

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO



Atualização de Simulador Físico de Condução Automóvel por Integração de Sistema de Realidade Virtual

André Jesus de Carvalho Pinto

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Professor Doutor Armando Jorge Miranda de Sousa

Co-orientadora: Professora Doutora Sara Maria Pinho Ferreira

27 de Junho de 2016

Resumo

No sentido de aumentar a segurança rodoviária é muito importante investigar as características e comportamentos dos condutores. Frequentemente, as situações que se pretendem estudar são de elevada perigosidade e para serem testadas e avaliadas convenientemente utilizam-se simuladores de condução, onde os diferentes fatores são mais facilmente isolados devido à repetibilidade dos testes realizados em segurança e com custos reduzidos. No Laboratório de Análise de Tráfego da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto são realizadas simulações de condução. O simulador inclui um carro físico totalmente instrumentado onde voluntários conduzem em ambiente simulado o veículo através de um ambiente virtual. Na situação inicial deste trabalho, todo o ambiente virtual externo ao carro era projetado numa única tela colocada na sua frente, com uma vista estática do que está apenas em frente do carro virtual.

Nesta dissertação é integrado no simulador de condução um sistema de realidade virtual (*oculus rift*). Nesta situação todo o carro e ambiente exterior é tridimensionalmente mostrado ao condutor de acordo com a direção do seu olhar. Pretende-se assim aumentar a imersividade e realismo do sistema, implementar algumas funcionalidades tornadas possíveis por esta tecnologia, potenciar o desenvolvimento de novas funcionalidades e avaliar as mais valias da utilização de um sistema de realidade virtual em simulações.

Neste projeto é utilizado todo o sistema original do simulador de condução, o Driving Simulator (DriS) que inclui já um ambiente virtual desenvolvido em OpenSceneGraph (OSG) e toda a dinâmica e lógica da simulação. Este projeto tem como objetivo acrescentar a possibilidade de utilização de realidade virtual, utilizando a informação já existente no DriS necessária à implementação. Uma vez que não é imposta nenhuma alteração que afete o sistema de projeção, esta atualização é totalmente retrocompatível e as novas funcionalidades podem ser desativadas em qualquer instante. As ferramentas principais utilizadas são OSG, linguagem C e C++ e o hardware Oculus Rift Development Kit 2 sob Sistema Operativo Linux Fedora 23. O trabalho realizado inclui introduzir novas câmaras de acordo com a posição da cabeça do condutor, espelhos retrovisores, volante e manete de velocidades de acordo com os elementos reais. Foram ainda introduzidos mostradores de velocidade e conta rotações tal como esperado no carro real.

Foram realizados testes para comparar a satisfação na experiência de condução no sistema anterior quando comparado com o novo sistema. Foram feitos 3 grupos de ensaio: um grupo apenas testou o sistema antigo, outro testou apenas o sistema novo e o último grupo testou os 2 sistemas. Os resultados obtidos demonstraram uma maior imersividade após melhoramentos deste trabalho com o sistema de realidade virtual. Com o novo sistema passa a ser possível olhar para os lados do veículo por exemplo aquando do atravessamento de cruzamentos. Com a introdução dos espelhos retrovisores, é possível observar todo o mundo virtual ainda melhor, com total liberdade e de uma forma natural. Além disto, é agora possível implementar e testar novas funcionalidades de forma mais fácil e com custos reduzidos de hardware. Para efeitos de avaliação de resultados de simulação é possível agora acompanhar com grande precisão os movimentos da cabeça dos condutores e registar toda a imagem visualizada pelo condutor.

Abstract

In order to increase road safety it is very important to investigate the characteristics and behavior of drivers. Often, the situations that are intended to be studied are highly dangerous, to test and evaluate conveniently are used driving simulators, where different factors are more easily isolated due to the repeatability of the tests carried out in safety and with reduced costs. Traffic Analysis Laboratory of the Faculty of the University of Porto performs driving simulations. The simulator includes a fully instrumented physical car where volunteers drive the vehicle through a virtual environment. In the initial situation of this project, all the external virtual environment was displayed on a single screen placed in front with a static view of what is in front of the virtual drive.

In this thesis a virtual reality system (Oculus Rift) is integrated in the driving simulator. In this situation all the car and outside environment is three-dimensionally shown to the driver in accordance with the direction of his view. The aim is to increase the immersiveness and realism of the system, implement some new features made possible by this technology, boost the development of new features and evaluate the added value of using a virtual reality system in simulations.

In this project it is used all the original driving simulator system, the Driving Simulator (DriS), which already includes a virtual environment developed in OpenSceneGraph (OSG), it is also implemented all the dynamics and logic simulation. This project aims to add the possibility of using the virtual reality system, the necessary information from the simulation is already on DriS. Since it does not impose any changes affecting projection system, this update is fully backward compatible and the new features can be disabled at any time. The main tools used are OSG, C and C++ language and the hardware Oculus Rift Development Kit 2 under the operating system Fedora 23. The work includes introducing new cameras according to the driver's head position, mirrors, steering wheel and gear lever according to the actual elements, speed and tachometer dials were also introduced as expected in the real car.

Tests were conducted to compare the driving experience satisfaction in the former system as compared to the new system. There were made three test groups: one group only tested the old system, other tested the new system and the last group tested the two system. The results showed great immersiveness improvements after this work with the virtual reality system. With the new system it is possible to look at the sides of the vehicle, useful for example on crossing intersections. With the introduction of mirror, you can see all the world even better, with complete freedom and in a natural way. Moreover, it is now possible to implement and test new features more easily and with reduced hardware costs. For simulation results assessment purposes it is now possible to follow the head movement with great precision and record the entire image displayed to the driver.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer em primeiro lugar ao Professor Armando Sousa que com grande mestria me avisou e preparou para os obstáculos que encontrei. Quero agradecer também pela forma frontal e simples com que sempre falou comigo e por estar sempre disponível quando precisei de ajuda e acima de tudo por acreditar e apostar em mim.

À Professora Sara Ferreira pela sua organização, a sua disponibilidade, pela sua opinião que me ajudou a definir os objetivos do trabalho e por ter garantido que nenhum equipamento faltasse para o desenvolvimento do projeto.

Ao Professor Miguel Leitão por me ter acompanhado ao longo deste semestre, por ter-me ajudado a conhecer o DriS e a ultrapassar muitas barreiras. A sua ajuda foi fundamental na elaboração deste projeto.

André Pinto

*“If something is important enough you should try,
even if the probable outcome is failure.”*

Elon Musk

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Contexto	1
1.2	Enquadramento	1
1.3	Estado Inicial do Projeto	3
1.4	Estrutura	4
2	Projetos de Simulação de Condução	5
2.1	Simuladores de Condução Automóvel	5
2.1.1	VTI	5
2.1.2	Simulador Mercedes-Benz	10
2.1.3	Simulador de Condução da Universidade de Leeds	11
2.2	Utilização de Realidade Aumentada ou Virtual em Simuladores	13
2.2.1	Simulação com Realidade Virtual - Iluminação de Emergência em Túnel Ferroviário	13
2.2.2	Simulação com Realidade Aumentada - Teste à Segurança Ativa Automóvel	16
3	Ferramentas	19
3.1	Realidade Virtual	19
3.2	Software	23
3.3	Hardware	23
4	Sistema DriS	25
4.1	Arquitetura Inicial	25
4.2	Arquitetura Proposta	27
4.3	Retro Compatibilidade	29
4.4	Novos Objetos 3D do Carro Virtual	29
4.5	Árvore de Objetos	34
5	Avaliação	37
5.1	Desenho dos Testes	37
5.2	Resultados Principais	39
5.2.1	Pontos Fortes	39
5.2.2	Pontos a Melhorar	41
6	Conclusões	45
6.1	Estado Atual do Projeto	45
6.2	Limitações Identificadas e Melhoramentos Propostos	46

I	ANEXOS	49
A	Questionário de Caracterização de Perfil	51
B	Questionário de Avaliação de Experiência	57
C	Caraterização da População da Avaliação	63
D	Resultados de Avaliação	73
	Referências	87

Lista de Figuras

1.1	Evolução do número de mortes em acidentes de viação em Portugal, 1980 - 2014 [1]	2
1.2	Evolução do número de feridos de viação em Portugal, 1980 - 2014 [1]	2
1.3	DriS - Simulador de condução	3
1.4	Arquitetura original simplificada do DriS	4
2.1	Sim IV - Simulador da VTI	7
2.2	Sim III - Simulador da VTI	8
2.3	Sim II - Simulador da VTI	8
2.4	Comparativo das especificações dos simuladores VTI [2]	9
2.5	Exterior do simulador Mercedes-Benz	10
2.6	Interior do simulador Mercedes-Benz	11
2.7	Exterior do simulador da universidade de Leeds [3]	12
2.8	Interior do simulador da universidade de Leeds [3]	12
2.9	Sistemas de iluminação de emergência [4]	14
2.10	Planta com vista aérea do túnel [4]	14
2.11	Execução de simulação [4]	15
2.12	Resultado da avaliação - Tempos médios até alcançar saída de emergência [4] . .	15
2.13	Sistema de hardware utilizado [5]	16
2.14	Desvio de perspetiva imposto pela localização das câmaras [5]	17
2.15	Composição da imagem percecionada pelo utilizador [5]	18
3.1	Especificações Oculus Rift vs HTC Vive vs Playstation VR vs StarVR [6]	20
3.2	Especificações OSVR HDK vs FOVE vs Gameface vs Totem [6]	21
3.3	Samsung Gear VR [7]	22
3.4	LG 360 VR [8]	23
4.1	Arquitetura inicial do DriS	26
4.2	Nova arquitetura de hardware do DriS	28
4.3	Nova arquitetura de software do DriS	28
4.4	Volvo S60 [21]	30
4.5	Interior do carro virtual editado	31
4.6	Volante	31
4.7	Manete de velocidades	32
4.8	Polígono do espelho esquerdo e mapeamento da textura	33
4.9	Velocímetro e conta rotações	33
4.10	Piscas	34
4.11	Nova Hierarquia de Objetos e Câmaras do DriS	35
4.12	Nova hierarquia de objetos detalhada do DriS	35

4.13	Movimento das câmaras do HMD	36
5.1	Legenda dos Gráficos Resultado	38
5.2	Boxplot [9]	38
5.3	Resultado - Questão número 13 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C	39
5.4	Resultado - Questão número 9 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C	40
5.5	Resultado - Questão número 21 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C	41
5.6	Resultado - Questão número 1 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C	42
5.7	Resultado - Questão número 17 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C	43
A.1	Questionário de Tendências de Imersividade - Página 1	52
A.2	Questionário de Tendências de Imersividade - Página 2	53
A.3	Questionário de Tendências de Imersividade - Página 3	54
A.4	Questionário de Tendências de Imersividade - Página 4	55
B.1	Questionário de Presença - Página 1	58
B.2	Questionário de Presença - Página 2	59
B.3	Questionário de Presença - Página 3	60
B.4	Questionário de Presença - Página 4	61
B.5	Questionário de Presença - Página 5	62
C.1	Caraterização - Idade - Na legenda, "Conjunto"refere-se a elementos do grupo C e "Individuais"aos grupos A e B	63
C.2	Caraterização - Questão número 1 - Na legenda, "Conjunto"refere-se a elementos do grupo C e "Individuais"aos grupos A e B	64
C.3	Caraterização - Questão número 2 - Na legenda, "Conjunto"refere-se a elementos do grupo C e "Individuais"aos grupos A e B	64
C.4	Caraterização - Questão número 3 - Na legenda, "Conjunto"refere-se a elementos do grupo C e "Individuais"aos grupos A e B	65
C.5	Caraterização - Questão número 4 - Na legenda, "Conjunto"refere-se a elementos do grupo C e "Individuais"aos grupos A e B	65
C.6	Caraterização - Questão número 5 - Na legenda, "Conjunto"refere-se a elementos do grupo C e "Individuais"aos grupos A e B	66
C.7	Caraterização - Questão número 6 - Na legenda, "Conjunto"refere-se a elementos do grupo C e "Individuais"aos grupos A e B	66
C.8	Caraterização - Questão número 7 - Na legenda, "Conjunto"refere-se a elementos do grupo C e "Individuais"aos grupos A e B	67
C.9	Caraterização - Questão número 8 - Na legenda, "Conjunto"refere-se a elementos do grupo C e "Individuais"aos grupos A e B	67

C.10	Caraterização - Questão número 9 - Na legenda, "Conjunto" refere-se a elementos do grupo C e "Individuais" aos grupos A e B	68
C.11	Caraterização - Questão número 10 - Na legenda, "Conjunto" refere-se a elementos do grupo C e "Individuais" aos grupos A e B	68
C.12	Caraterização - Questão número 11 - Na legenda, "Conjunto" refere-se a elementos do grupo C e "Individuais" aos grupos A e B	69
C.13	Caraterização - Questão número 12 - Na legenda, "Conjunto" refere-se a elementos do grupo C e "Individuais" aos grupos A e B	69
C.14	Caraterização - Questão número 13 - Na legenda, "Conjunto" refere-se a elementos do grupo C e "Individuais" aos grupos A e B	70
C.15	Caraterização - Questão número 14 - Na legenda, "Conjunto" refere-se a elementos do grupo C e "Individuais" aos grupos A e B	70
C.16	Caraterização - Questão número 15 - Na legenda, "Conjunto" refere-se a elementos do grupo C e "Individuais" aos grupos A e B	71
C.17	Caraterização - Questão número 16 - Na legenda, "Conjunto" refere-se a elementos do grupo C e "Individuais" aos grupos A e B	71
C.18	Caraterização - Questão número 17 - Na legenda, "Conjunto" refere-se a elementos do grupo C e "Individuais" aos grupos A e B	72
C.19	Caraterização - Questão número 18 - Na legenda, "Conjunto" refere-se a elementos do grupo C e "Individuais" aos grupos A e B	72
D.1	Resultado - Questão número 1 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C	73
D.2	Resultado - Questão número 2 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C	74
D.3	Resultado - Questão número 3 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C	74
D.4	Resultado - Questão número 4 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C	75
D.5	Resultado - Questão número 5 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C	75
D.6	Resultado - Questão número 6 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C	76
D.7	Resultado - Questão número 7 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C	76
D.8	Resultado - Questão número 8 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C	77
D.9	Resultado - Questão número 9 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C	77

Lista de Tabelas

3.1	Comparativo Samsung Gear VR vs LG 360 VR - Características chave	22
-----	--	--------------------

Abreviaturas e Símbolos

DriS	Driving Simulator
DK2	Development Kit 2
DLP	Digital Light Processing
HMD	Head Mounted Display
LAT	Laboratório de Análise de Tráfego
OSG	OpenSceneGraph
PAT	Position Attitude Transform
PLC	Programable Logic Computer
RGB	Red Green Blue
RTT	Render To Texture
VGA	Video Graphics Array
RV	Realidade Virtual
VTI	National Road and Transport Research Institute

Capítulo 1

Introdução

1.1 Contexto

Em Portugal a situação relativamente a sinistros rodoviários é preocupante e carece de ser melhorada, no ano de 2015 segunda as estatísticas oficiais [10], registaram-se 122.800 acidentes, 478 mortos, 2.206 feridos graves e 37.958 feridos ligeiros.

Para melhorar a segurança rodoviária é necessário estudar a condução automóvel em cenários limite, em situações inesperadas, pouco frequentes, mas que ao mesmo tempo são de grande perigo e, que, frequentemente, provocam acidentes graves e mortais.

Na realização destes estudos existe a necessidade de repetir várias vezes as mesmas experiências de forma a isolar os diferentes fatores. Neste sentido, o ambiente de teste necessita ser controlado e executado de forma repetitiva e nas mesmas condições entre experiências. Por estas razões mas, também, por questões de segurança e possíveis custos materiais, são utilizados simuladores de condução, que pretendem ser o mais realistas e flexíveis possível.

É possível concluir a partir das figuras 1.1 e 1.2 que nos últimos anos, principalmente a partir dos anos 90, a segurança rodoviária melhorou a um ritmo consistente e substancial, mas mesmo assim, ainda longe de obter o resultado pretendido que é eliminar todos os acidentes e mortes.

1.2 Enquadramento

O Laboratório de Análise de Tráfego (LAT) do departamento de Engenharia Civil da FEUP criou o projeto *Driving Simulator* (DriS), um simulador de condução desenvolvido ao longo dos últimos vinte anos. Aqui são realizados uma grande diversidade de estudos, tais como:

- Estudo das especificações de vias ainda em fase de projeto, testando as diferentes possibilidades de construção, nomeadamente as variáveis relativas à largura da via, curvatura, inclinação, posicionamento de sinais de trânsito, cruzamentos e velocidade máxima segura.
- Reação do condutor à introdução de novas tecnologias (GPS, Cruise Control, etc...), avaliando o esforço cognitivo necessário, situações em que pode ou não ser utilizado, desenvolvimento e otimização da interface com o utilizador.

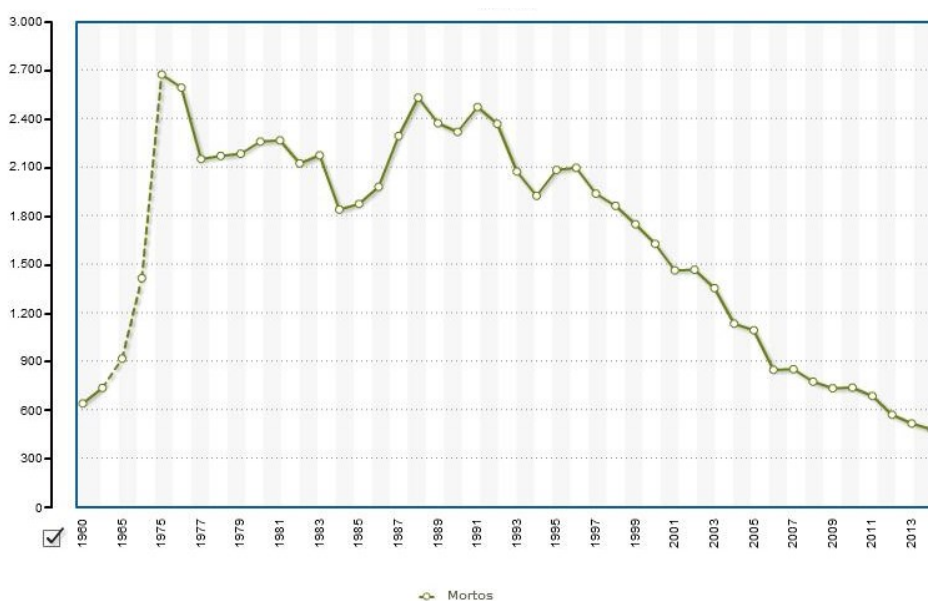


Figura 1.1: Evolução do número de mortes em acidentes de viação em Portugal, 1980 - 2014 [1]

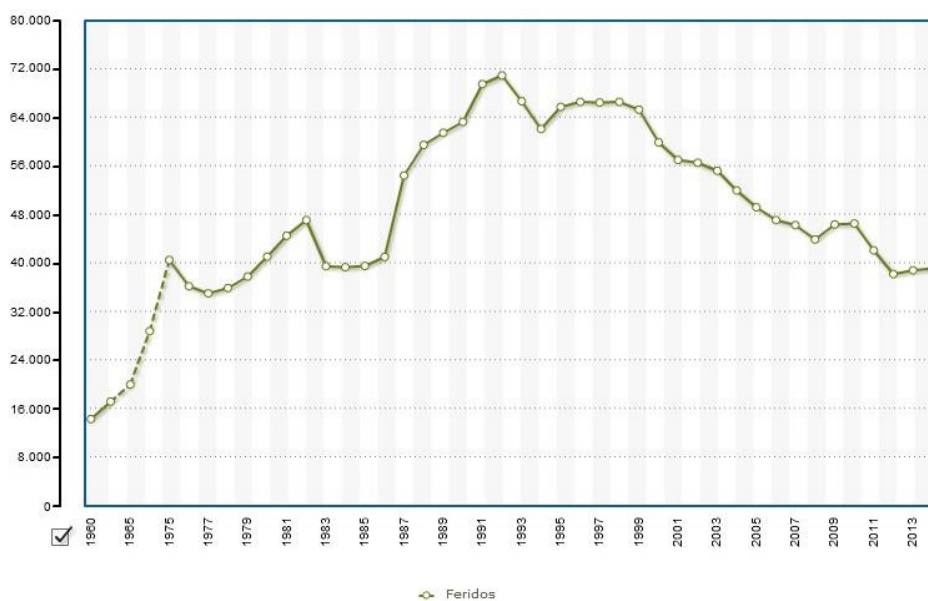


Figura 1.2: Evolução do número de feridos de viação em Portugal, 1980 - 2014 [1]

- Avaliação de comportamentos de risco, permitindo encontrar um limite fundamentado para a quantidade de álcool ingerido, tempo máximo de condução, problemas mecânicos no veículo.

Todos estes estudos facilitam a tomada de decisão fundamentada, permitindo acautelar investimentos, regulamentar corretamente e melhorar cada vez mais a segurança rodoviária.

Na figura 1.3 é possível visualizar as condições do simulador DriS no Laboratório de Análise de Tráfego do Departamento de Engenharia Civil.



