Christian Lange, and Gudrun Klinker. 2007. Visual longitudinal and lateral driving assistance in the head-up display of cars. Paper read at Mixed and Augmented Reality, 2007. ISMAR 2007.
- Törnros, Jan. 1998. "Driving behaviour in a real and a simulated road tunnel—a validation study." *Accident Analysis & Prevention* no. 30 (4):497-503.
- Triggs, TJ. 1996. "Some critical human factors issues and challenges in simulation and training." *Simtect 96 Proceedings*:21-26.

## Referências

- UMTRI, University of Michigan Transportation Research Institute. *In-Vehicle Information Systems*. UMTRI 2013 [cited 22-06-2014]. Available from <http://www.umtri.umich.edu/our-focus/vehicle-information-systems>.
- WardsAuto. *Japanese Suppliers Eye Multiple Segments* 2006. Available from [http://wardsauto.com/ar/japanese\\_suppliers\\_eye](http://wardsauto.com/ar/japanese_suppliers_eye).
- Weinberg, G., B. Harsham, and Z. Medenica. 2011. Evaluating the usability of a head-up display for selection from choice lists in cars.
- Weintraub, Daniel J. 1992. Human factors issues in head-up display design: The book of HUD. DTIC Document.
- Weir, David H, and Allen J Clark. 1995. A survey of mid-level driving simulators. SAE Technical Paper.
- WHO, World Health Organization. 2011. "Causes of death 2008 summary tables." *Geneva, Switzerland*.
- Wood, Joanne M, and Rod Troutbeck. 1994. "Effect of visual impairment on driving." *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* no. 36 (3):476-487.
- Yan, Xuedong, Mohamed Abdel-Aty, Essam Radwan, Xuesong Wang, and Praveen Chilakapati. 2008. "Validating a driving simulator using surrogate safety measures." *Accident Analysis & Prevention* no. 40 (1):274-288. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2007.06.007>.
- Yoo, Herbert, Omer Tsimhoni, Hiroshi Watanabe, Paul Green, and Raina Shah. 1999. Display of HUD warnings to drivers: determining an optimal location.

## Anexo A

# Detalhe das Implementações

Neste anexo encontram-se os detalhes da implementação do HUD e do cenário para ambos os simuladores.

**Tabela 6.** Detalhes da implementação do HUD e do cenário para o simulador de baixo custo.

Detalhes gerais do portátil usado para o simulador de baixo custo, e programação do HUD e jogo de simulação	
<b>Sistema Operativo</b>	Windows 7 Professional 32 bits
<b>Processador</b>	Intel® Core™ 2 Duo CPU P8700 @ 2.53 GHz
<b>RAM</b>	4 GB
<b>Gráfica</b>	GeForce® 9650M GT 1GB
Implementação do HUD para o DriS	
<b>Porta do socket</b>	1025
<b>Servidor UDP</b>	<i>localhost</i>



## Anexo B

# Guião

Neste anexo encontra-se guião apresentado aos participantes antes das experiências de simulação.

**Guião**

Irá efetuar uma experiência que corresponde à condução de um carro real numa via rápida, num ambiente simulado, e uma outra que corresponde à condução de um carro na mesma via rápida, mas num jogo de computador.

Em ambas as experiências, suponha que está numa via rápida em Itália e que pretende ir visitar uma cidade, mas não sabe como ir para lá. A ideia é não perder de vista o veículo que vai à sua frente e que o vai levar ao destino que pretende. Por isso não o pode ultrapassar e deve manter-se o mais próximo que puder deste.


Para isso, vai realizar 4 ensaios, 2 em cada simulador, sendo a duração de cada um de aproximadamente 5 minutos.

Em cada ensaio deve comportar-se e obedecer ao código da estrada como se estivesse a conduzir na realidade, devendo estar sempre alerta e manter-se na faixa em que está. Não se esqueça que não pode ultrapassar!

Para além da velocidade a que está a conduzir, no HUD do carro irão aparecer eventualmente os seguintes símbolos:



Aviso de violação da distância de segurança ao veículo da frente



Aviso de excesso do limite de velocidade na estrada

Em cada ensaio, quando aparecer o sinal de excesso de velocidade, abrande até aos 90 km/h e depois pode continuar normalmente a sua marcha, ignorando este sinal no resto do ensaio.

Antes de iniciar as experiências irá conduzir cada um dos carros durante algum tempo até se sentir confortável e ambientado para as realizar.



## **Anexo C**

# **Questionários**

Neste anexo encontram-se os questionários pré e pós-simulação utilizados para as experiências de simulação.

# Questionários

5/11/2014

Questionário Simulações - Google Forms

## Questionário

Este trabalho faz parte de uma investigação que está a ser desenvolvida para a minha tese de mestrado, e que consiste na condução de um simulador real de condução (carro real instrumentado) e de um simulador de carros num jogo de computador, usando um Heads-Up Display (HUD) simulado. O HUD é um ecrã transparente que apresenta informação sem que os utilizadores tenham necessidade de desviar o olhar do seu campo de visão. Não é facultada mais informação para evitar influenciar o comportamento e percepção do participante,

Toda a informação recolhida neste questionário é confidencial e será usada única e exclusivamente para tratamento estatístico dos resultados obtidos,

Se sentir desconforto durante as simulações pode desistir a qualquer momento.

\* Required

## Dados da simulação

---

A preencher pelo responsável da experiência

1. **Tester no.** \*

---

2. **Data e hora da simulação** \*

*Example: December 15, 2012 11:03 AM*

---

## Caracterização do participante

---

Pré-simulação

3. **I. Nome** \*

---

4. **II. Idade** \*

---

5. **III. Sexo** \*

*Mark only one oval.*

Masculino

Feminino

## Questionários

5/11/2014 Questionário Simulações - Google Forms

6. **IV. Nacionalidade \***

\_\_\_\_\_

7. **V. Profissão \***

\_\_\_\_\_

8. **VI. Área da profissão \***

\_\_\_\_\_

9. **VII. Anos de experiência de condução \***

\_\_\_\_\_

10. **VIII. Em média, com que frequência conduziu no último ano? \***  
*Mark only one oval.*

Todos os dias

Várias vezes por semana

Só ao fim de semana

Raramente

11. **IX. Quantos quilómetros já percorreu como condutor, aproximadamente? \***

\_\_\_\_\_

12. **X. Já alguma vez conduziu um veículo com Heads-Up Display (HUD)? \***  
*Mark only one oval.*

Sim

Não

13. **XI. Já alguma vez usou um Heads-Up Display noutro contexto (jogo de computador, por exemplo)? \***  
*Mark only one oval.*

Sim

Não

14. **XII. Já alguma vez jogou jogos de carros em computador ou consola? \***  
*Mark only one oval.*

Sim

Não

[https://docs.google.com/forms/d/15catrY8TzUZPzP-EK-sFBSUIAJgqE36AeLVhYw\\_8/edit](https://docs.google.com/forms/d/15catrY8TzUZPzP-EK-sFBSUIAJgqE36AeLVhYw_8/edit) 2/7

## Questionários

5/11/2014

Questionário Simulações - Google Forms

15. **XIII. Já alguma vez conduziu um simulador real de carros? \***

Mark only one oval.

- Sim  
 Não

16. **XIV. Email para contacto \***

\_\_\_\_\_

### Questionário Pós-Simulação

17. **1a. Sentiu-se cansado(a) ou frustrado(a) durante as simulações? \***

Mark only one oval.

- Apenas no carro  
 Apenas no jogo  
 Em ambas  
 Em nenhuma

18. **1b. Sentiu tonturas durante as simulações? \***

Mark only one oval.

- Apenas no carro  
 Apenas no jogo  
 Em ambas  
 Em nenhuma

19. **2a. A informação que aparecia no HUD do carro real atrapalhava a condução? \***

Mark only one oval.

- 1    2    3    4    5  
Nada      Bastante

20. **2b. A informação que aparecia no HUD do jogo atrapalhava a condução? \***

Mark only one oval.

- 1    2    3    4    5  
Nada      Bastante

[https://docs.google.com/forms/d/15catrY6TazUZPxF-EK-sFBSUIAJqE36tAeLvhYwv\\_8/edit](https://docs.google.com/forms/d/15catrY6TazUZPxF-EK-sFBSUIAJqE36tAeLvhYwv_8/edit)

3/7

## Questionários

5/11/2014

Questionário Simulações - Google Forms

21. **3a. Enquanto conduzia, sentiu pressão mental na leitura da informação no HUD do carro real? \***

*Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	
Nenhuma	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Bastante

22. **3b. Enquanto conduzia, sentiu pressão mental na leitura da informação no HUD do jogo? \***

*Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	
Nenhuma	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Bastante

23. **3c. Sentiu dificuldade em ver o aviso de violação da distância de segurança (setas intermitentes) no HUD do carro real? \***

*Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	
Nenhuma	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Bastante

24. **3c. Sentiu dificuldade em ver o aviso de violação da distância de segurança (setas intermitentes) no HUD do jogo? \***

*Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	
Nenhuma	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Bastante

25. **3d. Sentiu dificuldade em ver o aviso de excesso de velocidade (símbolo redondo) no HUD do carro real? \***

*Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	
Nenhuma	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Bastante

26. **3e. Sentiu dificuldade em ver o aviso de excesso de velocidade (símbolo redondo) no HUD do jogo? \***

*Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	
Nenhuma	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Bastante

**(continuação)**

[https://docs.google.com/forms/d/15catrY8T0zUZPxF-EK-sFBSUIAJgqE30fAeLVhYwr\\_8/edit](https://docs.google.com/forms/d/15catrY8T0zUZPxF-EK-sFBSUIAJgqE30fAeLVhYwr_8/edit)

4/7

## Questionários

5/11/2014

Questionário Simulações - Google Forms

27. **4a. Os símbolos que apareciam no HUD do carro real interferiam com a visão da estrada? \***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Nada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Bastante

28. **4b. Os símbolos que apareciam no HUD do jogo interferiam com a visão da estrada? \***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Nada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Bastante

29. **4c. Os símbolos que apareciam no HUD do carro real interferiam com a condução? \***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Nada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Bastante

30. **4d. Os símbolos que apareciam no HUD do jogo interferiam com a condução? \***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Nada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Bastante

31. **5a. Quão difícil foi conduzir o carro real? \***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Muito fácil	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muito difícil

32. **5b. Quão difícil foi conduzir no jogo? \***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Muito fácil	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muito difícil

33. **5c. Qual dos dois simuladores considera mais próximo de uma condução real? \***

Mark only one oval.

- Carro real  
 Jogo  
 Ambos

[https://docs.google.com/forms/d/15ca1rY6TozUZPxF-EK-sFBSUIAJgqE36AeLvhYwr\\_8/edit](https://docs.google.com/forms/d/15ca1rY6TozUZPxF-EK-sFBSUIAJgqE36AeLvhYwr_8/edit)

5/7

## Questionários

5/11/2014

Questionário Simulações - Google Forms

### (continuação)

34. **6a. Ordene os eventos de acordo com a atenção que lhe chamaram, no carro real. \***

Selecione apenas uma das hipóteses (1, 2 ou 3) para cada evento. Por exemplo, se escolher 1 para os símbolos no HUD, já não pode pôr 1 nos outros eventos.

Mark only one oval per row.