(a) Volvo 440

(b) Projeção do Mundo Virtual

Figura 1.3: DriS - Simulador de condução

1.3 Estado Inicial do Projeto

O simulador DriS dispõe de um carro real instrumentado que é responsável por recolher todos os *inputs* de condução necessários à simulação. Este carro inclui dois *displays*, o primeiro é utilizado para mostrar ao condutor a velocidade e rotação do motor, o segundo é tátil e é utilizado como consola central que permite a implementação de várias funcionalidades como atender chamadas ou a utilização de GPS.

Durante uma simulação, o condutor observa a sua condução através da imagem projetada na tela posicionada à sua frente, esta representa com exatidão a perspetiva e decisões do condutor.

O som é produzido por 4 colunas colocadas nas extremidades da sala. Este sistema acompanha a condução e os eventos despoletados na lógica de simulação.

O ambiente virtual é gerado utilizando OpenSceneGraph. A lógica do simulador está implementada em C++ e C.

A figura 1.4 representa um esquema simplificado da arquitetura original do DriS.



Figura 1.4: Arquitetura original simplificada do DriS

1.4 Estrutura

Esta dissertação é composta pelos seguintes capítulos:

- Capítulo 1 - "Introdução" é feito o enquadramento desta dissertação, incluindo uma breve caracterização do projeto inicial e as motivações para o desenvolvimento da mesma;
- Capítulo 2 - "Projetos de Simulação de Condução" onde é feita uma caracterização das funcionalidades e das opções de implementação de três instituições europeias e líderes mundiais em simulação de condução automóvel;
- Capítulo 3 - "Ferramentas" são analisadas as várias opções de hardware e software disponíveis, sendo ao mesmo tempo justificadas as opções tomadas;
- Capítulo 4 - "Sistema DriS" é feita uma análise da arquitetura antes e após da integração do sistema de realidade virtual;
- Capítulo 5 - "Avaliação" são analisados resultados obtidos a partir de experiências de simulação que utilizaram o novo sistema de realidade virtual e o comparam com o de projeção;
- Capítulo 6 - "Conclusões" , é efetuada uma análise final dos resultados e são identificados possíveis melhoramentos futuros.

Capítulo 2

Projetos de Simulação de Condução

Neste capítulo é feita uma caracterização das funcionalidades e das opções de implementação de três instituições europeias e líderes mundiais em simulação de condução automóvel. Alguns simuladores utilizam atuadores mecânicos que simulam acelerações, esta característica aumenta significativamente o realismo da simulação, transmitindo ao condutor as acelerações inerentes à condução em curva, travagem, etc.

2.1 Simuladores de Condução Automóvel

Os simuladores de condução têm um papel muito importante no estudo do desempenho humano em situações de condução. Permite a realização de experiência com grande repetibilidade, isolando assim os fatores que se pretendam estudar, possibilita também testar em segurança os limites e variabilidade da capacidade humana quando colocados em situações que seriam de elevado risco, pode também servir para ensinar a conduzir através de situações raras mas de grande perigosidade.

Será de assumir que um bom simulador automóvel poderá chegar a ser mais caro que o carro propriamente dito, porém o simulador é intrinsecamente seguro.

2.1.1 VTI

Segundo [11], o Instituto Nacional Sueco de Investigação de Transportes e Estradas, também conhecido como VTI, tem mais de 40 anos de experiência no uso de simuladores e é uma das principais autoridades na realização de experiências de simulação e desenvolvimento de tecnologia de simulação.

A VTI utiliza software *Open Source* desenvolvido por si, permitindo dessa forma oferecer aos seus clientes experiências feitas à sua medida.

O software do simulador da VTI é baseado em *Open Source* e o código é desenvolvido por si. No entanto em alguns casos podem ser integrados módulos externos de software tais como dinâmicas de veículos, características de sistemas ativos de segurança, etc. A integração de software externo é normalmente fácil graças ao acesso total ao código fonte .

O ambiente gráfico é programado em C++ puro e baseado em OpenSceneGraph (OSG), versão atual 2.8.

A dinâmica dos veículos foi sempre desenvolvida pela VTI e hoje conta com uma equipa de 5 a 7 investigadores e engenheiros. Os modelos são implementados em Fortran ou Matlab/Simulink/SimMechanics. O carro normalmente utilizado é um Volvo S40, a dinâmica implementada para este veículo está totalmente validada. Neste carro estão implementadas as seguintes funcionalidades:

- Controlo Eletrónico de Estabilidade;
- Sistema de Aviso de Saída de Faixa;
- Ajuda ativa de manutenção na Faixa através correção da trajetória;
- Aviso de colisão frontal;
- Sistema de deteção de distração do condutor;
- Sistema anti bloqueio de rodas.

O software de simulação está dividido em várias camadas, desde o sistema operativo até ao código orientado ao projeto. Cada camada é dependente da anterior, a primeiro e básica é o hardware que consiste num poderoso computador com o sistema operativo Linux OpenSUSE. O segunda camada é composta por software desenvolvido por terceiros, tais como:

- Fortran;
- C;
- C++;
- boost;
- Trolltech Qt;
- Qwt;
- tinyxml.

A terceira camada contém software básico para a aplicação de simulação e funções básicas tais como leitor de xml, comunicação TCP/IP e UDP. A quarta camada contém a estrutura utilizada para gravar informação de simulação, classes base para aplicações específicas de desenvolvimento. A partir desta estrutura é desenvolvida a aplicação de simulação e o seu ambiente gráfico. Existe também a camada de software que faz a interface com as instalações, responsável pelo controlo dos movimentos e comunicação com a cabine de condução. Na camada de topo está o código específico usado na execução da experiência de investigação que permite ao programador controlar o cenário, gerir eventos, gravar dados e personalizar tudo de acordo com os requisitos do cliente.

Segundo [2], a VTI dispõe de várias infraestruturas físicas de simulação onde utiliza o mesmo software desenvolvido.

Os três principais e mais recentes simuladores de condução automóvel são:

Sim IV

Tem um avançado sistema de movimentos e é o único simulador da VTI que permite acelerações significativas segundo os eixos x e y. Por isto, é a primeira escolha quando se pretende, ao

mesmo tempo, acelerações longitudinais e laterais. Este simulador, é também aquele com maior campo de visão.

O simulador tem duas cabinas alternativas, uma de camião outra de automóvel e conta com três ecrãs que servem de espelhos retrovisores. O sistema visual é composto por nove projetores que permitem uma visão com 210° de amplitude. O simulador usa um sistema com uma câmara para calibrar o sistema segundo a posição do condutor (figura 2.1).



Figura 2.1: Sim IV - Simulador da VTI

Sim III

Este simulador tem um desempenho de topo a nível mundial, possui quatro graus de liberdade e permite ao mesmo tempo movimentos lineares e de rotação.

O sistema de imagem utiliza três projetores de processamento digital de luz (DLP) que permite ao condutor obter um ângulo de visão de 120° sendo também utilizados três ecrãs que funcionam como espelhos retrovisores. O Sim III está apoiado numa base vibratória de alta frequência que lhe permite simular irregularidades na estrada, como é o exemplo de bandas sonoras (figura 2.2).



Figura 2.2: Sim III - Simulador da VTI

Sim II

O sistema de imagem consiste em seis projetores com resolução de 1920 x 1080 pixels, obtendo uma ângulo de visão de 120°. Estão implementados apenas dois espelhos retrovisores utilizando o mesmo método dos simuladores anteriores.

Este simulador possui ainda uma base vibratória e é capaz de movimentos lineares e de rotação (figura 2.3).

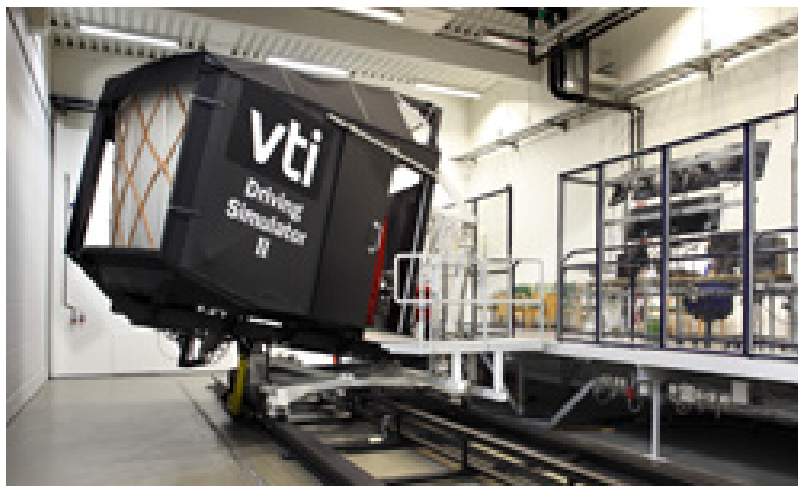


Figura 2.3: Sim II - Simulador da VTI

Na figura 2.4 é possível observar um comparativo das especificações dos diferentes simuladores VTI.

	Sim IV	Sim III	Sim II
Motion system			
Pitch (degrees)	$\pm 16,5$	-9 till +14	-10 till +15
Roll (degrees)	$\pm 16,5$	± 24	± 22
Linear system			
Amplitude (m)	$\pm 2,5 / \pm 0,31$ (surge) $\pm 2,3 / \pm 0,32$ (sway)	$\pm 3,75$	$\pm 3,5$
Velocity (m/s)	$\pm 2,0 / \pm 0,8$ (surge) $\pm 3,0 / \pm 0,8$ (sway)	$\pm 3,75$	$\pm 3,5$
Acceleration (m/s^2)	$\pm 5,0 / \pm 6,5$	$\pm 8,0$	$\pm 4,0$
Vibration table	(N/A)		
Vertical motion (cm)	—	$\pm 6,0$	$\pm 5,0$
Longitudinal motion (cm)	—	$\pm 6,0$	$\pm 7,5$
Roll (degrees)	—	± 6	± 7
Pitch (degrees)	—	± 3	± 4
Visual system			
Forward view (degrees)	> 180	115	105
Rear view mirrors (LCD screens)	3	3	3
Average resolution on screen* (arc minute per line pair)	5,0** (horizontal) 2,5** (vertical)	2,8 (horizontal) 2,7 (vertical)	2,5 (horizontal) 2,7 (vertical)
Cabin (exchangeable)	Volvo XC60 or Volvo FH	Saab 9-3	Scania T112H

*The human eye has 0.59 arc minute per line pair

** $\pm 0,5$

Figura 2.4: Comparativo das especificações dos simuladores VTI [2]

2.1.2 Simulador Mercedes-Benz

Segundo [12], o simulador da Mercedes-Benz é também capaz de movimentos lineares e de rotação atingindo a velocidade máxima de 10 m/s deslocando-se sobre carris com 12 metros de comprimento. Na figura 2.5 é possível observar o exterior deste simulador.

No interior do simulador o ângulo de visão sobre o ambiente virtual é de 360°, é possível observar na figura 2.6 que existem dois espelhos retrovisores implementados através de ecrãs devidamente posicionados.

Este simulador é utilizado pela Mercedes para testar carros em fase de desenvolvimento.



Figura 2.5: Exterior do simulador Mercedes-Benz



Figura 2.6: Interior do simulador Mercedes-Benz

2.1.3 Simulador de Condução da Universidade de Leeds

Segundo [3], este simulador utiliza um carro Jaguar colocado no interior de uma redoma esférica com 4 metros de diâmetro. O ambiente virtual é projetado na sua superfície interna, permitindo uma visão na direção da frente do carro com uma amplitude de 250° na horizontal e 45° na vertical. Existem também três painéis que implementam os espelhos retrovisores, respetivamente.

O sistema de imagem é composto por cinco computadores dedicados, que utilizam placas gráficas FX3000G e FX4500G. A projeção consiste em 8 canais com resolução de 1024×768 px (800×450 px para os espelhos retrovisores exteriores), todos com 60FPS.

O sistema físico responsável pelos movimentos da cabine tem oito graus de liberdade e está colocado sobre carris, um segundo X onde está apoiado outro segundo Y, permitindo uma amplitude de 10 metros em ambas as direções. É também capaz de movimentos de rotação.



Figura 2.7: Exterior do simulador da universidade de Leeds [3]



Figura 2.8: Interior do simulador da universidade de Leeds [3]

2.2 Utilização de Realidade Aumentada ou Virtual em Simuladores

Um sistema de realidade virtual utiliza um *Head Mounted Display* HMD que oculta totalmente a visão do mundo real e substitui-a por duas imagens virtuais devidamente posicionadas de acordo com a posição de cada olho, a imagem é atualizada de acordo com os movimentos da cabeça do utilizador o que permite uma visão muito realista de um mundo virtual.

2.2.1 Simulação com Realidade Virtual - Iluminação de Emergência em Túnel Ferroviário

Segundo [4], nesta experiência é utilizado um *Oculus Rift Development Kit 1* para avaliar a utilização de fitas LED de alto brilho como iluminação de emergência num túnel ferroviário com fumo. Foram estudados dois cenários que avaliaram o comportamento de 60 participantes quanto aos percursos escolhidos e tempo de evacuação. Um dos cenários avaliou um sistema com iluminação contínua, enquanto no segundo foi avaliado um sistema dinâmico que indica a direção da saída.

Um dos objetivos deste estudo foi avaliar se um sistema de simulação com realidade virtual, que é mais barato do que um simulador tradicional, pode ser usado para estudar o comportamento em ambientes complexos como o de um túnel ferroviário.

O *Oculus Rift Development Kit 1* permite ao utilizador um movimento livre da cabeça com uma amplitude horizontal de visão de 90°.

Durante a simulação foi recolhida a seguinte informação: - Tempo total até à saída de emergência; - Distância até à saída ao longo do tempo; - Distância lateral até às paredes do túnel.

Após cada experiência foi realizado um questionário focado na avaliação da: - Capacidade de observar e identificar o mundo; - Capacidade de interpretação da sinalização; - Capacidade global de concretização dos objetivos.

Para o desenvolvimento do mundo virtual foi usado um programa de desenho 3D grátis e motor gráfico Unity.

A cor escolhida para a iluminação de emergência foi o verde devido à visão humana e por estar associada a segurança.

O primeiro cenário serviu de controlo, não contém iluminação de emergência.

O segundo consistiu em fitas LED com 10m de comprimento, 10mm de largura e 2mm de espessura. Foi criada a ilusão de movimento com o ligar e desligar de secções, mantendo ligadas secções com 2m que se movem em direção à saída separadas por uma secção com 4m desligada.

No terceiro cenário a iluminação é contínua.

É possível observar os cenários 2 (à esquerda) e 3 (à direita) na figura 2.9.

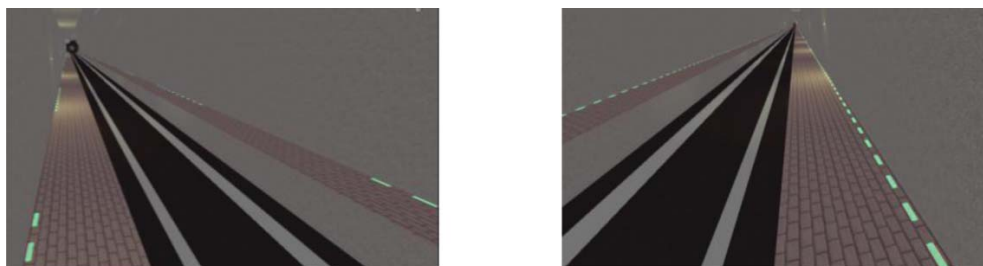


Figura 2.9: Sistemas de iluminação de emergência [4]

O mundo virtual consiste num túnel ferroviário com 1200m de comprimento, 5.6m de largura e altura máxima de 6.9m, este está ligado a dois túneis de emergência que permitem aos participantes sair em segurança, o túnel tem 4 saídas de emergência separadas no máximo por 600m. A velocidade de deslocação dentro do mundo virtual é de 1.2m/s.

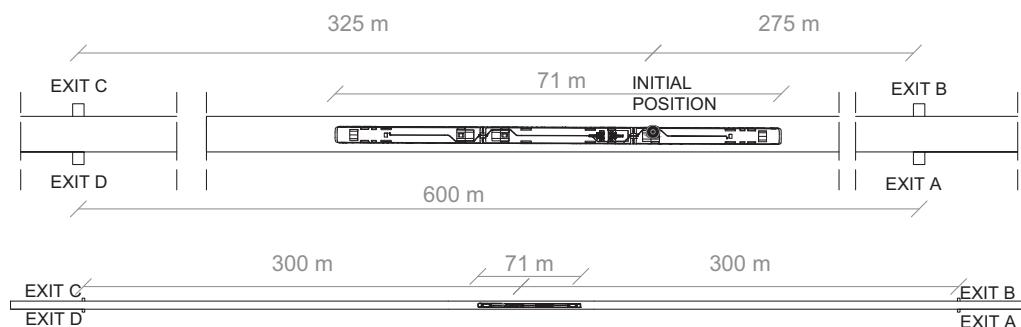


Figura 2.10: Planta com vista aérea do túnel [4]

A população estudada consistiu de 60 participantes maioritariamente estudantes internacionais oriundos de 26 diferentes nacionalidades, 29 homens e 31 mulheres. Com idades entre 18 e 40 anos.

A posição dentro da experiência em realidade virtual foi recolhida com um intervalo de amostragem de 0.5 segundos, valor este que foi usado para calcular a distância à saída mais próxima.

Os resultados obtidos indicam que o cenário de iluminação com ilusão de movimento é o que produz melhores resultados, seguido do uso iluminação continua e por último sem iluminação de emergência.



Figura 2.11: Execução de simulação [4]

É possível observar para cada cenário o tempo que foi necessário aos participantes para chegar até à saída na figura 2.12.

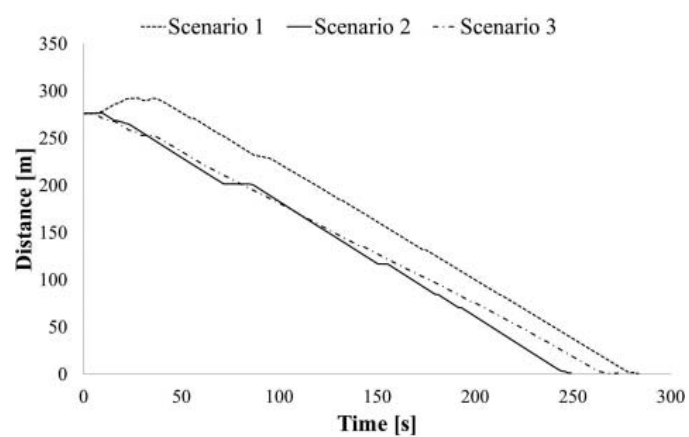


Figura 2.12: Resultado da avaliação - Tempos médios até alcançar saída de emergência [4]

Os participantes foram capazes de identificar corretamente o mundo virtual, sendo que a maioria reparou nas linhas verdes no passeio do túnel e consideraram ser a cor apropriada.

As principais limitações encontradas foram:

- Um pequeno atraso da imagem do HMD;
- Em alguns casos foi perceptível alguma pixelização da imagem;
- A impossibilidade de sentir a temperatura, humidade e cheiro;
- A velocidade de deslocação constante retirou algum realismo à experiência.

2.2.2 Simulação com Realidade Aumentada - Teste à Segurança Ativa Automóvel

Segundo [5], existe uma tendência para incluir cada vez mais sistemas ativos de segurança nos automóveis, estes são peças chave na redução do número de fatalidades ou feridos em acidentes automóveis. Exemplos destes sistemas podem ajudar a manter o veículo dentro da via ou intervir em caso de colisão iminente.

Avaliar a interação entre o condutor e os novos componentes requer a utilização de um simulador ou condução numa pista real. A realidade aumentada permite criar eventos virtuais visíveis no mundo real, desta forma diminuindo o stress cognitivo dos participantes que pode refletir-se em náusea ou desequilíbrio. Fatores que podem afetar os resultados das experiências.

Uma vantagem da utilização de um sistema virtual puro é desta forma são eliminados os erros de registo de valores da simulação.

O hardware deste sistema realidade aumentada, figura 2.13, consiste na utilização de um Oculus Rift Development Kit 2 e duas câmaras devidamente colocadas no exterior HMD. A imagem é combinada no computador e apresentada ao participante no HMD.

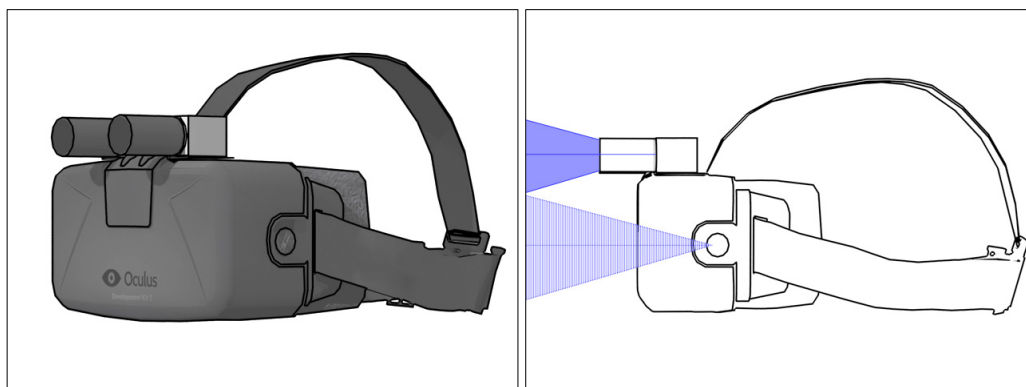


Figura 2.13: Sistema de hardware utilizado [5]

A posição das câmaras difere da dos olhos em 70mm na vertical e 20mm na horizontal, esta é traduzida pelo utilizador como um desvio da sua posição nos movimentos de translação e como um aumento do tamanho da sua cabeça nos movimentos de rotação, perceptível principalmente ao olhar objetos próximos como o interior do carro. O efeito destes fatores foi considerado negligenciável

uma vez que durante a condução a maioria dos objetos observados estão posicionados longe e o desvio horizontal, que tem grande impacto, ser de apenas 20mm.

Na figura 2.14 é possível observar uma comparação entre a perspectiva real e a percebida no Oculus.

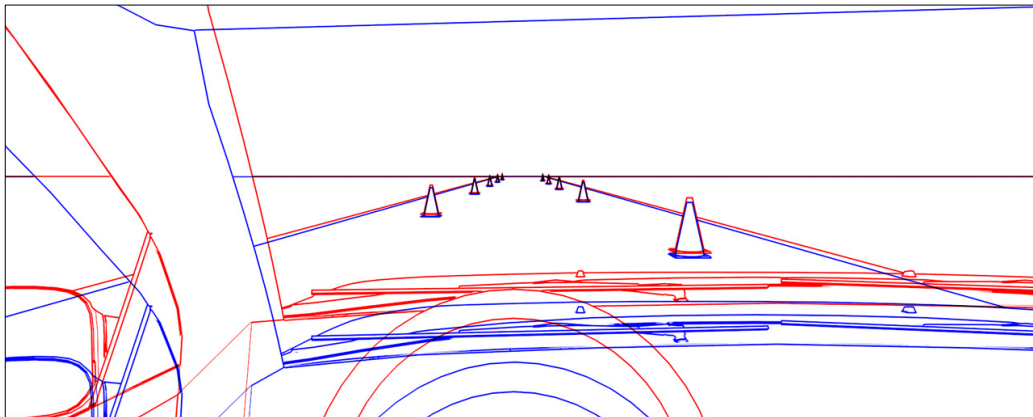


Figura 2.14: Desvio de perspectiva imposto pela localização das câmaras [5]

Em realidade aumentada é necessário adquirir a posição da cabeça e também do carro. Para seguir os movimentos da cabeça foram utilizados os sensores internos do Oculus Rift, para seguir os movimentos do carro foi usado um sistema de localização local com um erro máximo de 25mm.

O gerador de imagem é responsável por apresentar a vista do mundo ao utilizador, que inclui objetos virtuais e as vistas recolhidas das câmaras.

O motor gráfico usado foi o OpenSceneGraph. Na figura 2.15 é possível observar a composição da imagem vista pelo utilizador.

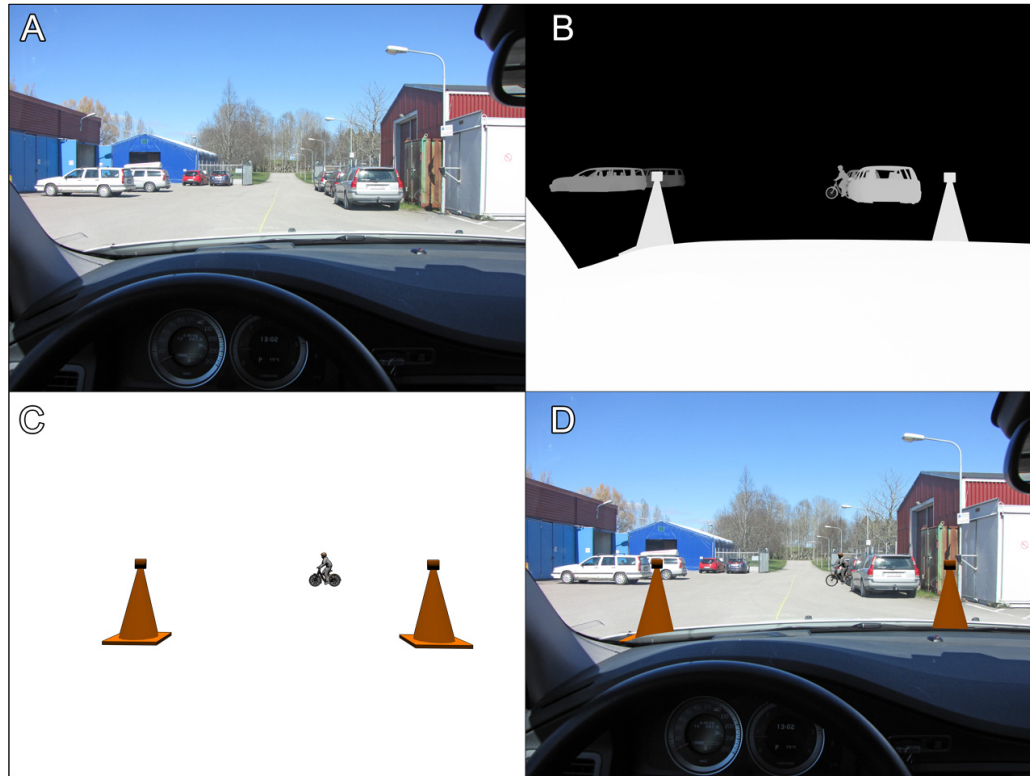


Figura 2.15: Composição da imagem percebida pelo utilizador [5]

É possível concluir que este sistema pode ser usado para avaliar interações entre o condutor, carro e o mundo, mas é ainda necessário validar através de mais testes e experiências com esta tecnologia. O desenvolvimento do sistema não é dispendioso.

Melhoramentos futuros:

- Melhorar o sistema de aquisição do posicionamento, calibração e gerador de imagem;
- Sistema automático de calibração que evite a introdução de variabilidade proveniente de erros humanos;
- Melhorar a qualidade de imagem como o brilho relativo entre objetos e a percepção de profundidade;
- Otimização da utilização da placa gráfica com vista a obter menor latência.

Capítulo 3

Ferramentas

3.1 Realidade Virtual

O primeiro equipamento a ser caracterizado é o *Developmente Kit 2* (DK2) da Oculus Rift. Segundo [13], o DK2 integra um ecrã full HD que é dividido a meio resultando em 960x1080 pixels por cada olho. A taxa de atualização máxima é de 75Hz e o ângulo de visão tem amplitude de 100°.

Os seus sensores internos incluem giroscópio, acelerómetro e magnetómetro. Para o posicionamento é utilizada uma câmara externa direcionada ao HMD que capta com uma frequência de 60Hz o padrão de leds infravermelhos embebidos.

Na ligação ao computador o HMD necessita de uma porta HDMI e uma USB 2.0. É ainda necessária uma USB 2.0 para ligar a câmara externa.

A Oculus Rift disponibiliza *Software Development Kits* (SDK) de DK2 para Linux, MacOS e Windows. A última versão para Linux e MacOS X é a 0.5.0.1 de Março de 2015, data a partir da qual a Oculus decidiu interromper o seu esforço de integração nestes sistemas operativos.

Segundo [14], os requisitos mínimos são um processador de 2.5GHz, 4GB de memória RAM e placa gráfica compatível com DirectX 10 ou OpenGL 3.

À data da elaboração deste documento, estão disponíveis para compra, numa lista de mercados que não inclui o português, duas possibilidades o *Oculus Rift Consumer Version* e o HTC Vive.

Segundo [15] os dois são muito idênticos, a resolução, taxa de atualização e ângulo de visão são iguais e incluem auscultadores. Os requisitos mínimos acompanham as suas características e são também idênticos. Necessitam de, no mínimo, uma placa gráfica NVidia GTX 970 ou AMD 290, processador Intel i5-4590, 8GB de RAM no caso da Oculus e 4GB no caso da HTC. Na figura 3.1 é possível observar uma comparação entre os dois equipamentos, o Playstation VR e o StarVR, na figura 3.2 a comparação entre o OSVR HDK, o FOVE, o Gameface e o Totem.



Name	Oculus Rift	HTC Vive	PlayStation VR	StarVR
Manufacturer	Oculus VR	HTC, Valve	Sony	Starbreeze
Display	2x OLED	2x OLED	OLED	2x LCD
Resolution	2160x1200px	2160x1200px	1920x1080px	5120x1440px
Framerate	90fps	90fps	120fps	60fps
Field of view	>110°	>110°	100°	210°
Positional tracking	6DOF	6DOF Valve Lighthouse	6DOF	6DOF
Controller	Xbox One controller/Oculus Touch	two SteamVR controllers, one for each hand	Playstation Move/DualShock 4	-
Weight	-	-	-	-
Audio	interchangeable headphones built in	external	external	external
Requires	High-end PC	High-end PC	PlayStation 4	High-end PC
Release date	Q1 2016	Q4 2015	Q2 2016	-
Expected price	\$599/699€	>\$600	~\$400-\$600	-

Figura 3.1: Especificações Oculus Rift vs HTC Vive vs Playstation VR vs StarVR [6]

Dos HMDs anteriores, o Playstation VR não pode ser utilizado por ter apenas suporte para a consola. O StarVR tem características muito boas especialmente quanto à resolução e ângulo de visão, mas ainda não tem data de entrada no mercado. O Oculus Rift e HTC Vive são à data desta dissertação os HMDs mais promissores, ainda que ainda sem suporte para Linux.



Name	OSVR HDK	FOVE	Gameface	Totem
Manufacturer	Razer, Sensics	FOVE	Gameface Labs	VRVANA
Display	LCD	-	OLED	OLED
Resolution	1920x1080px	2560x1440px	2560x1440px	2560x1440px
Framerate	60fps	60fps	75fps	75fps
Field of view	100°	>100°	140°	105°
Positional tracking	6DOF	6DOF	6DOF Valve Lighthouse	6DOF
Controller	-	120hz Eye Tracking	-	AR
Weight	-	400g	-	400g
Audio	external	external	external	external
Requires	High-End-PC/Android	High-End-PC	-	PC
Release date	Q4 2015	May 2016	-	-
Expected price	-	\$375	-	-

Figura 3.2: Especificações OSVR HDK vs FOVE vs Gameface vs Totem [6]

Dos HMDs anteriores, o OSVR destaca-se pelo suporte em Android apesar de a qualidade de imagem ser inferior e o ângulo de visão menor. O FOVE regista os movimentos dos olhos do utilizador, informação que pode ser importante na avaliação de simulações de condução. O Gameface conjuga uma boa resolução com um bom ângulo de visão. Já quanto ao Totem não são anunciadas características a destacar.

Para além dos equipamentos já caracterizados, existem também soluções aparentemente mais económicas mas que não dispõem de um ecrã e podem não incluir sensores internos, utilizando para esse efeito um *Smartphone*, o qual pode tornar esta solução bastante onerosa.

Alguns fabricantes de telemóveis, como a Samsung e a LG criaram suportes que utilizam os seus telemóveis topo de gama. A Samsung desenvolveu em cooperação com a Oculus Rift o *Gear VR* que é compatível apenas com os seus Galaxy S6, S7 e Note5. Já o suporte da LG é compatível apenas com os LG G5 e LG 360 CAM.

Na tabela 3.1 são comparadas as características chave destes equipamentos. É importante realçar que apesar da alta resolução de imagem destes HMDs a capacidade de computação gráfica dos telemóveis é relativamente baixa quando comparada com um computador convencional.

Tabela 3.1: Comparativo Samsung Gear VR vs LG 360 VR - Características chave

	Samsung Gear VR	LG 360 VR
Amplitude de Visão Horizontal	96°	80°
Resolução Máxima por Olho	1280 x 1440 px (*) [7]	920 x 720 px [8]
Peso (Telemóvel + HMD)	152g [16] + 318g [7] = 470g	159g [17] + 116g [8] = 275g
Custo	99\$ [18]	? [18]

O mercado da realidade virtual encontra-se muito ativo, estando disponíveis muitas mais opções com especificações ligeiramente diferentes, que vão desde o Google Cardbox VR até outros suportes compatíveis com diferentes tamanhos de telemóvel como o HOMiDO e o Zeiss VR ONE.



Figura 3.3: Samsung Gear VR [7]



Figura 3.4: LG 360 VR [8]

3.2 Software

O DriS utiliza software *Open Source* desenvolvido pela sua equipa ao longo de sensivelmente 20 anos. Neste momento o simulador utiliza Fedora nos principais computadores, com a única exceção do computador responsável pelo subsistema de som que corre Windows.

O ambiente gráfico foi implementado em *OpenSceneGraph* (OSG), os diferentes objetos usados foram editados usando 3D Studio MAX e, posteriormente, Blender. A lógica da aplicação de simulação está desenvolvida em C e C++.

O OSG é uma biblioteca de software livre que oferece um nível de abstração adequado à criação de ambientes virtuais complexos permitindo, ao mesmo tempo, controlar totalmente os movimentos destes objetos. É a biblioteca utilizada pela VTI e é a ferramenta mais direcionada para o desenvolvimento de simulações. Alternativas como Ogre3D, Irrlicht têm um nível de abstração superior e são boas escolhas para desenvolver jogos. Por outro lado OpenGL é demasiado baixo nível o que aumentaria em muito o esforço necessário à implementação.

De acordo com a pesquisa efetuada as opções de software tomadas no desenvolvimento do DriS mostram-se as mais adequadas até ao momento.

3.3 Hardware

O HMD escolhido é o Oculus Rift DK2 uma vez que é o equipamento mais completo e o único, até ao momento, com suporte para Linux. Além disto, é também um hardware muito testado graças à grande e entusiasta comunidade que já desenvolve aplicações para este hardware há mais de 1 ano.

O computador escolhido vai muito além das especificações necessárias ao DK2 e, também, além da versão consumidor da Oculus Rift. Este tem as seguintes especificações chave:

- Processador i7 6700, 8MB de cache, 3.4-4GHz;
- Placa Gráfica Nvidia GTX980 GDDR5 256bit 4GB;

Capítulo 4

Sistema DriS

4.1 Arquitetura Inicial

Para explicar melhor o funcionamento do DriS, este pode ser dividido em três subsistemas de hardware:

- Carro Volvo 440 instrumentado de forma a ser possível adquirir toda a informação necessária à simulação;
- Subsistema de Imagem que consiste na projeção de um ambiente virtual de simulação em tela colocada na frente do condutor;
- Subsistema de som com quatro colunas colocadas nas extremidades do laboratório e uma coluna no interior do carro que é utilizada para enviar mensagens ao condutor.

Na figura 4.1 é possível observar a arquitetura inicial do DriS.

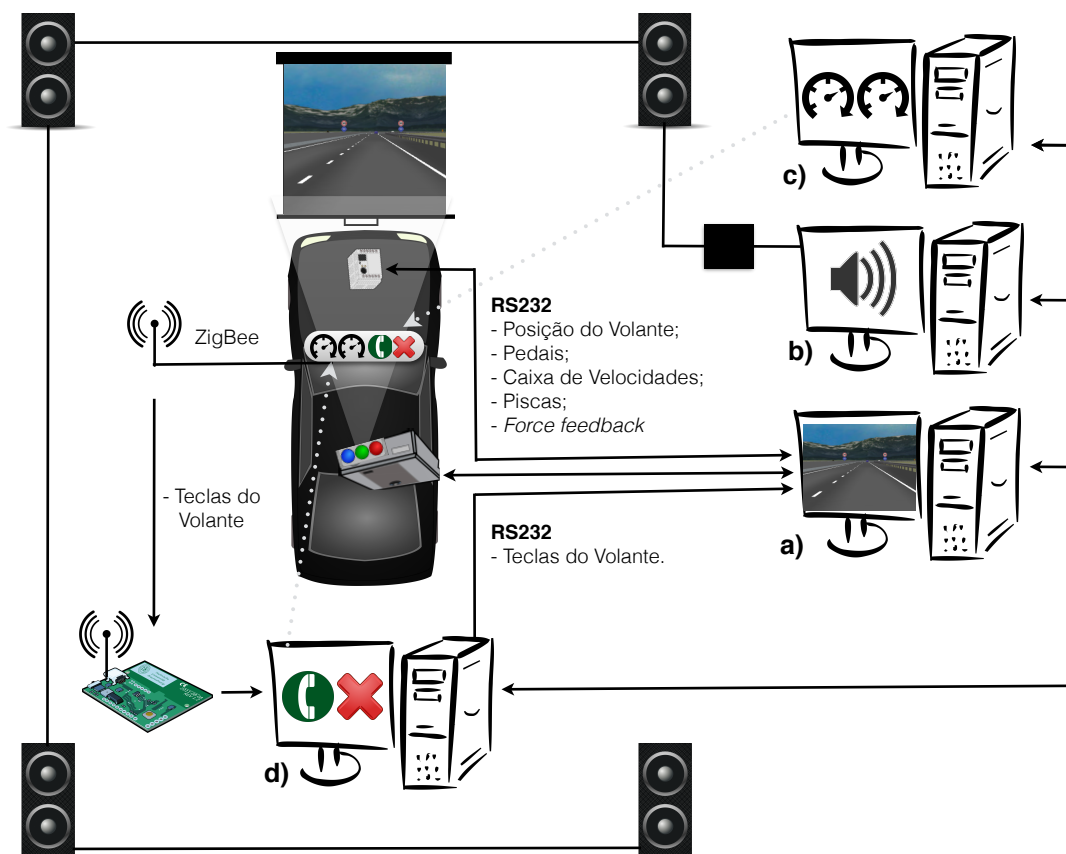


Figura 4.1: Arquitetura inicial do DriS

Partindo do carro, um PLC localizado na frente do carro (junto ao motor) é utilizado para recolher a informação de:

- Rotação do volante;
- Pedais;
- Piscas;
- Caixa de velocidades.

Esta informação é transmitida ao computador a) por RS232. Em sentido oposto, o computador comunica ao PLC a informação necessária a este para atuar o *force feedback* do volante, implementado de forma a aumentar o seu realismo.

É também recolhida a informação das teclas do volante, tais como as de *cruise control*. Esta é transferida por ZigBee para o computador d) e posteriormente em RS232 para o computador a), onde a informação é processada.

Durante a experiência o condutor observa o mundo virtual na tela posicionada à sua frente. É utilizado um projetor com três sistemas independentes de projeção (um por cada cor RGB), a imagem é o resultado desta sobreposição e tem 1280x1024 *pixels* de resolução.

A imagem é gerada pelo computador a), é transmitida por VGA até um conversor onde são selecionados os 3 canais RGB, passando a partir daí e até ao projetor a ser transmitidos em cabos coaxiais independentes.

No interior do carro existem 2 displays. O computador c) é responsável por gerar a imagem com o velocímetro e conta rotações, a imagem é enviada por VGA diretamente para o respetivo display. O segundo display é usado como consola central e permite ao condutor atender chamadas ou receber notificações, a imagem é gerada pelo computador d) e é também enviada por VGA.

O computador b) é responsável por gerar os sons da experiência, tais como o motor do carro e travagem.

A comunicação entre os diversos computadores é feita através de rede ethernet, comunicação TCP/IP e UDP. O computador a) é responsável por toda a lógica da simulação e os computadores b) c) e d) executam as respetivas tarefas designadas de acordo com a informação recebida de a).

4.2 Arquitetura Proposta

Na atualização efetuada por este projeto é proposta a utilização de um sistema de realidade virtual como alternativa ao sistema de projeção. O custo desta atualização é relativamente reduzido quando comparado com a estrutura já existente composta pelo carro real e diversos subcomponentes. Com esta atualização passa a ser necessário apenas manter os componentes ao alcance do condutor. Nenhum componente é retirado ou alterado ao sistema original. Na figura 4.2, é possível observar a nova arquitetura de hardware.

Ao mundo virtual original do DriS, são adicionados um carro e respetivos subcomponentes, o volante, os espelhos retrovisores, a caixa de velocidades, as luzes de pisca, velocímetro e conta rotações. Foram também adicionadas duas câmaras responsáveis por capturar as vistas necessárias ao HMD. Na figura 4.3, é possível observar a nova arquitetura de software.