	1 - Chamou mais atenção	2 - Atenção intermédia	3 - Chamou menos atenção
Carros em sentido contrário	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Símbolos no HUD	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Carro que seguia à frente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

35. **6b. Coloque os eventos de acordo com a atenção que lhe chamaram, no jogo. \***

Selecione apenas uma das hipóteses (1, 2 ou 3) para cada evento. Por exemplo, se escolher 1 para os símbolos no HUD, já não pode pôr 1 nos outros eventos.

Mark only one oval per row.

	1 - Chamou mais atenção	2 - Atenção intermédia	3 - Chamou menos atenção
Carros em sentido contrário	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Símbolos no HUD	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Carro que seguia à frente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

36. **7a. No carro real, sentiu que estava imerso na estrada e na condução? \***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Nada imerso	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Completamente imerso

37. **7b. No jogo, sentiu que estava imerso na estrada e na condução? \***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Nada imerso	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Completamente imerso

38. **8a. No carro real, quão difícil foi manter o carro alinhado na estrada? \***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Nada difícil	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Bastante difícil

<https://docs.google.com/forms/d/15catrY6TozUZPxF-EK-sFBSUIAJgqE36AelVhYwr/edit>

6/7

## Questionários

5/11/2014 Questionário Simulações - Google Forms

39. **8b. No jogo, quão difícil foi manter o carro alinhado na estrada? \***  
*Mark only one oval.*

1    2    3    4    5

Nada difícil      Bastante difícil

**(continuação)**

40. **9a. Quais as principais diferenças que detectou entre os simuladores que conduziu nestas experiências? \***

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

41. **9b. Quais os principais problemas que detectou entre os simuladores que conduziu nestas experiências? \***

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

42. **9c. Quais as principais vantagens que detectou entre os simuladores que conduziu nestas experiências? \***

\_\_\_\_\_


\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

---

Powered by  Google Drive

[https://docs.google.com/forms/d/15catrY6TozUZPxF-EK-sFBSUIAJgqE36AeLVhYwr\\_&edit](https://docs.google.com/forms/d/15catrY6TozUZPxF-EK-sFBSUIAJgqE36AeLVhYwr_&edit) 7/7

## Anexo D

# Tabelas de Dados

Neste anexo encontram-se algumas das tabelas de dados utilizadas para a análise dos dados recolhidos das simulações, as análises ANOVA efetuadas, e alguns gráficos.

**Tabela 7.** Número de violações do aviso de violação da distância de segurança por participante, em cada simulador.

Género	Participante	DriS		Jogo	
		sem HUD	com HUD	sem HUD	com HUD
M	1	1	0	33	6
F	2	9	0	31	23
M	3	4	1	14	32
M	4	3	8	23	52
M	5	4	4	17	26
M	6	0	0	10	2
M	7	6	4	58	52
M	8	1	16	39	40
M	9	5	1	44	23
M	10	5	7	20	61
M	11	2	3	17	9
M	12	4	8	22	11
M	13	4	2	36	38
M	14	1	5	27	39
M	15	5	6	43	55
M	16	2	4	31	56
M	17	3	4	15	52
M	18	5	4	24	44

Tabelas de Dados

M	19	5	15	43	25
M	20	0	2	61	26
M	21	2	8	12	6
F	22	7	3	32	45
M	23	5	6	26	40
M	24	4	0	23	44
F	25	3	4	34	14
M	26	7	2	48	51
M	27	5	0	29	3
M	28	3	9	31	33
F	29	2	2	19	34
F	30	3	4	21	22
F	31	6	7	22	2
F	32	2	2	41	18
F	33	5	3	41	39
F	34	8	4	3	17
F	35	2	6	25	50
	<b>Média</b>	3.8	4.4	29.0	31.1
	<b>% violações maior com o HUD</b>		51%		57%

**Tabela 8.** Tabela ANOVA para o número médio,  $\mu$ , de violações do aviso de violação da distância de segurança com HUD, entre os simuladores.

SUMÁRIO						
Grupos	Contagem	Soma	Média	Variância		
<b>DrIS</b>	35	154	<b>4.4</b>	<b>14.24706</b>		
<b>Jogo</b>	35	1090	<b>31.14286</b>	<b>312.3613</b>		
ANOVA						
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Entre grupos	12515.66	1	12515.66	<b>76.64014</b>	9.38E-13	<b>3.981896</b>
Dentro de grupos	11104.69	68	163.3042			
Total	23620.34	69				

Com a Tabela 8, pretende-se verificar se a diferença entre as médias das amostras da Tabela 7, para o caso com HUD, é significativa. Sendo  $H_0 : \mu_{\text{dris}} = \mu_{\text{jogo}}$  a hipótese nula, e  $H_1 : \mu_{\text{dris}} \neq \mu_{\text{jogo}}$  a hipótese alternativa, como  $F > F_{\text{crítico}}$ , a hipótese nula é rejeitada e como tal, existe diferença significativa entre as amostras.

## Tabelas de Dados

**Tabela 9.** Tabela ANOVA para o número médio,  $\mu$ , de violações do aviso de violação da distância de segurança sem e com HUD para o simulador de condução de médio custo.

SUMÁRIO						
<i>Grupos</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
<b>Sem HUD</b>	35	133	<b>3.8</b>	<b>4.752941</b>		
<b>Com HUD</b>	35	154	<b>4.4</b>	<b>14.24706</b>		
ANOVA						
<i>Fonte de variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	6.3	1	6.3	<b>0.663158</b>	0.41829	<b>3.981896</b>
Dentro de grupos	646	68	9.5			
Total	652.3	69				

Com a Tabela 9, pretende-se verificar se a diferença entre as médias das amostras sem e com HUD da Tabela 7, para o simulador de condução, é significativa. Sendo  $H_0 : \mu_{\text{semHUD}} = \mu_{\text{comHUD}}$  a hipótese nula, e  $H_1 : \mu_{\text{semHUD}} \neq \mu_{\text{comHUD}}$  a hipótese alternativa, como  $F < F_{\text{crítico}}$ , a hipótese nula não é rejeitada e como tal, não existe diferença significativa entre as amostras.

**Tabela 10.** Tabela ANOVA para o número médio,  $\mu$ , de violações do aviso de violação da distância de segurança sem e com HUD para o jogo.

SUMÁRIO						
<i>Grupos</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
<b>Sem HUD</b>	35	1015	<b>29</b>	<b>171.9412</b>		
<b>Com HUD</b>	35	1090	<b>31.14286</b>	<b>312.3613</b>		
ANOVA						
<i>Fonte de variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	80.35714286	1	80.35714	<b>0.331847</b>	0.566475	<b>3.981896</b>
Dentro de grupos	16466.28571	68	242.1513			
Total	16546.64286	69				

Com a Tabela 10, pretende-se verificar se a diferença entre as médias das amostras sem e com HUD da Tabela 7, para o jogo, é significativa. Sendo  $H_0 : \mu_{\text{semHUD}} = \mu_{\text{comHUD}}$  a hipótese nula, e  $H_1 : \mu_{\text{semHUD}} \neq \mu_{\text{comHUD}}$  a hipótese alternativa, como  $F < F_{\text{crítico}}$ , a hipótese nula não é rejeitada e como tal, não existe diferença significativa entre as amostras.

Tabelas de Dados

**Tabela 11.** Distância média,  $\mu$ , ao carro de referência para cada participante, em cada simulador.

Gênero	Participante	DriS		Jogo	
		sem HUD	com HUD	sem HUD	com HUD
M	1	248	343	35	686
F	2	74	224	398	87
M	3	45	407	27	61
M	4	43	63	28	52
M	5	74	95	30	75
M	6	120	112	93	90
M	7	44	82	38	57
M	8	49	59	34	58
M	9	69	152	47	72
M	10	64	82	30	52
M	11	139	83	49	77
M	12	49	45	28	21
M	13	107	133	55	67
M	14	22	73	34	60
M	15	69	68	38	56
M	16	24	65	267	60
M	17	71	102	28	61
M	18	51	244	33	54
M	19	31	50	31	28
M	20	186	78	79	75
M	21	30	77	20	156
F	22	64	118	72	64
M	23	57	127	44	69
M	24	56	109	30	54
F	25	70	87	105	98
M	26	46	138	46	62
M	27	46	108	53	91
M	28	33	90	35	71
F	29	89	116	26	81
F	30	122	268	77	95
F	31	107	83	89	204
F	32	91	98	63	88

Tabelas de Dados

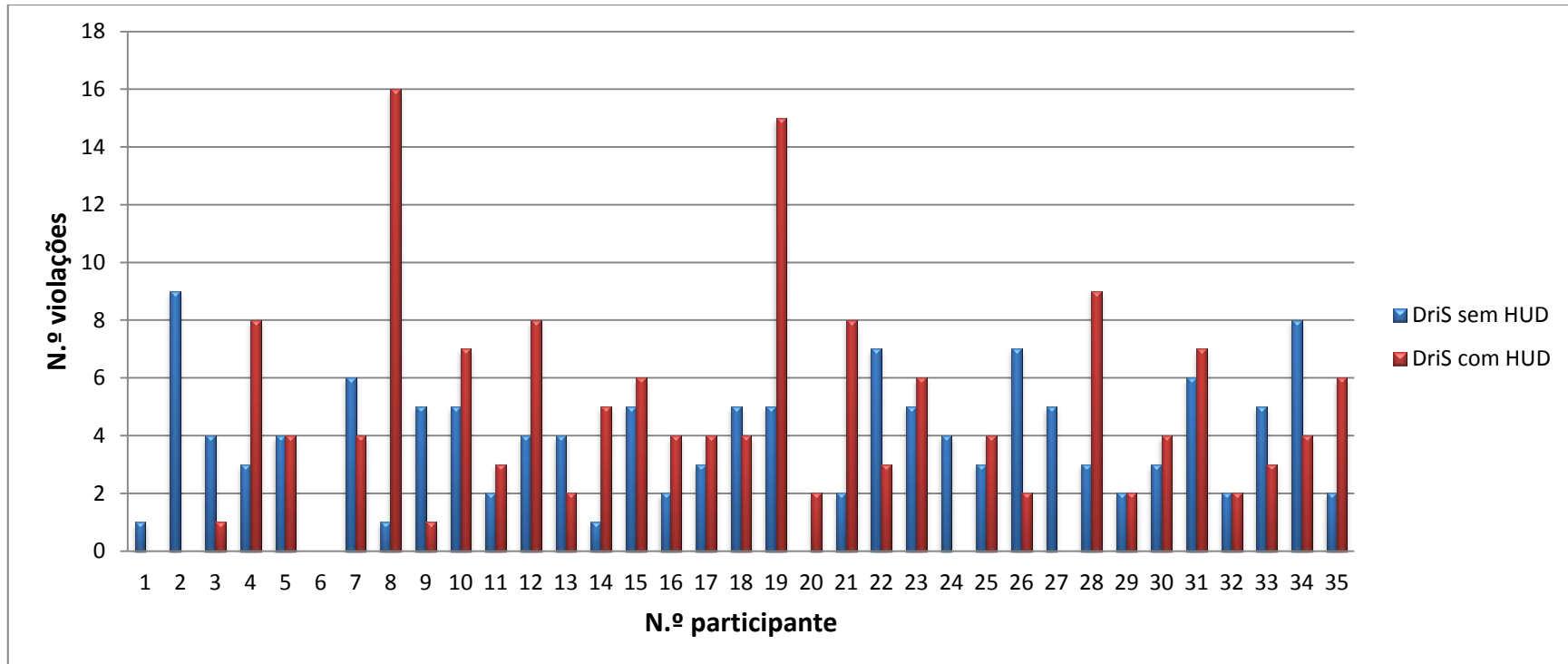
<b>F</b>	<b>33</b>	38	125	65	71
<b>F</b>	<b>34</b>	71	141	134	90
<b>F</b>	<b>35</b>	39	72	29	58
	<b>Média</b>	72.5	123.3	65.4	91.5