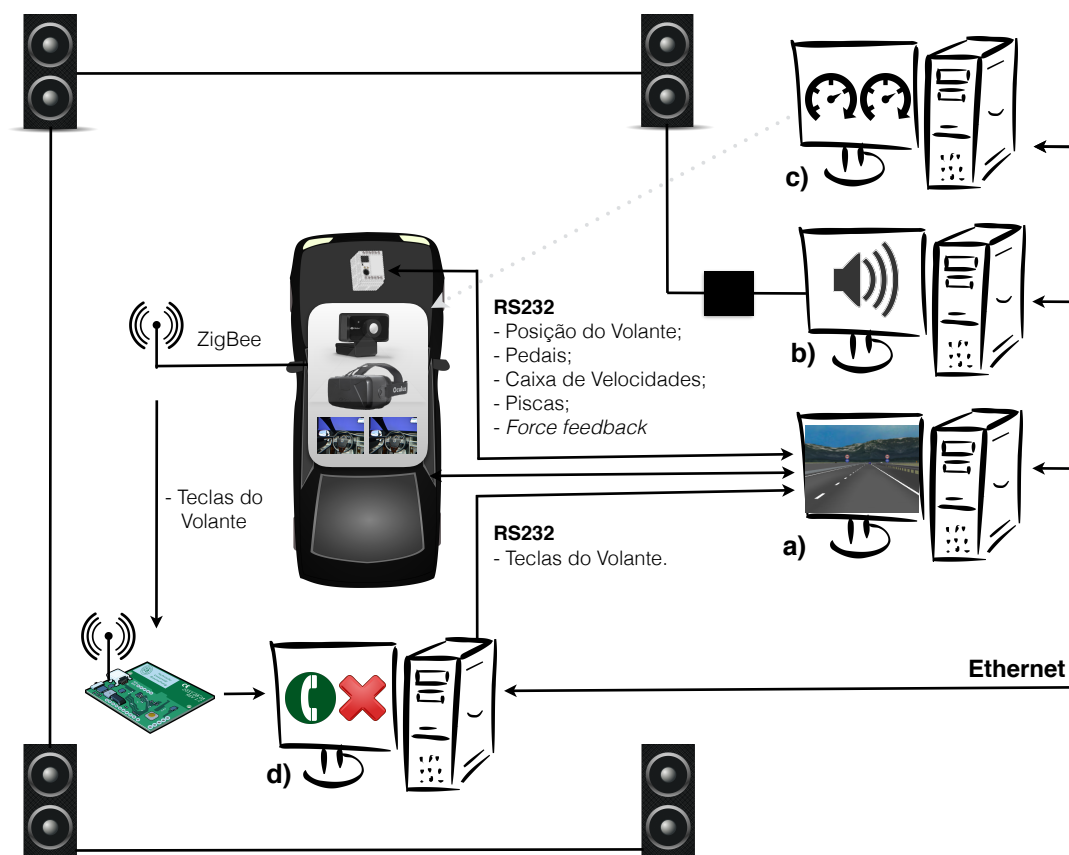


Figura 4.2: Nova arquitetura de hardware do DriS

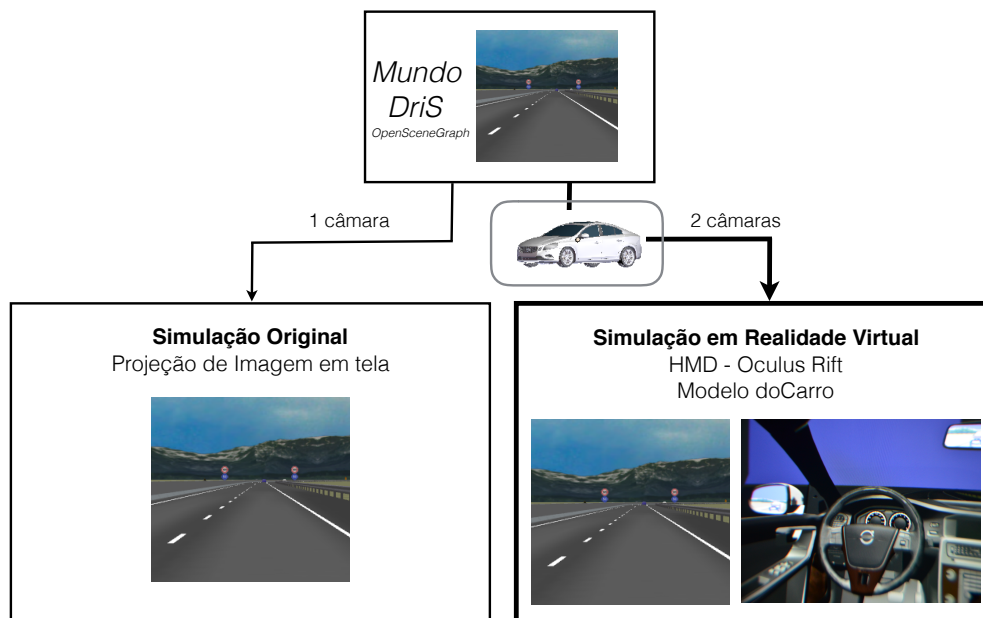


Figura 4.3: Nova arquitetura de software do DriS

4.3 Retro Compatibilidade

Neste projeto foi adicionado um novo modo com o qual pode ser percebido o mundo de simulação. Além disto, é agora possível utilizar um sistema de realidade virtual, o qual implicou a integração de novo hardware e software, mas nenhum destes componentes interfere com o funcionamento original do DriS.

Porém o horizonte virtual não foi ainda adaptado ao sistema de realidade virtual e a iluminação pode ainda ser melhorada.

A ligação desta atualização com a aplicação DriS é o *main.C*, se no arranque da aplicação esta receber como argumento a letra "H" é então despoletado o arranque das funcionalidades desenvolvidas nesta atualização. São efetuadas ainda um conjunto de inicializações inerentes à construção da nova árvore OSG e à criação do *viewer* e sua configuração.

Dentro do ciclo de execução é feita a aquisição dos valores correspondentes aos movimentos de rotação e translação do HMD. Para este efeito a Oculus Rift disponibiliza uma aplicação, com o nome *ovrd*, que é então executada em paralelo com o DriS, sendo a responsável por fazer a fusão e tradução das leituras obtidas do HMD.

- O valor da orientação encontra-se na variável *oculusDevice->orientation()* do tipo *OSG::Quat*;
- O valor da translação encontra-se na variável *oculusDevice->position()* do tipo *OSG::Vec3*.

Por fim, a posição dos objetos 3D são atualizados com base na orientação e rotação resultante da fusão dos valores obtidos do HMD, com os da condução, já presentes dentro do mundo DriS.

São utilizados dois blocos de software que não foram desenvolvidos neste projeto, ambos estão guardados em um diretórios independentes, localizados ao mesmo nível do diretoria com a *source* do DriS. São eles o SDK da Oculus Rift para o HMD DK2 [19], versão *Linux 0.5.0.1.(Experimental)* e software de integração do Oculus Rift para OSG desenvolvido por uma equipa liderada por Bjorn Blissing [20].

Foram também efetuadas as necessárias alterações à *makefile* do DriS de forma a que contemple os novos objetos e a biblioteca *libOVR* do SDK da Oculus.

4.4 Novos Objetos 3D do Carro Virtual

O mundo percebido através do sistema de realidade virtual, inclui agora um carro 3D Volvo V60, figura 4.4, obtido através de uma fonte grátis [21], este é da mesma marca do carro real, tem muito boa qualidade no exterior e interior do veículo e inclui já o volante utilizado no carro real.

Este modelo 3D foi trabalhado no Blender versão 2.76 até corresponder às necessidades do simulador, tarefa que envolveu a divisão do carro nas diferentes peças às quais foi dada uma dinâmica.



Figura 4.4: Volvo S60 [21]

Na figura 4.5 é possível observar o interior do carro depois de editado.

- Foram removidos o volante e manete de velocidades;
- Foram aplicadas as texturas com a escala de velocidade e conta rotações;
- Foram corrigidas texturas com alinhamento inicial errado;
- As características dos materiais e texturas foram ajustados, as transparências do vidros foram alteradas, o brilho do materiais, foram apagadas algumas texturas;
- A origem do objeto carro foi colocado no centro geométrico 3D do veículo;

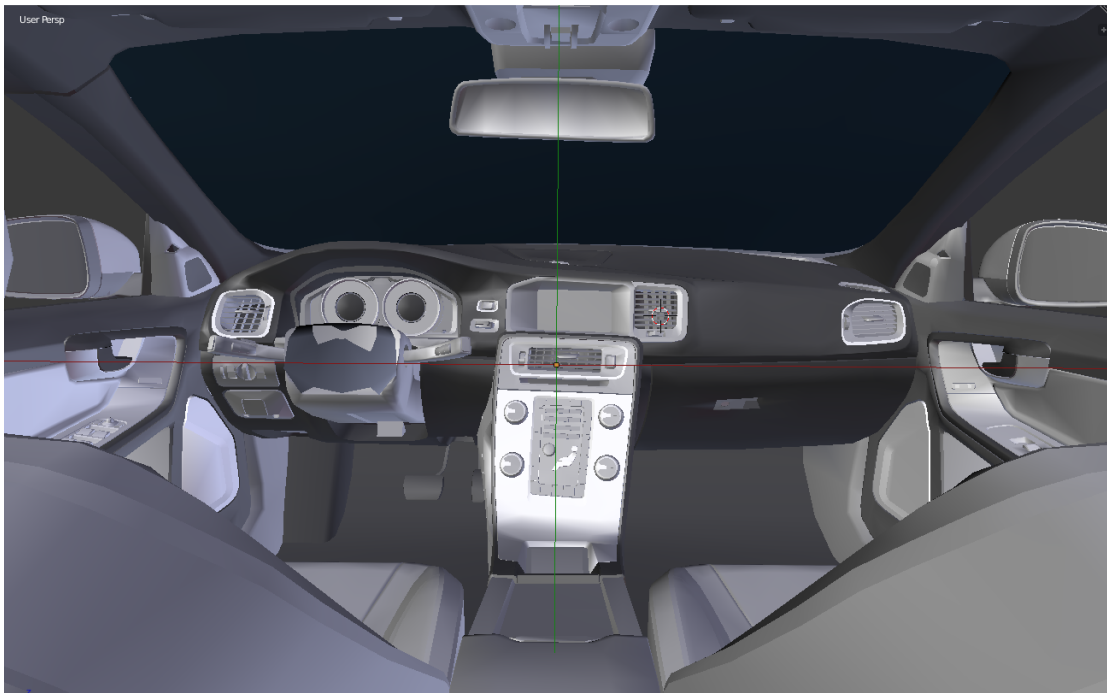


Figura 4.5: Interior do carro virtual editado

O volante, figura 4.6, é uma réplica bastante próxima do volante real, este foi recortado e a origem colocada no centro geométrico da circunferência correspondente ao perímetro do volante, com o eixo Z perpendicular á superfície de forma a facilitar a criação da dinâmica do objeto.

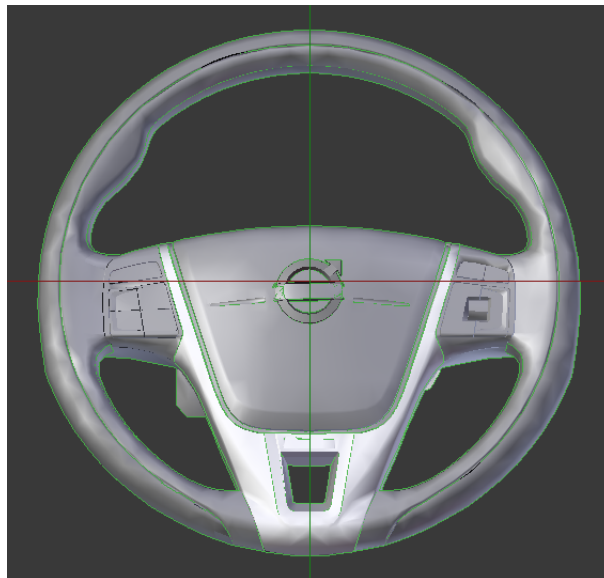


Figura 4.6: Volante

A manete de velocidade na figura 4.7 a), foi devidamente recortada como o volante e foi aplicada a textura na figura 4.7 b) no seu topo por forma a corresponder à manete de velocidade do carro real do DriS. A superfície no topo foi deformada e foram alteradas as suas cores por forma

a obter o maior contraste. A textura está desenhada de forma a ser o mais legível possível, como número grandes e grande contraste.

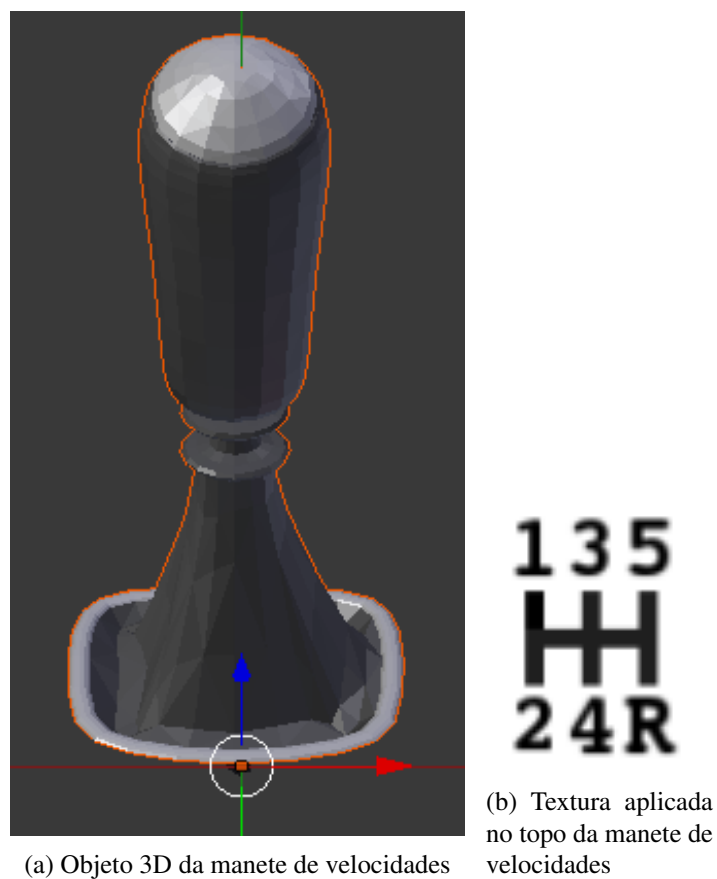


Figura 4.7: Manete de velocidades

Os espelhos retrovisores são polígonos onde é posteriormente aplicada a textura com a imagem correspondente ao reflexo pretendido, na figura 4.8 é possível observar a definição do objeto que serve de espelho esquerdo e mapeamento da textura nos respetivos vértices. A resolução utilizada os espelhos foi de 512x512px.

```

osg::Geometry* polyGeomEsquerda = new osg::Geometry();

polyGeomEsquerda->setSupportsDisplayList(false);

osg::Vec3Array* verticesEsquerda = new osg::Vec3Array;
osg::Vec2Array* texcoordsEsquerda = new osg::Vec2Array;

verticesEsquerda->push_back(osg::Vec3d(0.05,0,0.003)); // Inferior Direito
texcoordsEsquerda->push_back(osg::Vec2(256,5));

verticesEsquerda->push_back(osg::Vec3d(.24,0,0.0)); // Inferior Esquerdo
texcoordsEsquerda->push_back(osg::Vec2(471,0));

verticesEsquerda->push_back(osg::Vec3d(.285,0,0.05));
texcoordsEsquerda->push_back(osg::Vec2(512,91));

verticesEsquerda->push_back(osg::Vec3d(.265,0,0.14));
texcoordsEsquerda->push_back(osg::Vec2(494,256));

verticesEsquerda->push_back(osg::Vec3d(.22,0,.165)); //Superior Esquerdo
texcoordsEsquerda->push_back(osg::Vec2(452,302));

verticesEsquerda->push_back(osg::Vec3d(0.05,0,.187)); //Superior Direito
texcoordsEsquerda->push_back(osg::Vec2(256,342));

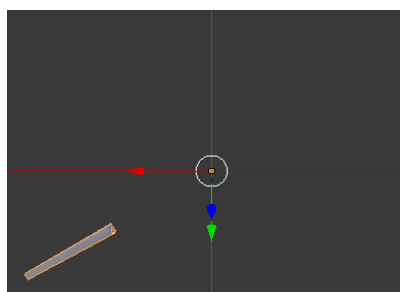
//      vertices->push_back(osg::Vec3d(02,0,.5));

polyGeomEsquerda->setVertexArray(verticesEsquerda);
polyGeomEsquerda->setTexCoordArray(0,texcoordsEsquerda);

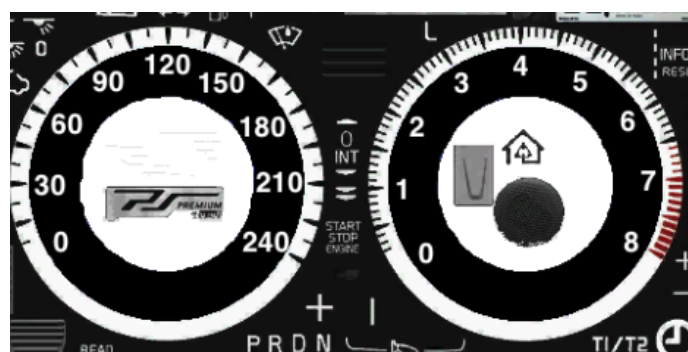
```

Figura 4.8: Polígono do espelho esquerdo e mapeamento da textura

Os ponteiros de velocidade e rotação, figura 4.9 a) são objetos 3D com corretas proporções, aos quais foi aplicada a cor vermelha para aumentar o contraste com o fundo na figura 4.9 b). Esta textura foi devidamente aplicada de forma a corresponder exatamente a um carro real. Os valores da escala de velocidade são múltiplos de 30 com o objetivo de maximizar a facilidade de leitura.



(a) Objeto Ponteiro de Rotação e Velocidade



(b) Textura aplicada com a representação de velocidade e rotação

Figura 4.9: Velocímetro e conta rotações

Os piscas foram objetos 2D (com profundidade) com a forma visível na figura 4.10. Foi aplicada uma textura de cor verde.

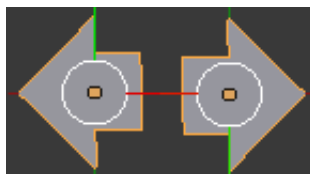


Figura 4.10: Piscas

4.5 Árvore de Objetos

Como anteriormente referido, ao ambiente gráfico original foram adicionados vários novos objetos e câmaras. Na figura 4.11 está representada a nova hierarquia de objetos do DriS, onde o Mundo é o ambiente virtual original e que é inserido na árvore de objetos do sistema de realidade virtual.

As câmaras são manipuladas em tempo real através da chamada da função *camera -> setViewMatrix(matrix)* que as roda e posiciona da forma pretendida. Para definir estas matrizes são utilizadas as funções *makeRotate*, *makeTranslate*, *preMultRotate* e *preMultTranslate*.

As câmaras do HMD têm uma inicialização que as coloca na posição de arranque da experiência que é fixa em relação ao carro virtual, mas que pode variar em relação ao mundo segundo o ponto de partida dos diferentes projetos de simulação. Em tempo real os movimentos do HMD acompanham as rotações e translações do carro virtual, às quais são somados os valores obtidos do HMD.

As câmaras dos espelhos acompanham os movimentos do carro virtual e não têm em conta informação obtida do HMD.

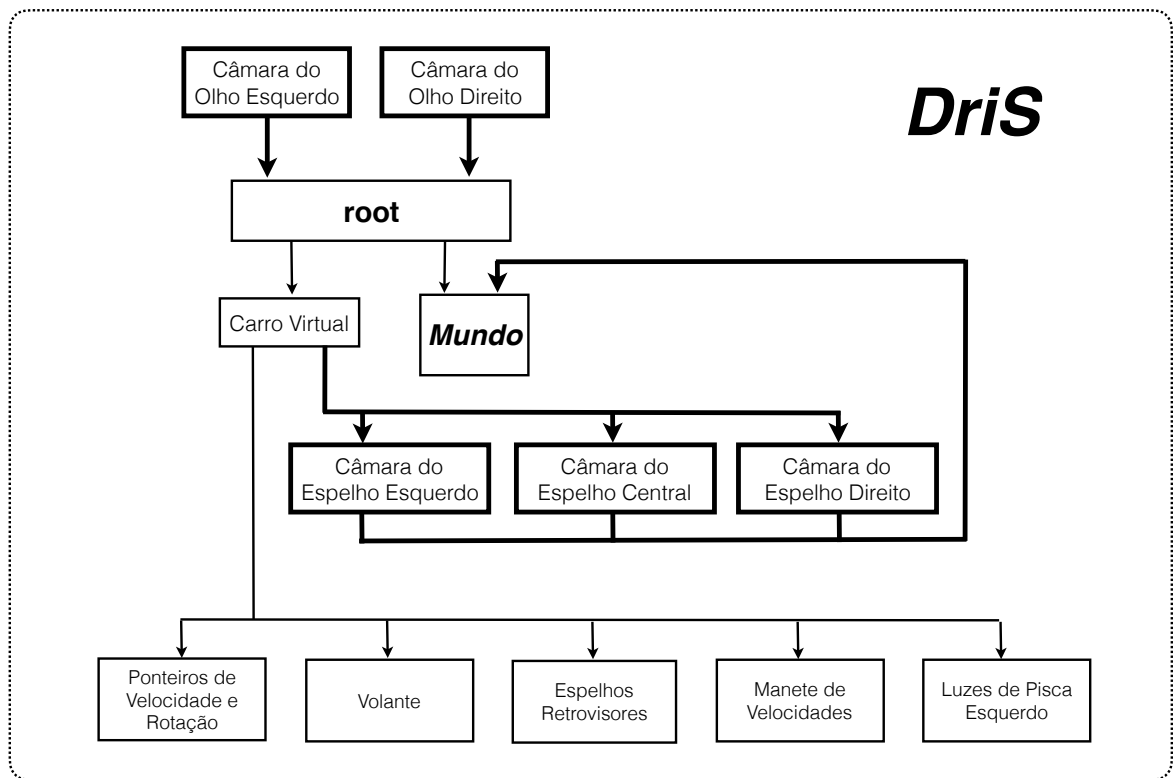


Figura 4.11: Nova Hierarquia de Objetos e Câmaras do DriS

Para movimentar os objetos 3D são usadas *Position Attitude Transforms*(PAT), que se encontram interligadas segundo a hierarquia representada na figura 4.12.

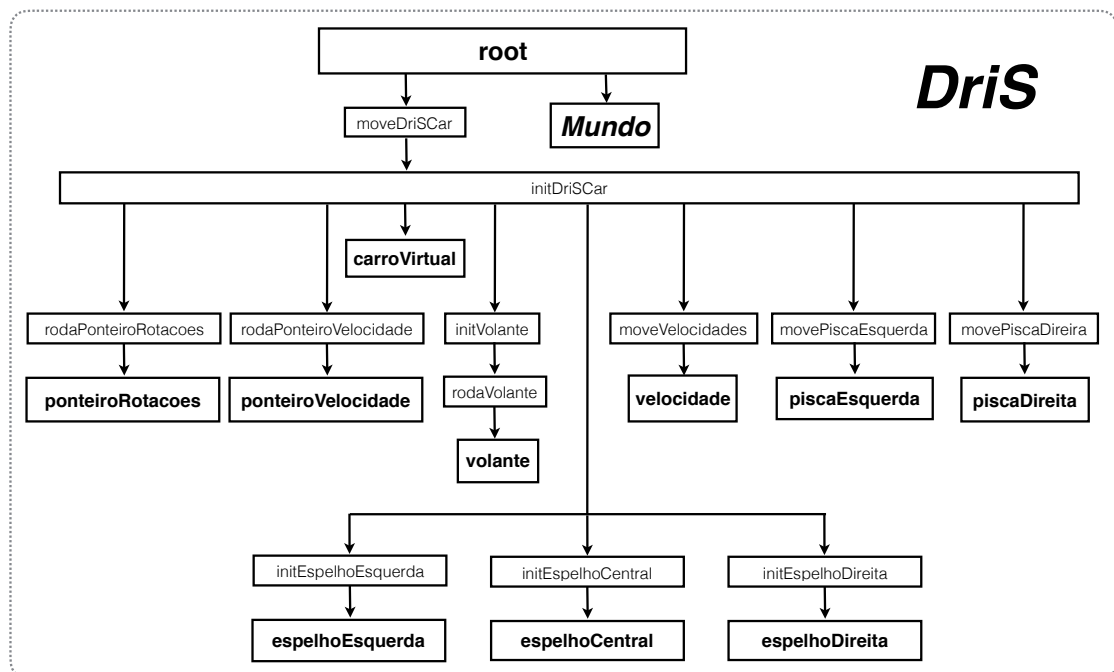


Figura 4.12: Nova hierarquia de objetos detalhada do DriS

No topo da hierarquia está o *osg::Group* root que reúne o *Mundo* original do DriS e os novos objetos 3D (a negrito) , as PAT *moveDriSCar* são responsáveis por aplicar deslocamentos aos seus filhos segundo os valores já interpretados pelo DriS, implementando assim toda a dinâmica do carro virtual.

Na figura 4.13 é possível observar um excerto do código desenvolvido. Este é responsável pelo movimento das câmaras associadas a cada um dos olhos do condutor.

As câmaras deslocam-se de acordo com o movimento do carro em relação ao mundo e da cabeça do condutor relativamente ao carro.

As vistas do HMD são posicionadas de forma a a origem adquirida através da câmara coincidir com a correspondente localização física. Desta forma o sistema ajusta-se automaticamente a condutores de diferentes estaturas e posições de condução.

```

osg::Vec3 OculusPosition = oculusDevice->position(); // Posicao do Oculus em relacao a Camara

osg::Vec3 posicaoInicialOculus = osg::Vec3(0.0,0.0,-1.4); // Altura do Condutor em relacao ao mundo
osg::Quat orientacaoInicialOculus; // Orientacao inicial em relacao ao mundo
osg::Vec3 deslocaOculusComCarro = osg::Vec3d(-positionCarroGuiado[0],
                                             -positionCarroGuiado[1],
                                             -positionCarroGuiado[2]); // Deslocacao com o carro
osg::Quat orientaOculusComCarro = osg::Quat(osg::DegreesToRadians(-90.00),osg::Vec3(1.0,0.0,0.0))
    * osg::Quat(osg::DegreesToRadians(orientacao[0] // Orientacao com o carro
                                             -orientacaoInicialCamera[0]
                                             -afinacaoInicial)
                                             ,osg::Vec3d(0,-1.0,0));

// Vec3 com posicao do condutor em relacao a camara e colocado na posicao de conducao
osg::Vec3 deslocaOculus=osg::Vec3(OculusPosition[0]+0.5,OculusPosition[1]+0.1,OculusPosition[2]-0.35);
osg::Quat orientaOculus=oculusDevice->orientation(); // Orientacao do Oculus

// Aplicacao do Movimento da vista do condutor
hmdMatrix.makeRotate(orientaOculus);
hmdMatrix.preMultTranslate(deslocaOculus);
hmdMatrix.preMultRotate(orientaOculusComCarro);
hmdMatrix.preMultTranslate(deslocaOculusComCarro);
hmdMatrix.preMultRotate(orientacaoInicialOculus);
hmdMatrix.preMultTranslate(posicaoInicialOculus);

leftEyeViewMatrix = oculusDevice->viewMatrixLeft(); // posicao do olho esquerdo
rightEyeViewMatrix = oculusDevice->viewMatrixRight(); // posicao do olho direito

leftEyeRTTCamera->setViewMatrix(hmdMatrix*leftEyeViewMatrix);
rightEyeRTTCamera->setViewMatrix(hmdMatrix*rightEyeViewMatrix);

```

Figura 4.13: Movimento das câmaras do HMD

Capítulo 5

Avaliação

Neste capítulo são analisados os principais resultados obtidos após experiências de condução com voluntários realizadas com o sistema de realidade virtual ou o de projeção.

5.1 Desenho dos Testes

A amostra desta avaliação é composta por dois grupos, um de 18 pessoas do sexo masculino e outro também de 18 pessoas do sexo feminino. Cada grupo foi dividido em três subgrupos de seis, o grupo A experimentou apenas o sistema de projeção, o grupo B apenas experimentou o de sistema de realidade virtual e o último experimentou os dois sistemas (grupo C).

Detalhes da população estudada:

- A idade mínima é de 19 anos e a máxima de 52;
- 27 dos 36 elementos são estudantes universitários;
- 32 dos 36 estão ligados a uma área da engenharia;
- 12 são da área de eletrotécnica, 8 de mecânica, 4 de civil, 3 de informática, 3 de ambiente, 1 técnico de gás e 1 eletricista.

Tal como referido o facto da maioria dos voluntário pertencerem a áreas ligadas á engenharia pode influenciar os resultados obtidos.

No início de cada experiência, os participantes responderam a um questionário de caracterização pessoal para avaliar o seu perfil e tendências de imersividade, isto é, características pessoais que podem influenciar os resultados das experiências. É possível encontrar os gráficos com as respetivas respostas a este questionário no anexo C.

Após este primeiro questionário, seguiu-se um período de 5 minutos de condução, tempo que foi considerado suficiente para o participante se adaptar e explorar todas as funcionalidades do simulador.

Por último, e após cada experiência, foi realizado um questionário que avaliou a emersividade, coerência entre o simulador e a realidade, qualidade de imagem, visibilidade, foi também avaliado o sistema de som apesar de ser transversal a ambos os sistemas.

Os questionários utilizados foram criados pelo laboratório de *cyberpsicologia* [22] afiliado à universidade de Québec e Outaouais e o Hospital *Pierre-Janet*, Canadá. Estes questionários podem ser encontrados [23] [24] no Anexo B deste documento.

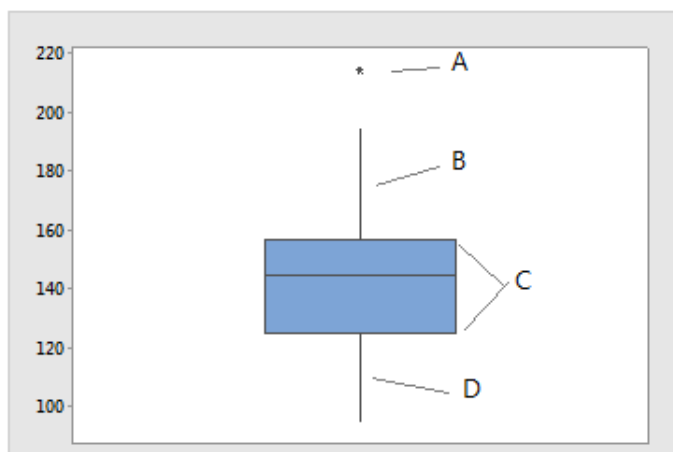
No Anexo D encontram-se os resultados da avaliação. Neste anexo, cada figura é composta por quatro gráficos, sendo que nos dois gráficos à esquerda contribuem 12 participantes que conduziram apenas com um dos sistemas e para os dois gráficos à direita contribuem 6 pessoas que conduziram os dois sistemas.

Os valores representados nos gráficos têm a legenda da figura 5.1. Um *outlier* é uma resposta que corresponde a um valor que está a mais de 3 desvios padrão do valor médio.

Os gráficos utilizados são do tipo *boxplot*, são um resumo da distribuição de uma amostra que ilustra a sua forma, tendência central, e variabilidade.

- - Resposta
- ⊕ - Média
- * - Outlier

Figura 5.1: Legenda dos Gráficos Resultado



Parts of a boxplot

- A: outlier (*): observation that is beyond the upper or lower whisker
- B: upper whisker: represents the upper 25% of the distribution (excluding outliers)
- C: interquartile range box: middle 50% of the data
- D: lower whisker represents the lower 25% of the distribution (excluding outliers)

Figura 5.2: Boxplot [9]

5.2 Resultados Principais

5.2.1 Pontos Fortes

As perguntas 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 10 + 13 avaliam o realismo do sistema. É possível observar que o sistema de realidade virtual obtém um resultado consideravelmente superior e consistente entre as várias questões.

Como é possível verificar na figura 5.2, o sistema de realidade virtual é o que permite um maior envolvimento na experiência do ambiente virtual.

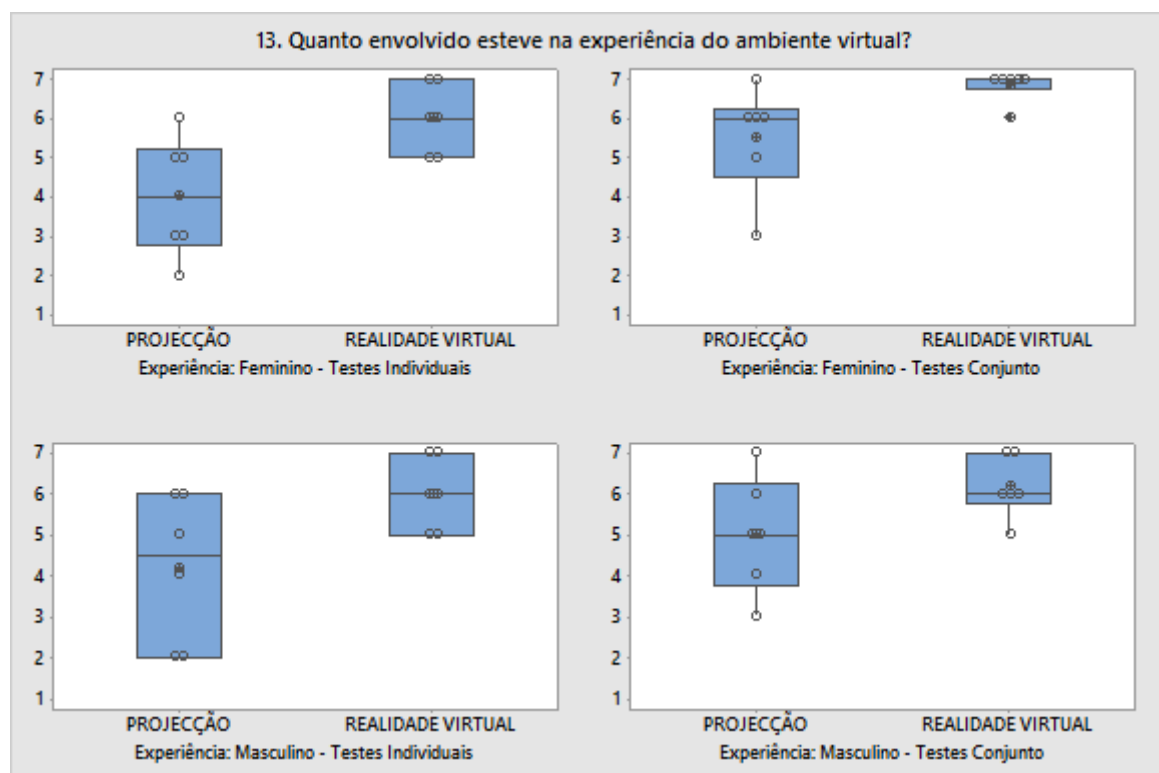


Figura 5.3: Resultado - Questão número 13 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C

As questões 8 e 9 avaliaram a capacidade com que o condutor foi capaz de antecipar e examinar no ambiente virtual os resultados das suas ações. Em ambas as questões o sistema de realidade virtual obtém melhor resultado. Na figura 5.3 é possível observar a avaliação obtida da questão 9 já referida.

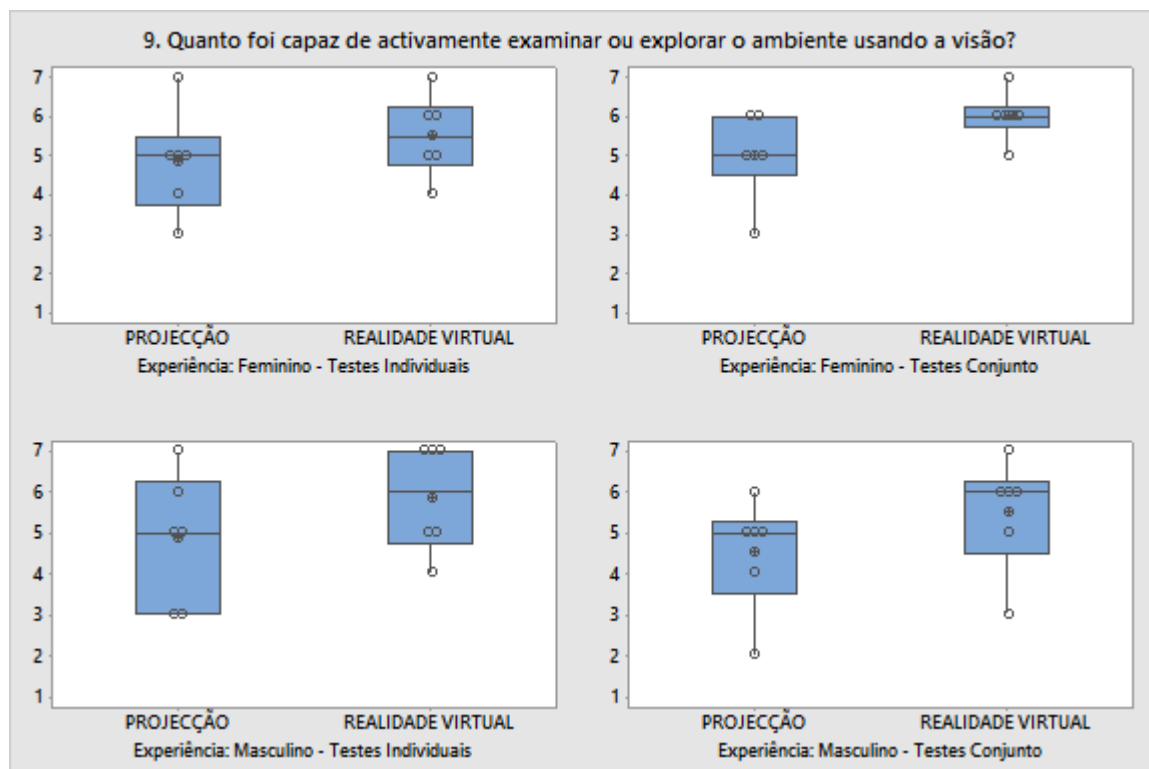


Figura 5.4: Resultado - Questão número 9 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C

Apesar do sistema de som ser o mesmo em ambas a experiências, o sistema de realidade virtual obteve sempre um melhor resultado.

Durante a resposta ao questionário foi frequente os participantes inquirirem sobre se o som seria ou não diferente, mas mesmo após obterem a certeza que era igual, a grande maioria comentou que sentiu ser mais realista no sistema de realidade virtual. Esta tendência pode ser observada na figura 5.4.

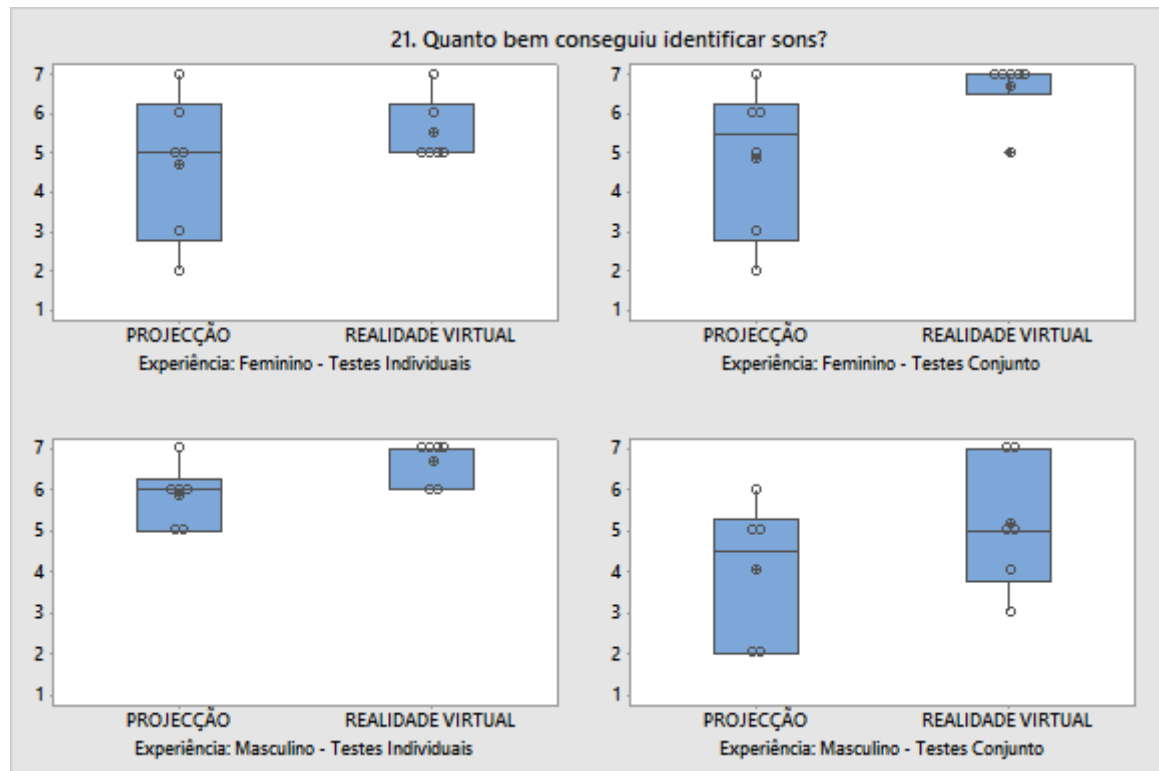


Figura 5.5: Resultado - Questão número 21 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C

5.2.2 Pontos a Melhorar

O sistema de projeção obteve melhor resultado quanto à capacidade do condutor em controlar os eventos como se pode observar na figura 5.5.

Em entrevista informal após a resposta dos questionários alguns condutores comentaram sentir necessidade de ver as suas mãos, funcionalidade esta que não foi implementada neste projeto.