**Tabela 12.** Tabela ANOVA para a distância média,  $\mu$ , ao carro de referência, entre os simuladores.

SUMÁRIO						
<i>Grupos</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
<b>DriS</b>	35	4317	<b>123.3429</b>	<b>6546.526</b>		
<b>Jogo</b>	35	3201	<b>91.45714</b>	<b>11724.49</b>		
ANOVA						
<i>Fonte de variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	17792.23	1	17792.23	<b>1.94759</b>	0.167387	<b>3.981896</b>
Dentro de grupos	621214.6	68	9135.508			
Total	639006.8	69				

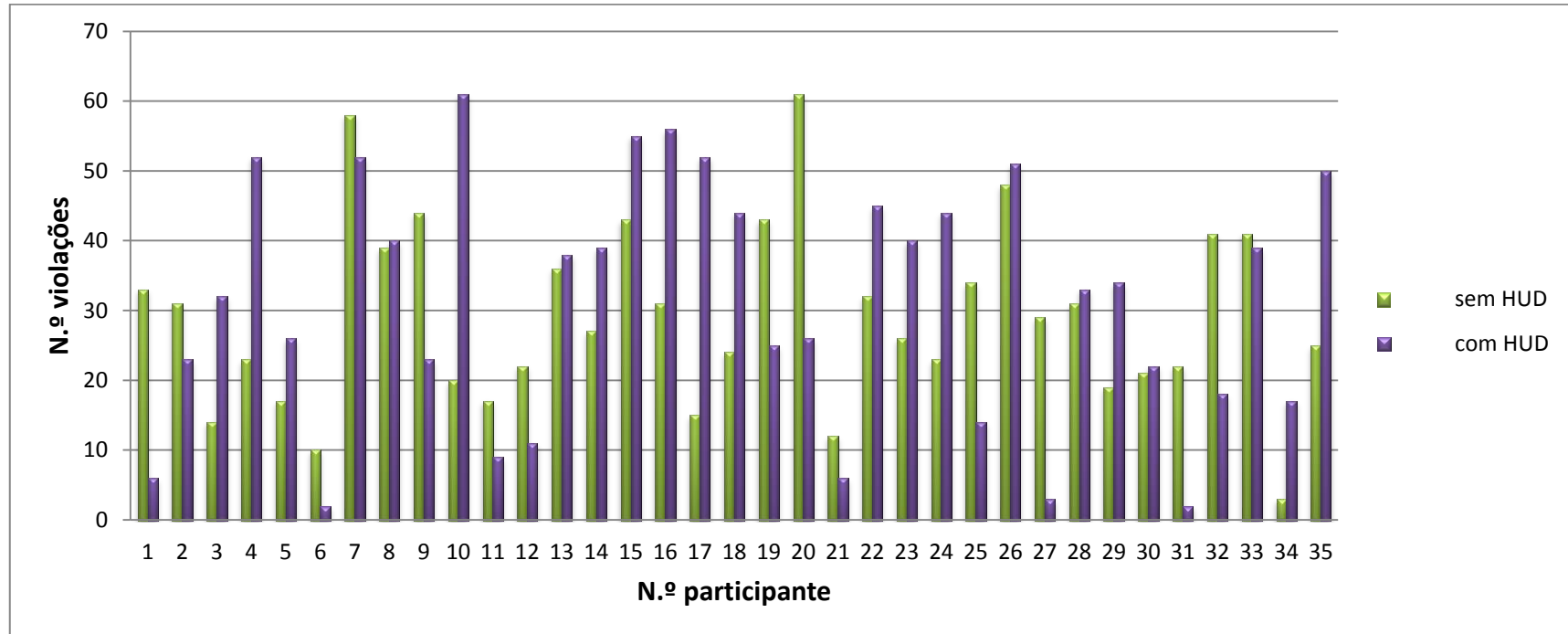
Com a Tabela 12, pretende-se verificar se a diferença entre as médias das amostras da Tabela 11, para o caso com HUD, é significativa. Sendo  $H_0 : \mu_{\text{driS}} = \mu_{\text{jogo}}$  a hipótese nula, e  $H_1 : \mu_{\text{driS}} \neq \mu_{\text{jogo}}$  a hipótese alternativa, como  $F < F_{\text{crítico}}$ , a hipótese nula não é rejeitada e como tal, não existe diferença significativa entre as amostras.

Tabelas de Dados



**Figura 50.** Número de violações da distância de segurança, por participante, no simulador de condução de médio custo, com e sem HUD.

Tabelas de Dados



**Figura 51.** Número de violações da distância de segurança, por participante, no jogo, com e sem HUD.

Tabelas de Dados

**Tabela 13.** Tempo de reação ao aviso de excesso de velocidade para cada participante, em cada simulador (a vermelho os valores excluídos).

Género	Participante	Tempo reação, s	
		DriS	Jogo
M	1	1.80	0.48
F	2	1.10	0.72
M	3	1.30	0.72
M	4	1.30	0.36
M	5	2.40	0.96
M	6	0.30	0.48
M	7	3.50	0.24
M	8	1.00	0.12
M	9	1.70	0.60
M	10	1.00	0.72
M	11	0.10	0.60
M	12	1.30	0.36
M	13	1.20	0.24
M	14	1.10	0.60
M	15	1.10	0.60
M	16	1.00	0.60
M	17	1.60	0.60
M	18	1.40	0.60
M	19	0.70	0.48
M	20	1.20	0.36
M	21	6.20	0.12
F	22	1.10	0.36
M	23	1.00	0.24
M	24	1.20	0.72
F	25	1.60	0.84
M	26	1.80	0.84
M	27	1.60	0.60
M	28	1.10	0.48
F	29	1.00	0.48
F	30	1.40	0.00
F	31	5.40	0.84
F	32	2.10	0.12

Tabelas de Dados

F	33	3.10	0.84
F	34	2.20	0.48
F	35	1.00	0.48
	<b>Média</b>	<b>1.40</b>	<b>0.53</b>
	<b>Desvio padrão</b>	<b>0.68</b>	<b>0.22</b>

**Tabela 14.** Tabela ANOVA para o tempo de reação médio,  $\mu$ , ao aviso de excesso de velocidade, entre os simuladores.