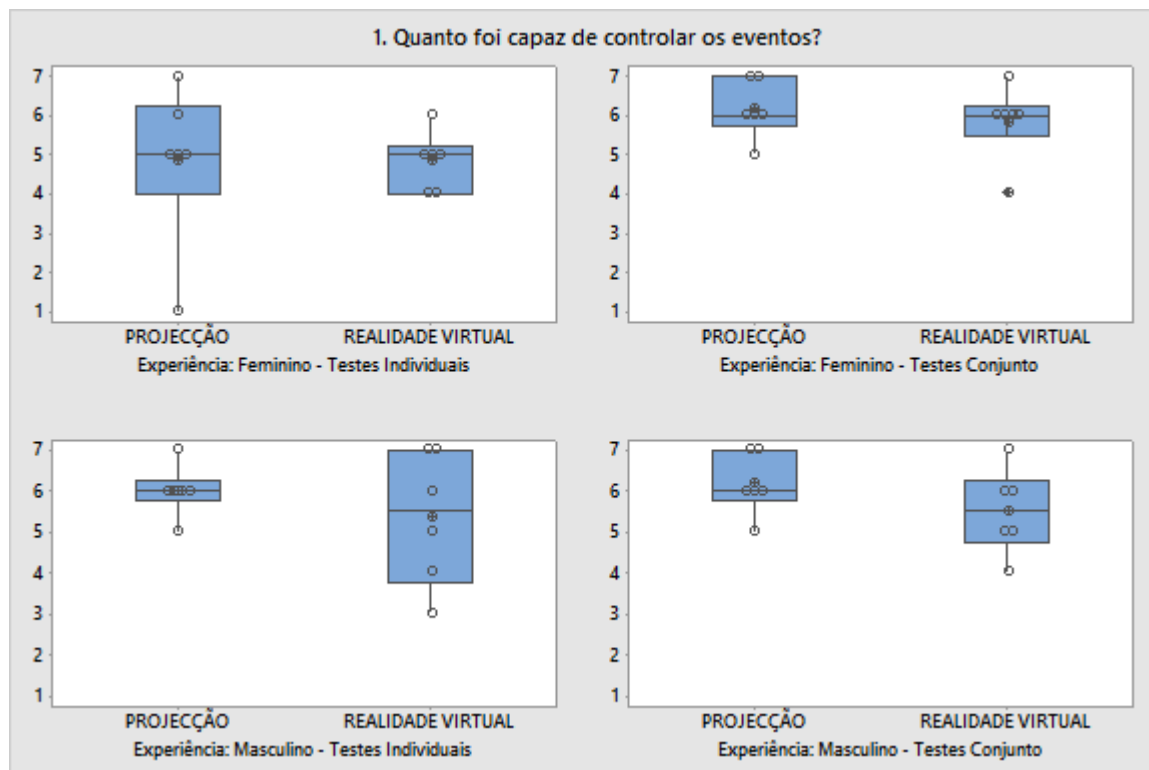


Figura 5.6: Resultado - Questão número 1 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C

É possível observar na imagem 5.6 que existe uma discrepância clara entre as respostas do género feminino e masculino quando à interferência da qualidade de imagem na realização de tarefas, no caso do género masculino a realidade virtual obtém melhor resultado, enquanto que o género feminino o classificou com menor pontuação.

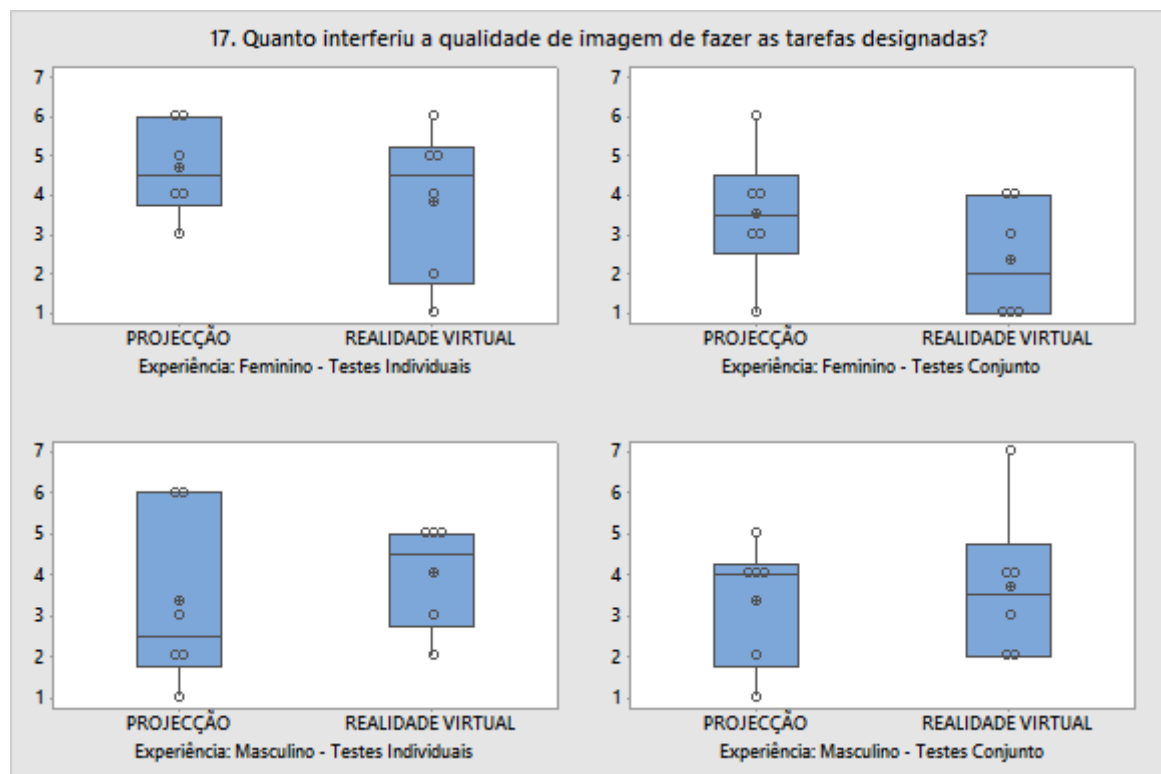


Figura 5.7: Resultado - Questão número 17 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C

Em anexo é possível encontrar os questionários e respetivos resultados da avaliação.

Capítulo 6

Conclusões

6.1 Estado Atual do Projeto

O estado inicial do projeto de simulador automóvel DriS apresentava um ambiente real baseado num carro real e numa sala obscurecida com um mundo virtual projetado numa única tela. Este simulador automóvel é particularmente útil para testes que não seja interessante / possível / seguro realizar em condução real.

Após a atualização realizada, introduzindo os conceitos de realidade virtual trazida pelo dispositivo Oculus Rift, passa agora a ser possível:

- Visualizar todo o ambiente gráfico em redor do condutor permitindo assim efetuar uma condução mais realista através de cruzamentos (pois a direção do olhar é interceptada pelo sistema de realidade virtual);

- Utilizar os espelhos retrovisores para visualizar a retaguarda do veículo, sendo agora possível por exemplo trocar de faixa de rodagem (o sistema de realidade virtual calcula as imagens que seriam vistas pelos espelhos e insere-as na imagem que o utilizador visualizará);

- É também possível implementar novas funcionalidade com relativa facilidade e custos baixos ou nulos de hardware (é possível estender as funcionalidades do sistema criando novos dispositivos virtuais ou alterando o ambiente virtual, o que permite estudar a utilidade de alterações sob estudo);

- É possível registar todas as imagens visualizadas e atitude da cabeça do condutor durante uma experiência, informação que pode ser útil para o estudo das suas opções de condução, estudo de problemas de traçado de vias de comunicação, estudar melhoramentos, estudar propostas de solução etc;

- As necessidades de hardware e espaço são substancialmente menores devido ao princípio do sistema se basear em Realidade Virtual, pelo que eventualmente todo o sistema poderia ser reduzido a um conjunto tabelier simplificado + pedais + volante + manete velocidades + cadeira (tudo o resto seria virtual).

O atual trabalho levou a cabo os melhoramentos acima mencionados e realizou alguns testes, ainda que de reduzida dimensão, permitindo porém caracterizar o sistema inicial já muito

interessante e melhora-lo.

Utilizando inquéritos aprovados provenientes do instituto de Cyber Psicologia da U. do Quebec, Canadá, foi possível obter a informação por parte de utilizadores finais que o novo sistema é ainda mais imersivo que o anterior e que a abordagem é de facto globalmente interessante.

Para além do transporte do código para um novo PC atualizado, foram ainda realizadas todas as operações que permitem manter todo o sistema antigo em funcionamento e a partir dos modelos de mundo anteriores, obter a nova visualização 3D sobre o mundo. Todo o sistema antigo está ainda disponível via argumento de linha de comando, sendo o dispositivo oculus rift configurável.

De acordo com os resultados obtidos da avaliação experimental é possível concluir que o sistema de realidade virtual é consideravelmente melhor para examinar e explorar o ambiente virtual e também aumenta a imersividade do simulador, no entanto a ausência de braços virtuais aumenta o tempo necessário de adaptação ao simulador e que a resolução da imagem pode ainda ser melhorada.

6.2 Limitações Identificadas e Melhoramentos Propostos

Os espelhos retrovisores podem ser substancialmente melhorados, nesta atualização a imagem destes é gerada segundo apenas a posição do veículo no ambiente virtual, podendo ainda contemplar a posição da cabeça dentro do carro para implementar o reflexo normal de um espelho, indo assim além dos sistemas de simulação internacionais analisados.

Devido à arquitetura desenvolvida ao longo do projeto, o reflexo dos espelhos retrovisores só contém a imagem do mundo virtual e não é possível observar o veículo, isto deve-se aos espelhos serem filhos OSG do veículo virtual.

Devido à baixa taxa de leituras obtidas do volante, a atualização dentro do ambiente gráfico está no limite do confortável para o condutor. Também o atraso de resposta pode ser melhorado mas tal requer intervenção profunda em sistemas já anteriormente implementados.

A impossibilidade de observar as mãos por parte do condutor dificulta a adaptação ao simulador, apesar de a prática permitir melhoramento; para contornar cabalmente esta questão será necessário introduzir um novo sensor tal como um kinect ou um Leap Motion, montados num local que permita seguir as mãos do condutor e introduzir esta informação no mundo virtual.

Embora não exista ainda um HMD com melhores características que o utilizado, a resolução de imagem deve ser melhorada assim que possível. Na altura de escrita deste documento, o mercado da realidade virtual promete muitas opções mas atualmente disponíveis no mercado há efetivamente poucos modelos, em particular com suporte para linux.

O modelo do carro foi obtido a partir de uma fonte sem custos e depois foi sendo melhorado mas o ideal seria trabalhar também mais o modelo do carro até o tornar igual ao real [21].

O sistema de som não foi alterado e pode ser melhorado, especialmente no atraso de resposta do sistema no seu conjunto.

Outras configurações interessantes para o simulador incluem diversos projetores circulares em torno do carro real e portabilidade para outros dispositivos de realidade virtual.

A visualização das mãos foi a funcionalidade mais referida nas entrevistas informais realizadas após as simulações.

O som está bastante aquém do restante sistema pelo que pode ser substancialmente melhorado, inclusive para contemplar *headphones* aumentando assim a imersividade do simulador.

Os espelhos devem permitir visualizar a lateral e interior do carro por forma a aumentar o seu realismo.

A perceção do mundo virtual pode ser melhorada, a iluminação e propriedades dos materiais podem ser melhorados.

É possível reduzir o hardware do simulador se utilizar realidade virtual, através de utilizar apenas os objetos ao alcance do condutor, colocando-os posteriormente numa estrutura móvel que simule as acelerações do ambiente virtual, talvez mesmo a utilização de um braço robótico.

À data deste projeto os novos HMD não são suportados em Linux, mas devem ser atualizados assim que possível.

Parte I

ANEXOS

Anexo A

Questionário de Caracterização de Perfil

Questionário de Tendências de Imersividade

(Witmer & Singer, Vs. 3.01, Nov. 1996)*

Revisto pelo Laboratório de Cyber Psicologia da UQO (2004)

*Required

Indique a sua resposta seleccionando o valor apropriado na escala de 7 pontos. Por favor considere toda a escala ao responder, pois os valores intermédios podem ser aplicáveis.

1. Número de identificação: *

.....

2. Sexo: *

Mark only one oval.

☐

MASCULINO

☐

FEMININO

3. Idade: *

.....

4. Profissão: *

.....

5. 1. Você fica facilmente envolvido de forma intensa em filmes ou séries tv? *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NUNCA	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	FREQUENTEMENTE

6. 2. Alguma vez ficou tão envolvido num programa de televisão ou livro que pessoas tiveram dificuldade de obter a sua atenção? *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NUNCA	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	FREQUENTEMENTE

7. 3. Quanto se sente mentalmente alerta neste momento? *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NADA ALERTA	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	TOTALMENTE ALERTA

8. 4. Alguma vez ficou tão envolvido num filme que deixou de estar consciente de coisas a acontecerem á sua volta? *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NUNCA	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	FREQUENTEMENTE

9. 5. Com que frequência se identifica com um personagem de um filme ou série? *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NUNCA	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	FREQUENTEMENTE

10. 6. Alguma vez se envolveu tanto num jogo que computador que sentia que estava dentro do jogo ao invés de estar apenas a mover os controlos e a olhar o ecrã? *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NUNCA	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	FREQUENTEMENTE

11. 7. Quanto se sente hoje em boa forma física? *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NADA BEM	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	EXTREMAMENTE BEM

12. 8. Quanto bom é a bloquear distrações externas quando está envolvido em alguma coisa? *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NADA BOM	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	MUITO BOM

13. **9. Quando está a assistir a desporto, alguma vez fica de tal forma envolvido no jogo que reage como se fosse um dos jogadores? ***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NUNCA	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	FREQUENTEMENTE

14. **10. Alguma vez fica envolvido numa divagação que deixa de reparar em coisas a acontecer á sua volta? ***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NUNCA	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	FREQUENTEMENTE

15. **11. Alguma vez tem sonhos que são tão reais que fica desorientado quando acorda? ***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NUNCA	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	FREQUENTEMENTE

16. **12. Quando está a pratica um desporto, fica de tal forma envolvido que perde a noção do tempo? ***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NUNCA	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	FREQUENTEMENTE

17. **13. Quanto bem se concentra em uma atividade que gosta? ***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NADA BEM	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	MUITO BEM

18. **14. Com que frequência joga computador? (FREQUENTEMENTE significa todos os dias ou de 2 em 2 dias, em média) ***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NUNCA	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	FREQUENTEMENTE

Questionário de Tendências de Imersividade

27/06/16, 18:50

19. **15. Alguma vez ficou animado com uma cena de perseguição ou luta na TV ou num filme? ***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NUNCA	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	FREQUENTEMENTE

20. **16. Alguma vez ficou assustado com algo a acontecer numa série tv ou filme? ***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NUNCA	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	FREQUENTEMENTE

21. **17. Alguma vez ficou apreensivo ou com medo, muito tempo depois de ver um filme de terror? ***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NUNCA	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	FREQUENTEMENTE

22. **18. Alguma vez ficou tão envolvido em alguma coisa que perdeu a noção do tempo? ***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NUNCA	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	FREQUENTEMENTE

Powered by
 Google Forms

Anexo B

Questionário de Avaliação de Experiência

Questionário de Presença

(Witmer & Singer, Vs. 3.0, Nov. 1994)*

Revisto pelo Laboratório de Cyber Psicologia da UQO (2004)

*Required

Caracterize a sua experiência dentro do ambiente de acordo com o conteúdo da questão e respetivas descrições, seleccionando a opção apropriada na escala de 7 níveis. Por favor considere toda a escala ao responder, pois os valores intermédios podem ser aplicáveis. Responda às perguntas de forma independente e pela ordem que aparecem. Não salte perguntas ou volte atrás para alterar uma resposta.

1. Número de identificação: *

.....

2. Experiência: *

Mark only one oval.

☐ REALIDADE VIRTUAL

☐ PROJECCÃO

3. 1. Quanto foi capaz de controlar os eventos? *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NADA	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	COMPLETAMENTE

4. 2. Como classifica a capacidade de resposta do ambiente às acções iniciadas (ou efetuadas) por si? *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NADA RESPONSIVO	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	COMPLETAMENTE CAPAZ

Questionário de Presença

27/06/16, 18:49

5. 3. Quanto natural lhe pareceram as suas interações com o ambiente? *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
EXTREMAMENTE ARTIFICIAL	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	COMPLETAMENTE NATURAL

6. 4. Quanto o envolveram os aspectos visuais? *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NADA	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	COMPLETAMENTE

7. 5. Quanto natural foram os mecanismos que controlaram os movimentos através do ambiente? *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
EXTREMAMENTE ARTIFICIAL	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	COMPLETAMENTE NATURAL

8. 6. Quanto cativante foi a sua percepção dos objectos a moverem-se no espaço? *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NADA	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	MUITO CATIVANTE

9. 7. Quanto coerente foram as suas experiências no mundo virtual quando comparadas com o mundo real? *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NADA COERENTE	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	MUITO COERENTE

10. 8. Foi capaz de antecipar o que iria acontecer após as acções que efetuou? *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NADA	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	COMPLETAMENTE

11. **9. Quanto foi capaz de activamente examinar ou explorar o ambiente usando a visão? ***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NADA	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	COMPLETAMENTE

12. **10. Quanto cativante foi a sua percepção de movimento dentro do ambiente virtual? ***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NADA CATIVANTE	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	MUITO CATIVANTE

13. **11. Quanto de perto foi capaz de examinar os objectos? ***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NADA	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	MUITO DE PERTO

14. **12. Quanto bem conseguiu examinar objectos de múltiplos pontos de vista? ***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NADA	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	EXTREMAMENTE

15. **13. Quanto envolvido esteve na experiência do ambiente virtual? ***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NADA ENVOLVIDO	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	COMPLETAMENTE ABSORVIDO

16. **14. Quanto atraso sentiu entre as suas acções e os resultados esperados? ***

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NENHUM ATRASSO	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	LONGO ATRASSO

Questionário de Presença

27/06/16, 18:49

17. 15. Quanto rápido se adaptou á experiência no ambiente virtual? *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NÃO ME ADAPTEI	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	MENOS DE 1 MINUTO

18. 16. Quanto proficiente se sentiu no final da experiência com movimento e interacção com o ambiente virtual? *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NÃO PROFICIENTE	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	MUITO PROFICIENTE

19. 17. Quanto interferiu ou o distraiu a qualidade de imagem de fazer as tarefas designadas ou actividades requeridas? *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NADA	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	INTERFERIU NA PERFORMANCE

20. 18. Quanto interferiram os dispositivos de controlo com a sua performance nas tarefas atribuídas? *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NADA	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	INTERFERIRAM BASTANTE

21. 19. Quanto bem conseguiu concentrar-se nas atividades definidas ao invés dos mecanismos usados para realizar essas atividades? *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NADA	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	COMPLETAMENTE

SE O AMBIENTE VIRTUAL INCLUIR SONS

22. 20. Quanto o envolveram os aspectos auditivos do ambiente? *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NADA	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	COMPLETAMENTE

23. 21. Quanto bem conseguiu identificar sons? *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NADA	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	COMPLETAMENTE

24. 22. Quanto bem conseguiu localizar sons? *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NADA	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	COMPLETAMENTE

SE O AMBIENTE VIRTUAL INCLUIR O SENTIDO DE TACTO

25. 23. Quanto bem conseguiu examinar e explorar o ambiente virtual usando o tacto? *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NADA	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	COMPLETAMENTE

26. 24. Quanto bem conseguiu mover-se e manipular objectos no ambiente virtual? *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
NADA	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	EXTREMAMENTE

27. Sugestão de melhoria ou nova funcionalidade:

.....

.....

.....

.....

.....

Anexo C

Caraterização da População da Avaliação

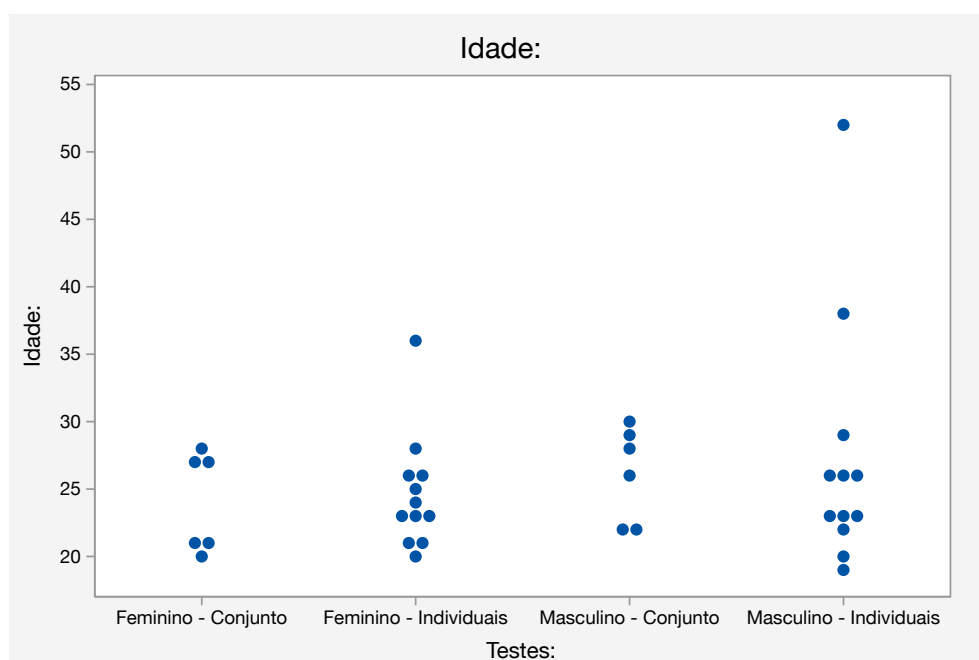


Figura C.1: Caraterização - Idade - Na legenda, "Conjunto" refere-se a elementos do grupo C e "Individuais" aos grupos A e B

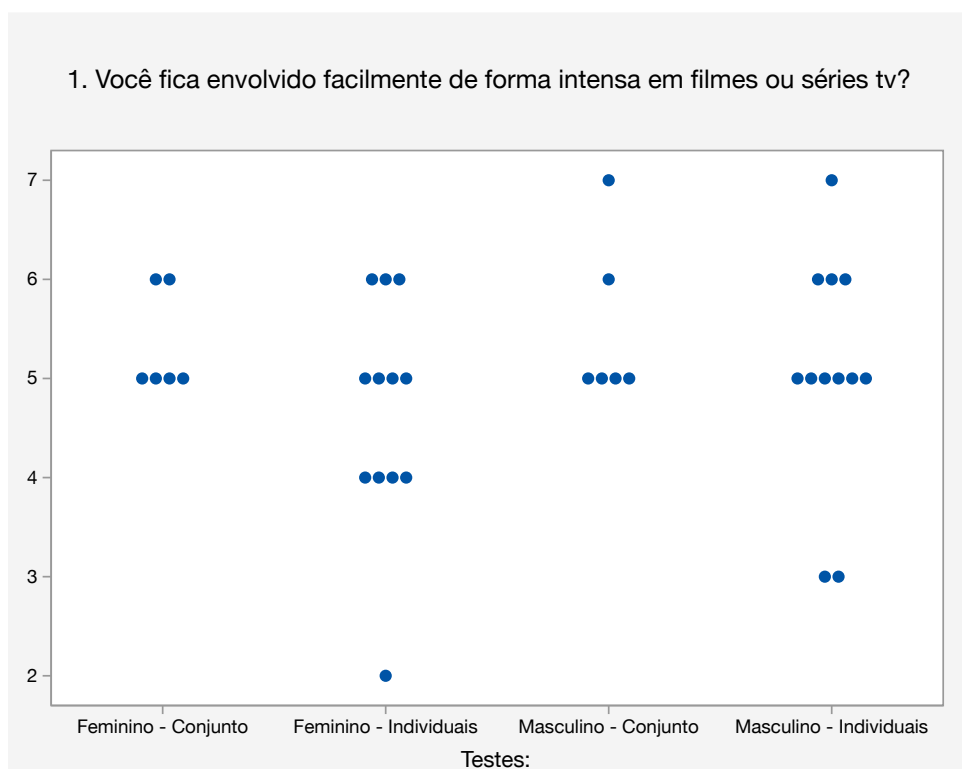


Figura C.2: Caraterização - Questão número 1 - Na legenda, "Conjunto" refere-se a elementos do grupo C e "Individuais" aos grupos A e B



Figura C.3: Caraterização - Questão número 2 - Na legenda, "Conjunto" refere-se a elementos do grupo C e "Individuais" aos grupos A e B

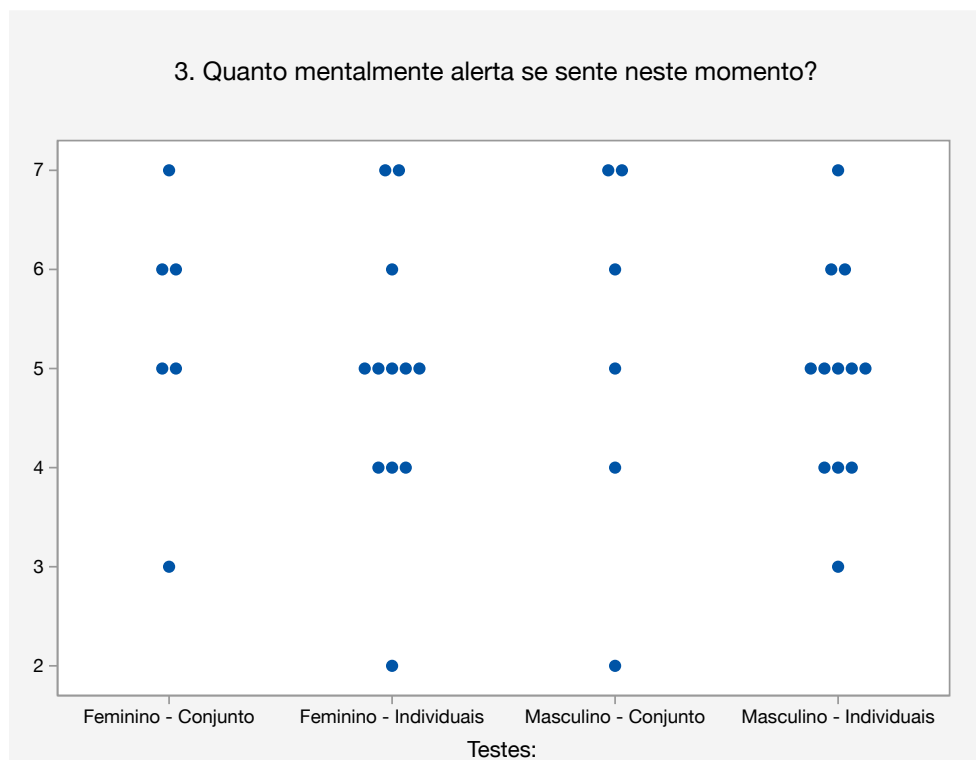


Figura C.4: Caraterização - Questão número 3 - Na legenda, "Conjunto" refere-se a elementos do grupo C e "Individuais" aos grupos A e B

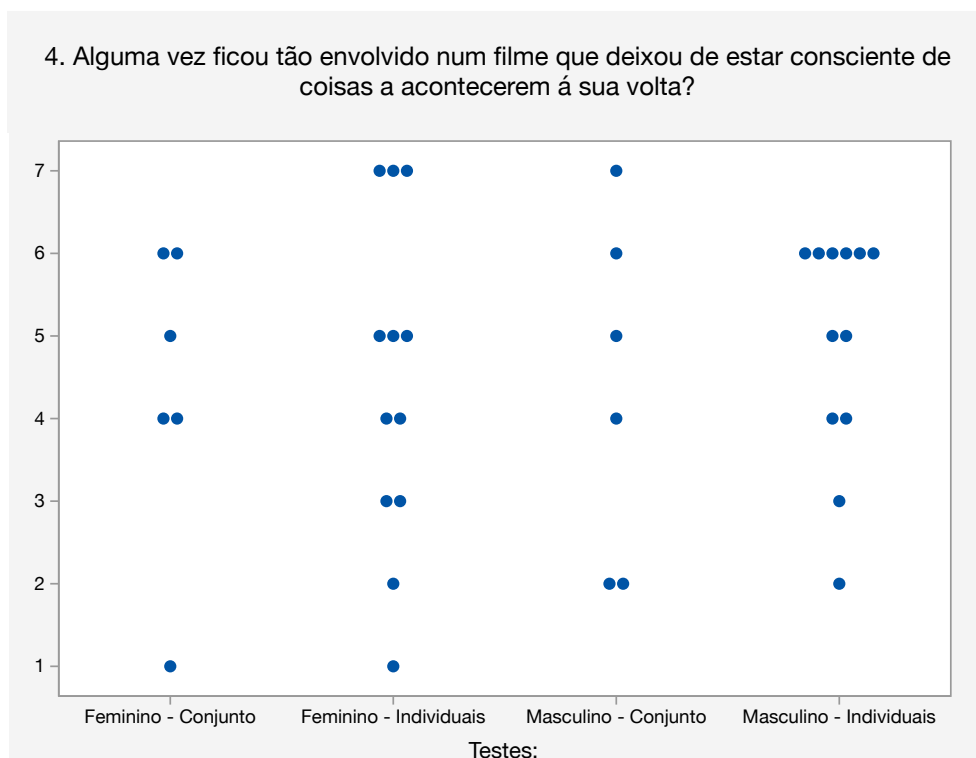


Figura C.5: Caraterização - Questão número 4 - Na legenda, "Conjunto" refere-se a elementos do grupo C e "Individuais" aos grupos A e B

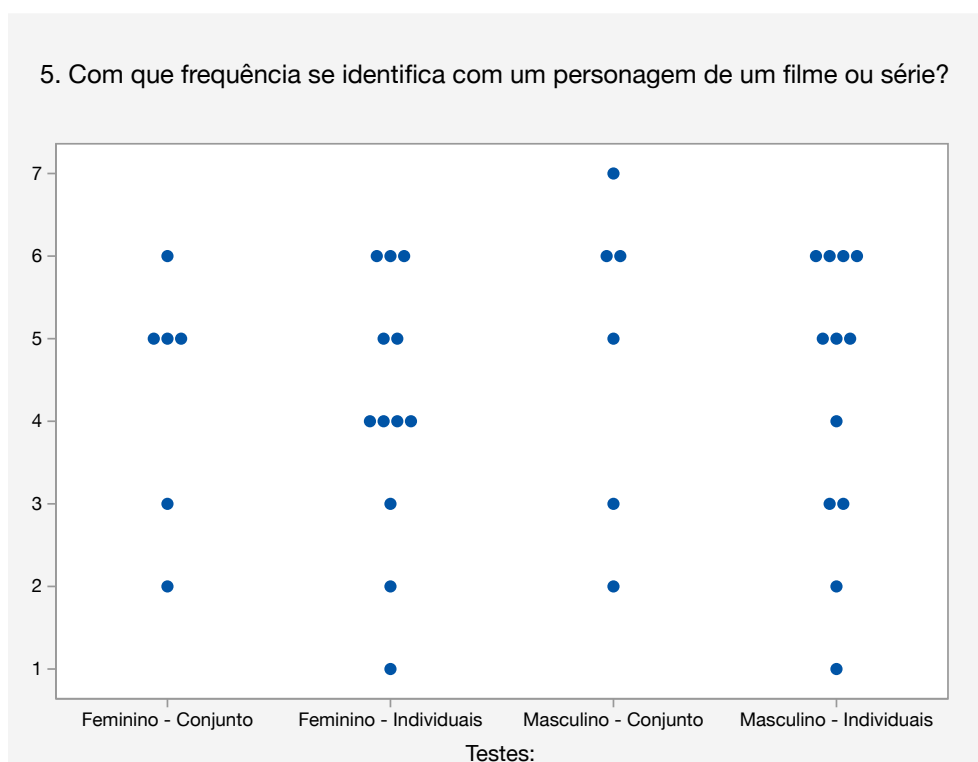


Figura C.6: Caraterização - Questão número 5 - Na legenda, "Conjunto" refere-se a elementos do grupo C e "Individuais" aos grupos A e B



Figura C.7: Caraterização - Questão número 6 - Na legenda, "Conjunto" refere-se a elementos do grupo C e "Individuais" aos grupos A e B



Figura C.8: Caraterização - Questão número 7 - Na legenda, "Conjunto" refere-se a elementos do grupo C e "Individuais" aos grupos A e B

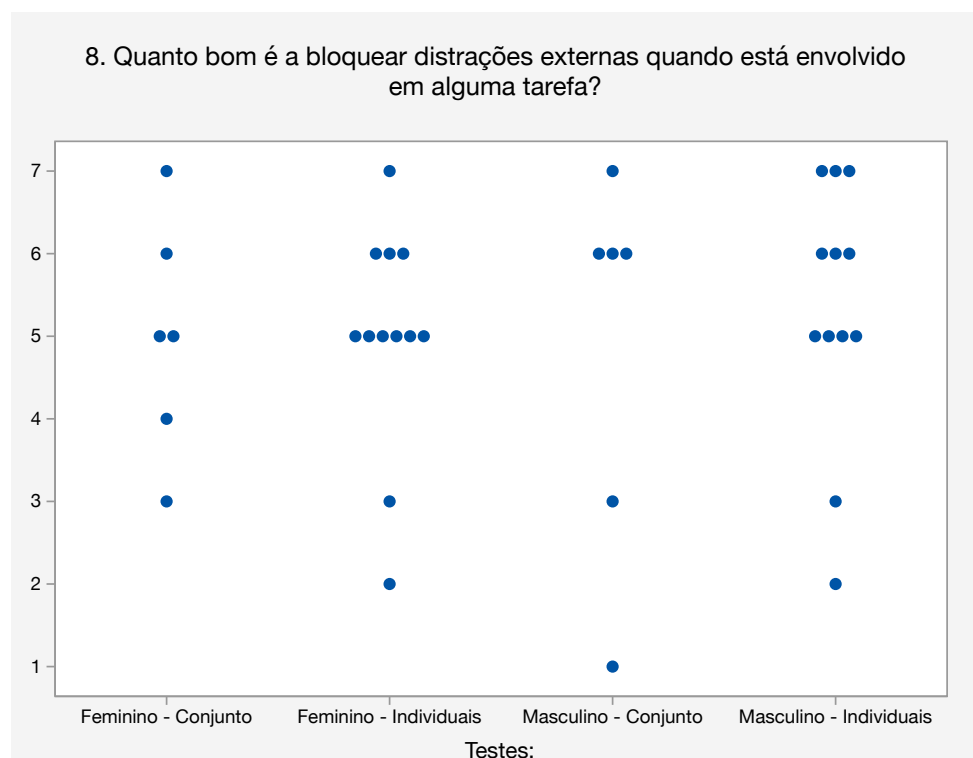


Figura C.9: Caraterização - Questão número 8 - Na legenda, "Conjunto" refere-se a elementos do grupo C e "Individuais" aos grupos A e B

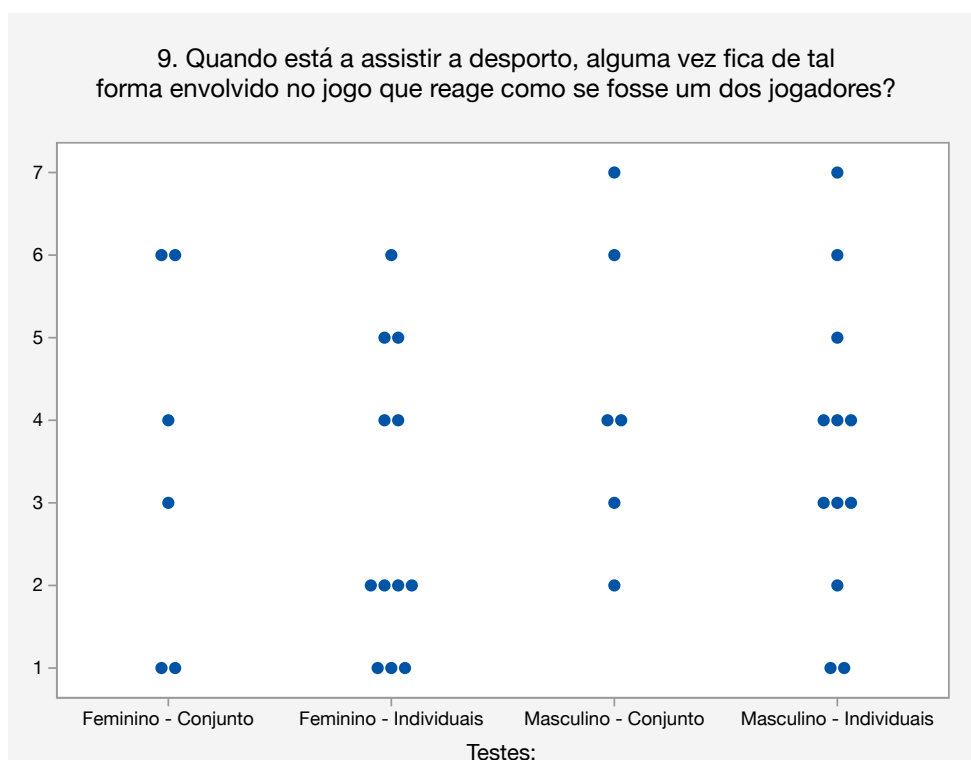


Figura C.10: Caraterização - Questão número 9 - Na legenda, "Conjunto" refere-se a elementos do grupo C e "Individuais" aos grupos A e B

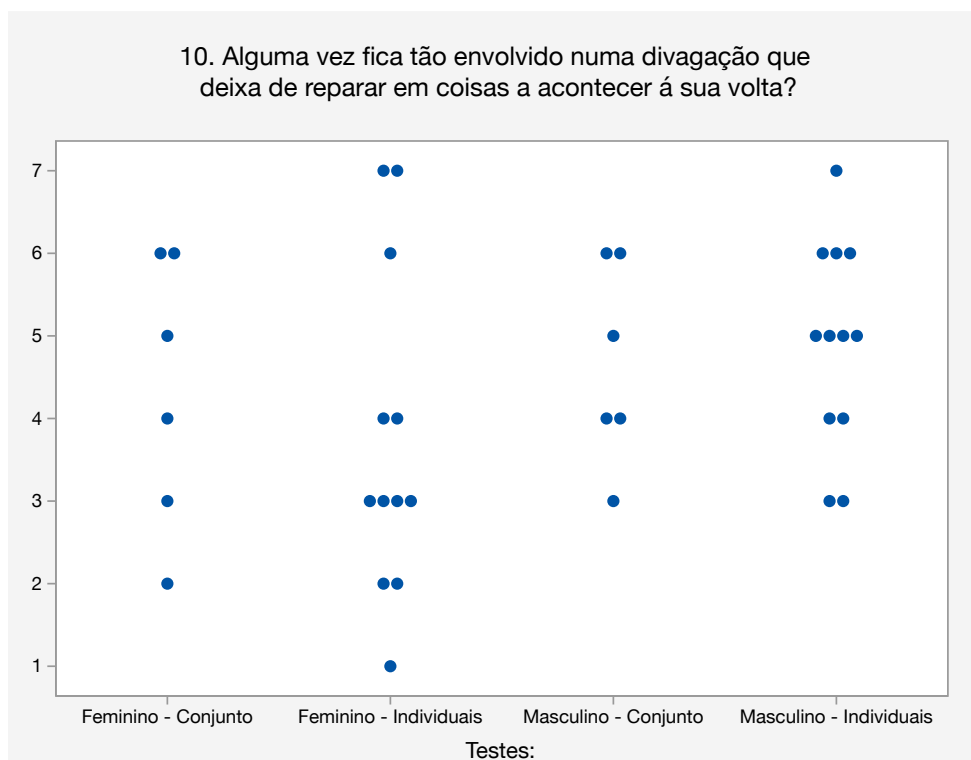


Figura C.11: Caraterização - Questão número 10 - Na legenda, "Conjunto" refere-se a elementos do grupo C e "Individuais" aos grupos A e B

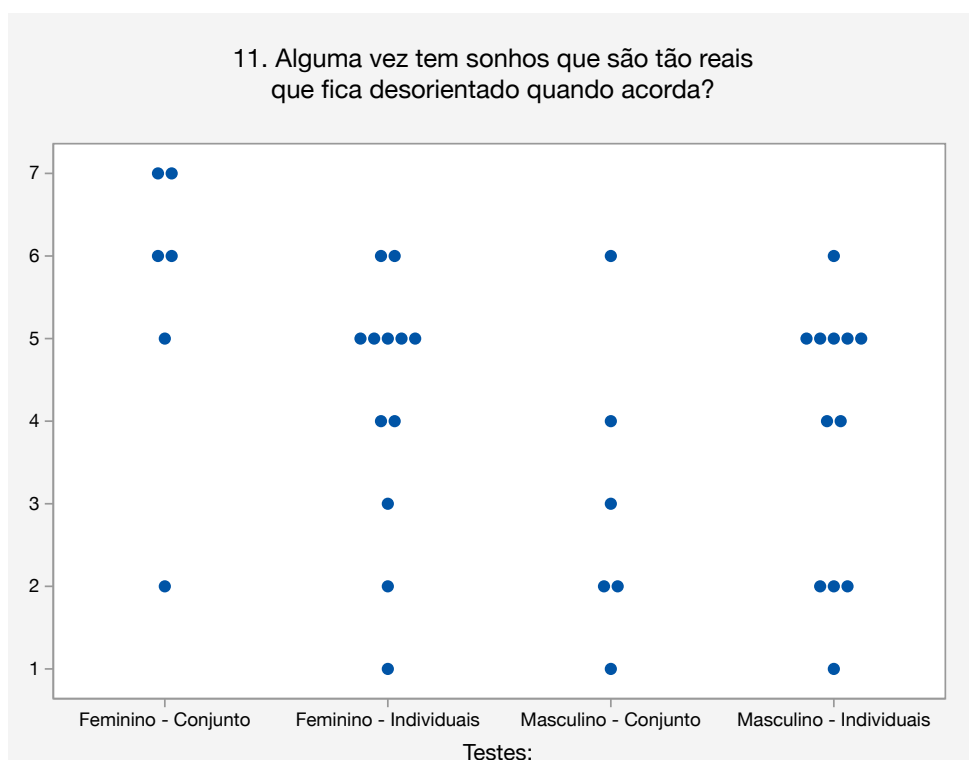


Figura C.12: Caraterização - Questão número 11 - Na legenda, "Conjunto" refere-se a elementos do grupo C e "Individuais" aos grupos A e B

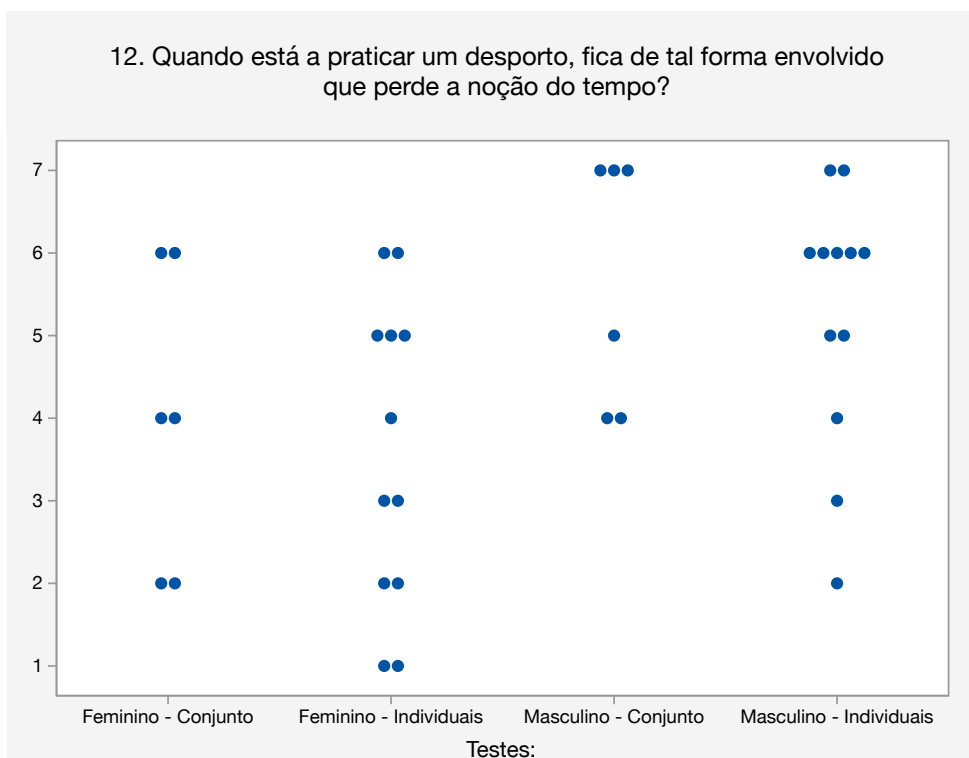


Figura C.13: Caraterização - Questão número 12 - Na legenda, "Conjunto" refere-se a elementos do grupo C e "Individuais" aos grupos A e B