SUMÁRIO						
Grupos	Contagem	Soma	Média	Variância		
<b>DriS</b>	33	46.33	<b>1.403939</b>	<b>0.466536</b>		
<b>Jogo</b>	34	17.88041	<b>0.525894</b>	<b>0.049761</b>		
ANOVA						
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Entre grupos	12.91075337	1	12.91075	<b>50.64183</b>	1.08E-09	<b>3.98856</b>
Dentro de grupos	16.57125979	65	0.254942			
Total	29.48201315	66				

Com a Tabela 14, pretende-se verificar se a diferença entre as médias das amostras da Tabela 13, para o caso com HUD, é significativa. Sendo  $H_0 : \mu_{\text{driS}} = \mu_{\text{jogo}}$  a hipótese nula, e  $H_1 : \mu_{\text{driS}} \neq \mu_{\text{jogo}}$  a hipótese alternativa, como  $F > F_{\text{crítico}}$ , a hipótese nula é rejeitada e como tal, existe diferença significativa entre as amostras.

**Tabela 15.** Tabela ANOVA para o tempo de reação médio,  $\mu$ , ao aviso de violação da distância de segurança, entre simuladores.

SUMÁRIO						
Grupos	Contagem	Soma	Média	Variância		
<b>DriS</b>	25	23.514	<b>0.94056</b>	<b>0.230729</b>		
<b>Jogo</b>	34	11.159913	<b>0.328232735</b>	<b>0.052635</b>		
ANOVA						
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Entre grupos	5.401745377	1	5.401745377	<b>42.32614</b>	2.11E-08	<b>4.009868</b>
Dentro de grupos	7.274452047	57	0.127621966			
Total	12.67619742	58				

Com a Tabela 15, pretende-se verificar se a diferença entre as médias das amostras da Tabela 16, para o caso com HUD, é significativa. Sendo  $H_0 : \mu_{\text{driS}} = \mu_{\text{jogo}}$  a hipótese nula, e  $H_1 :$

## Tabelas de Dados

$\mu_{\text{dris}} \neq \mu_{\text{jogo}}$  a hipótese alternativa, como  $F > F_{\text{crítico}}$ , a hipótese nula é rejeitada e como tal, existe diferença significativa entre as amostras.

**Tabela 16.** Tempo de reação ao aviso de violação da distância de segurança para cada participante, em cada simulador (a vermelho os valores excluídos).

Género	Participante	Tempo reação, s	
		DriS	Jogo
M	1	-	0.60
F	2	-	0.36
M	3	0.30	0.60
M	4	0.20	0.36
M	5	1.40	0.96
M	6	-	0.36
M	7	1.20	0.24
M	8	0.80	0.24
M	9	0.40	0.24
M	10	1.10	0.24
M	11	1.20	1.08
M	12	-	0.12
M	13	0.10	0.48
M	14	-	0.24
M	15	1.10	0.36
M	16	1.30	0.12
M	17	0.40	0.36
M	18	0.40	0.36
M	19	0.20	0.12
M	20	1.50	0.24
M	21	1.00	5.40
F	22	1.50	0.48
M	23	-	0.12
M	24	-	0.12
F	25	1.40	0.12
M	26	0.70	0.36
M	27	-	0.24
M	28	1.10	0.36
F	29	-	0.12

Tabelas de Dados

F	30	1.40	0.60
F	31	-	0.36
F	32	1.70	0.12
F	33	1.20	0.12
F	34	0.70	0.12
F	35	1.20	0.24
	<b>Média</b>	<b>0.94</b>	<b>0.33</b>
	<b>Desvio padrão</b>	<b>0.56</b>	<b>0.23</b>

**Tabela 17.** Tabela ANOVA do tempo de reação médio,  $\mu$ , ao aviso de excesso de velocidade entre géneros para o simulador de médio custo.

SUMÁRIO						
Grupos	Contagem	Soma	Média	Variância		
<b>Feminino</b>	9	14.613	<b>1.623666667</b>	<b>0.51489825</b>		
<b>Masculino</b>	24	31.717	<b>1.321541667</b>	<b>0.444021824</b>		
ANOVA						
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Entre grupos	0.59746592	1	0.59746592	<b>1.292342088</b>	0.264328	<b>4.159615</b>
Dentro de grupos	14.33168796	31	0.462312515			
Total	14.92915388	32				

Com a Tabela 17, pretende-se verificar se a diferença entre as médias das amostras da Tabela 13, no caso do tempo de reação médio ao aviso de excesso de velocidade entre géneros, para o simulador de condução, é significativa. Sendo  $H_0 : \mu_{\text{dris}} = \mu_{\text{jogo}}$  a hipótese nula, e  $H_1 : \mu_{\text{dris}} \neq \mu_{\text{jogo}}$  a hipótese alternativa, como  $F < F_{\text{crítico}}$ , a hipótese nula não é rejeitada e como tal, não existe diferença significativa entre as amostras.

**Tabela 18.** Tabela ANOVA do tempo de reação médio,  $\mu$ , ao aviso de excesso de velocidade entre géneros para o jogo.

SUMÁRIO						
Grupos	Contagem	Soma	Média	Variância		
<b>Feminino</b>	9	5.16011	<b>0.573345556</b>	<b>0.064004033</b>		
<b>Masculino</b>	25	12.7203	<b>0.508812</b>	<b>0.04593808</b>		
ANOVA						
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Entre grupos	0.027559719	1	0.027559719	<b>0.546228421</b>	0.46525	<b>4.149097</b>
Dentro de grupos	1.614546188	32	0.050454568			
Total	1.642105908	33				

## Tabelas de Dados

Com a Tabela 18, pretende-se verificar se a diferença entre as médias das amostras da Tabela 13, no caso do tempo de reação médio ao aviso de excesso de velocidade entre géneros, para o jogo, é significativa. Sendo  $H_0 : \mu_{\text{dris}} = \mu_{\text{jogo}}$  a hipótese nula, e  $H_1 : \mu_{\text{dris}} \neq \mu_{\text{jogo}}$  a hipótese alternativa, como  $F < F_{\text{crítico}}$ , a hipótese nula não é rejeitada e como tal, não existe diferença significativa entre as amostras.

**Tabela 19.** Tabela ANOVA do tempo de reação médio,  $\mu$ , ao aviso de violação da distância de segurança entre géneros para o simulador de médio custo.

SUMÁRIO						
<i>Grupos</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
<b>Feminino</b>	7	9.104	<b>1.300571429</b>	<b>0.099967</b>		
<b>Masculino</b>	18	14.41	<b>0.800555556</b>	<b>0.21633</b>		
ANOVA						
<i>Fonte de variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1.260080001	1	1.260080001	<b>6.775555</b>	0.015903	<b>4.279344</b>
Dentro de grupos	4.277412159	23	0.185974442			
Total	5.53749216	24				

Com a Tabela 19, pretende-se verificar se a diferença entre as médias das amostras da Tabela 16, no caso do tempo de reação médio ao aviso de violação da distância de segurança entre géneros, para o simulador de condução, é significativa. Sendo  $H_0 : \mu_{\text{dris}} = \mu_{\text{jogo}}$  a hipótese nula, e  $H_1 : \mu_{\text{dris}} \neq \mu_{\text{jogo}}$  a hipótese alternativa, como  $F > F_{\text{crítico}}$ , a hipótese nula é rejeitada e como tal, existe diferença significativa entre as amostras.

**Tabela 20.** Tabela ANOVA do tempo de reação médio,  $\mu$ , ao aviso de violação da distância de segurança entre géneros para o jogo.

SUMÁRIO						
<i>Grupos</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
<b>Feminino</b>	10	2.639929	<b>0.2639929</b>	<b>0.031359</b>		
<b>Masculino</b>	24	8.519984	<b>0.354999333</b>	<b>0.060707</b>		
ANOVA						
<i>Fonte de variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0.058462383	1	0.058462383	<b>1.114566</b>	0.298997	<b>4.149097</b>
Dentro de grupos	1.678497504	32	0.052453047			
Total	1.736959887	33				

## Tabelas de Dados

Com a Tabela 20, pretende-se verificar se a diferença entre as médias das amostras da Tabela 16, no caso do tempo de reação médio ao aviso de violação da distância de segurança entre géneros, para o jogo, é significativa. Sendo  $H_0 : \mu_{\text{dris}} = \mu_{\text{jogo}}$  a hipótese nula, e  $H_1 : \mu_{\text{dris}} \neq \mu_{\text{jogo}}$  a hipótese alternativa, como  $F < F_{\text{crítico}}$ , a hipótese nula não é rejeitada e como tal, não existe diferença significativa entre as amostras.

Tabelas de Dados

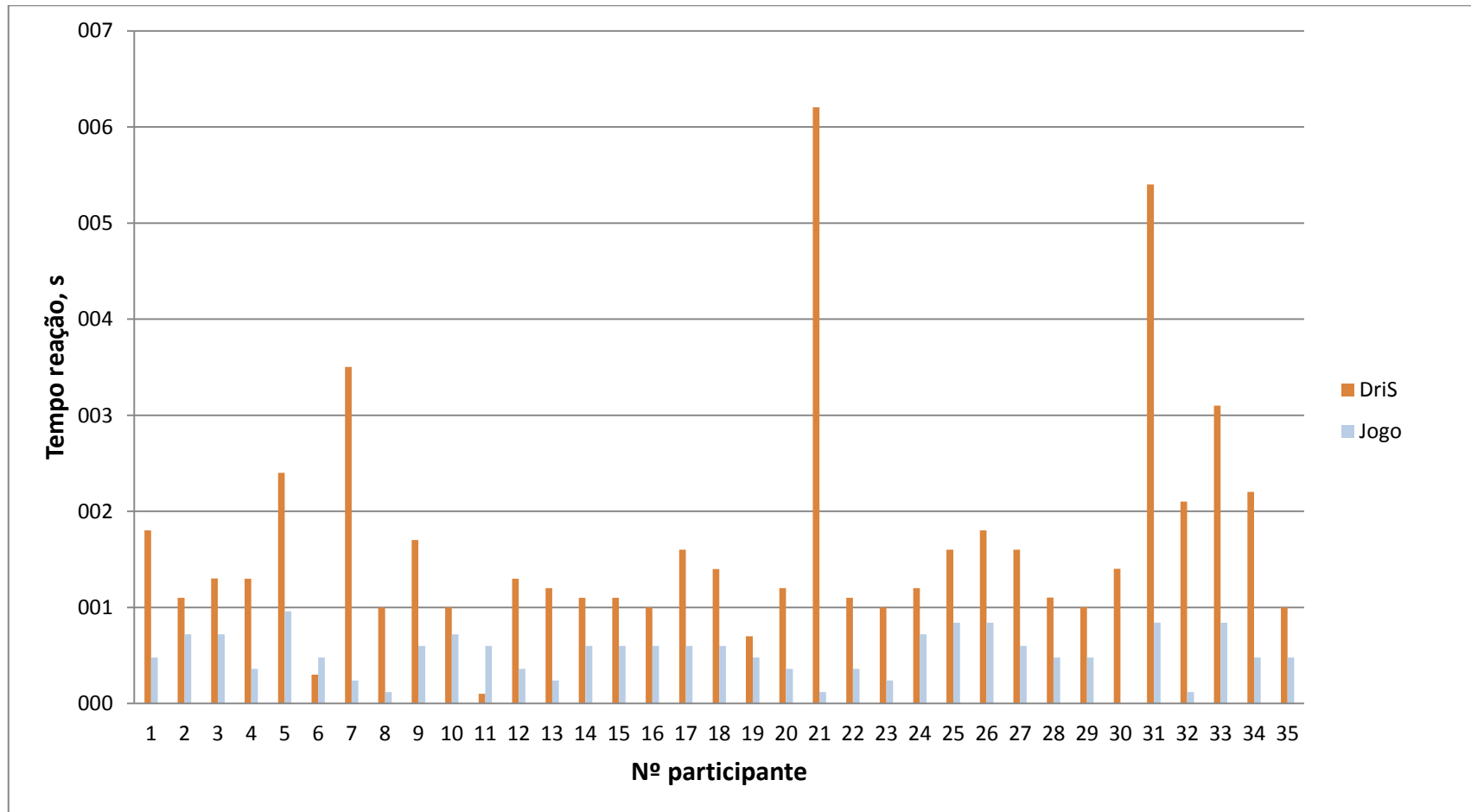
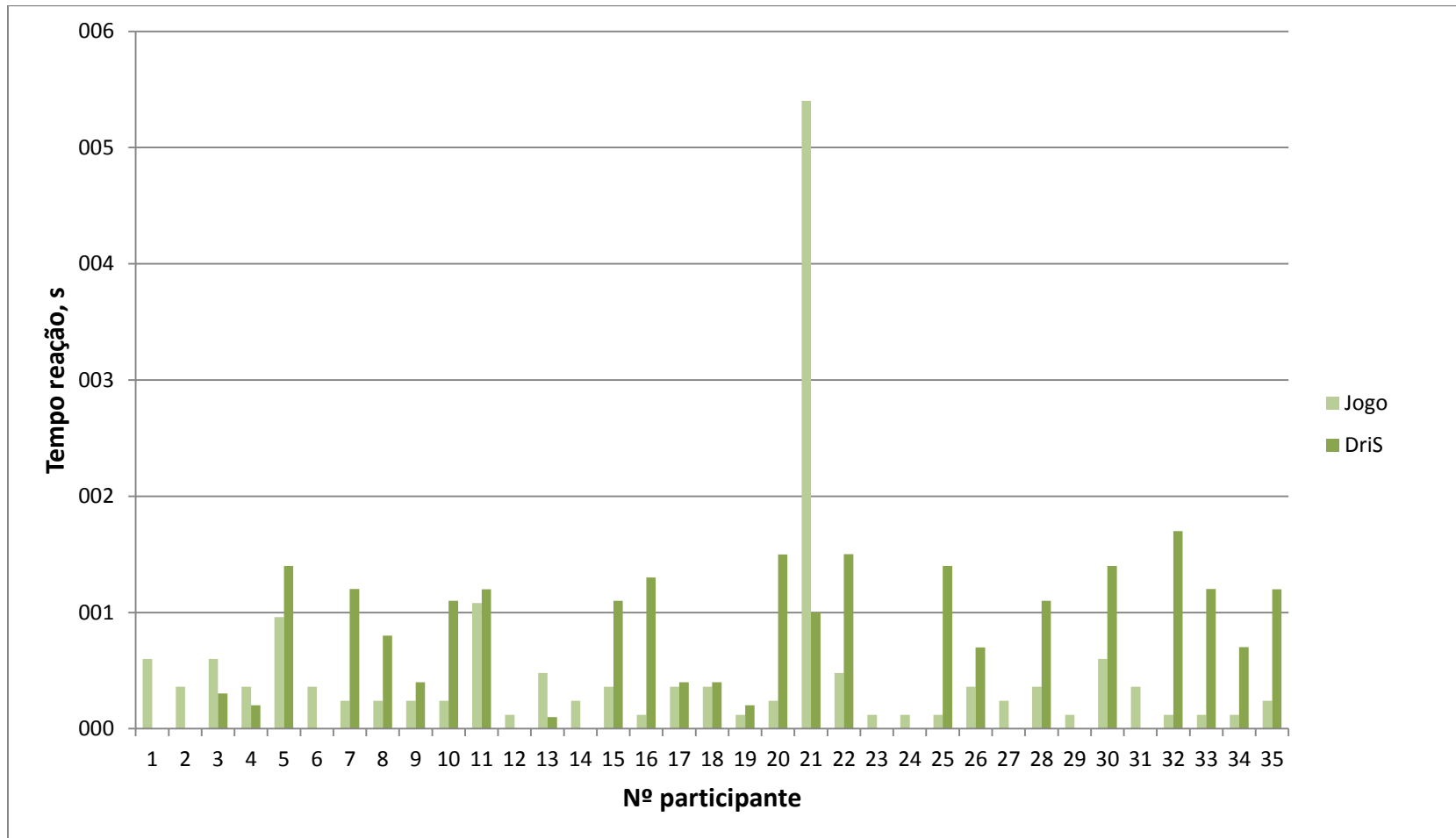


Figura 52. Tempo de reação ao aviso de excesso de velocidade para cada participante, em cada simulador.

Tabelas de Dados



**Figura 53.** Tempo de reação ao aviso de violação da distância de segurança para cada participante, em cada simulador.