Figura C.14: Caraterização - Questão número 13 - Na legenda, "Conjunto" refere-se a elementos do grupo C e "Individuais" aos grupos A e B

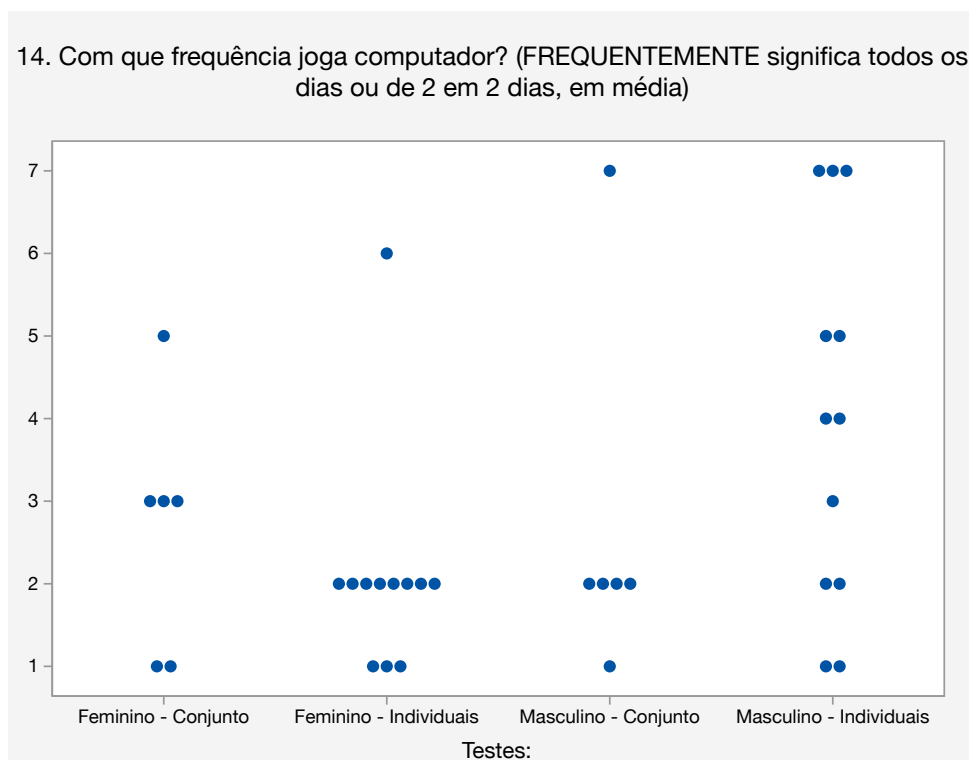


Figura C.15: Caraterização - Questão número 14 - Na legenda, "Conjunto" refere-se a elementos do grupo C e "Individuais" aos grupos A e B

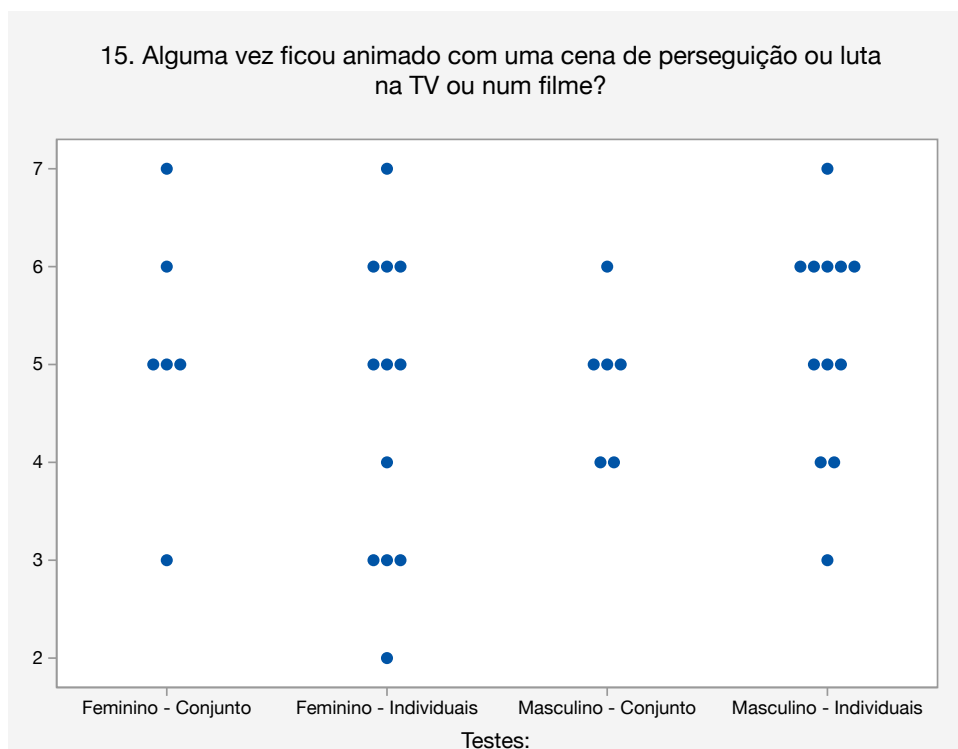


Figura C.16: Caraterização - Questão número 15 - Na legenda, "Conjunto" refere-se a elementos do grupo C e "Individuais" aos grupos A e B

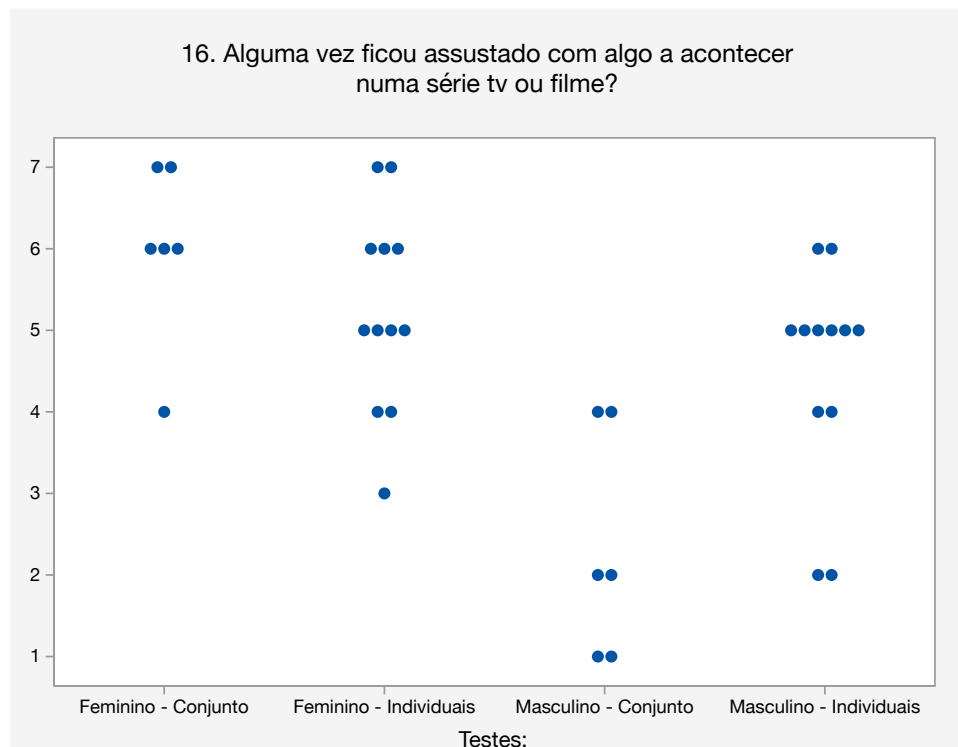


Figura C.17: Caraterização - Questão número 16 - Na legenda, "Conjunto" refere-se a elementos do grupo C e "Individuais" aos grupos A e B

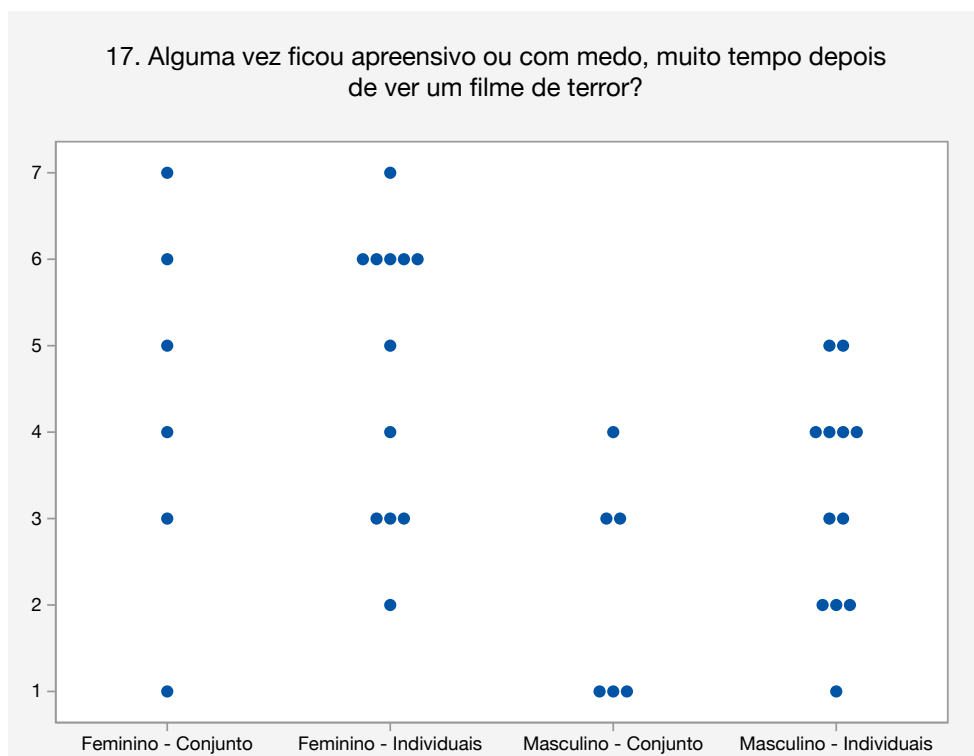


Figura C.18: Caraterização - Questão número 17 - Na legenda, "Conjunto" refere-se a elementos do grupo C e "Individuais" aos grupos A e B

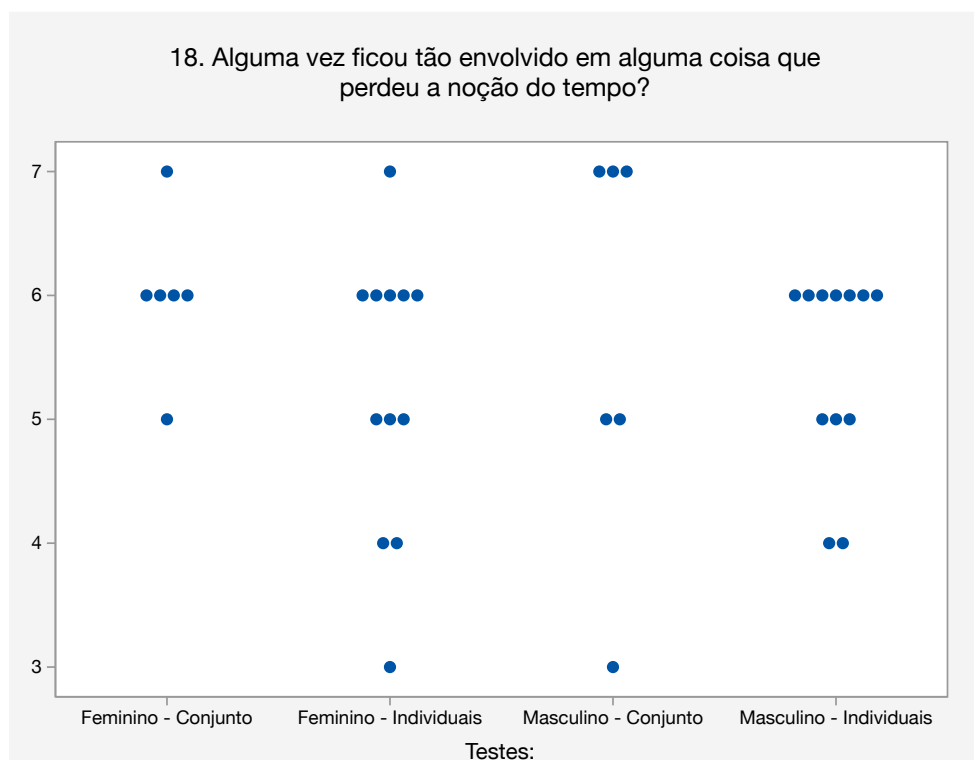


Figura C.19: Caraterização - Questão número 18 - Na legenda, "Conjunto" refere-se a elementos do grupo C e "Individuais" aos grupos A e B

Anexo D

Resultados de Avaliação

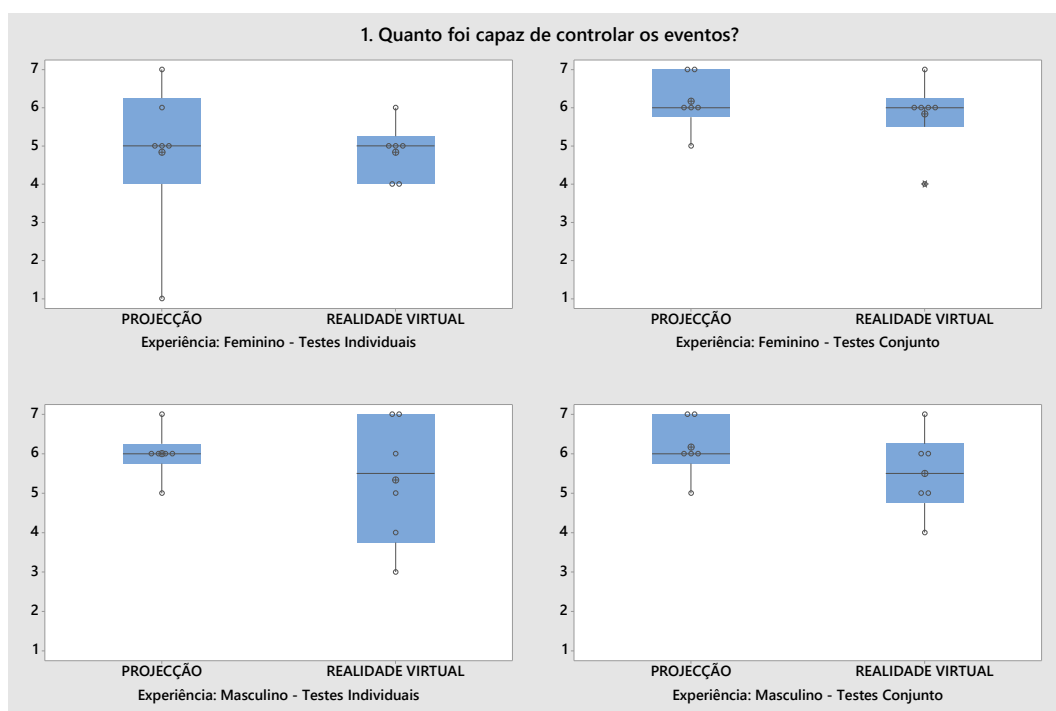


Figura D.1: Resultado - Questão número 1 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C

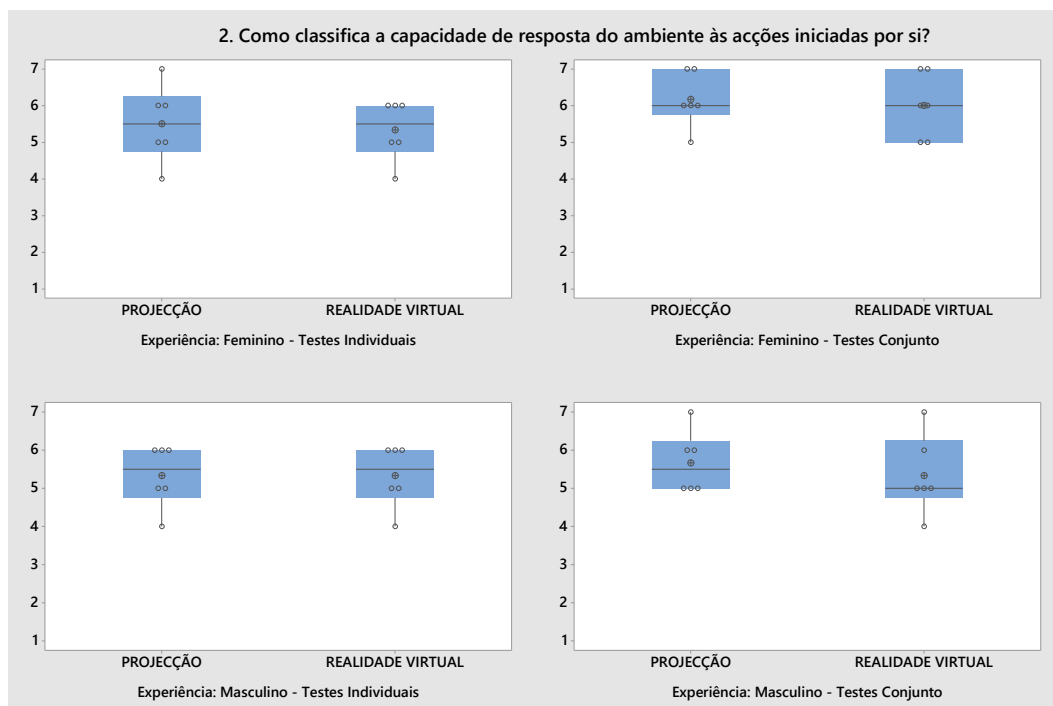


Figura D.2: Resultado - Questão número 2 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C

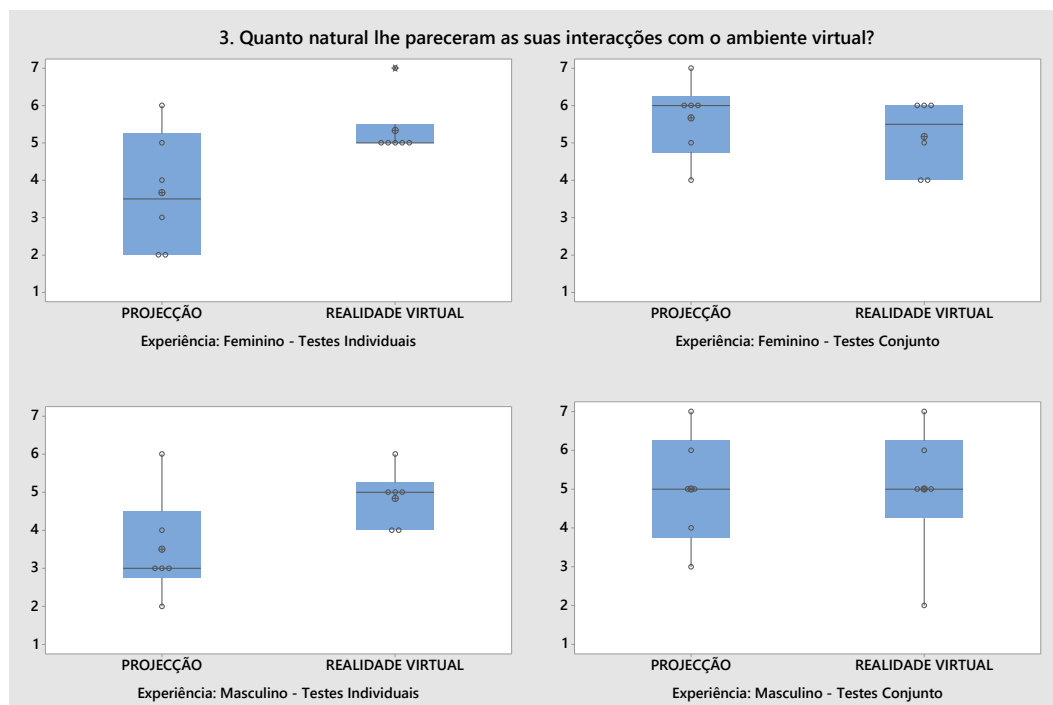


Figura D.3: Resultado - Questão número 3 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C

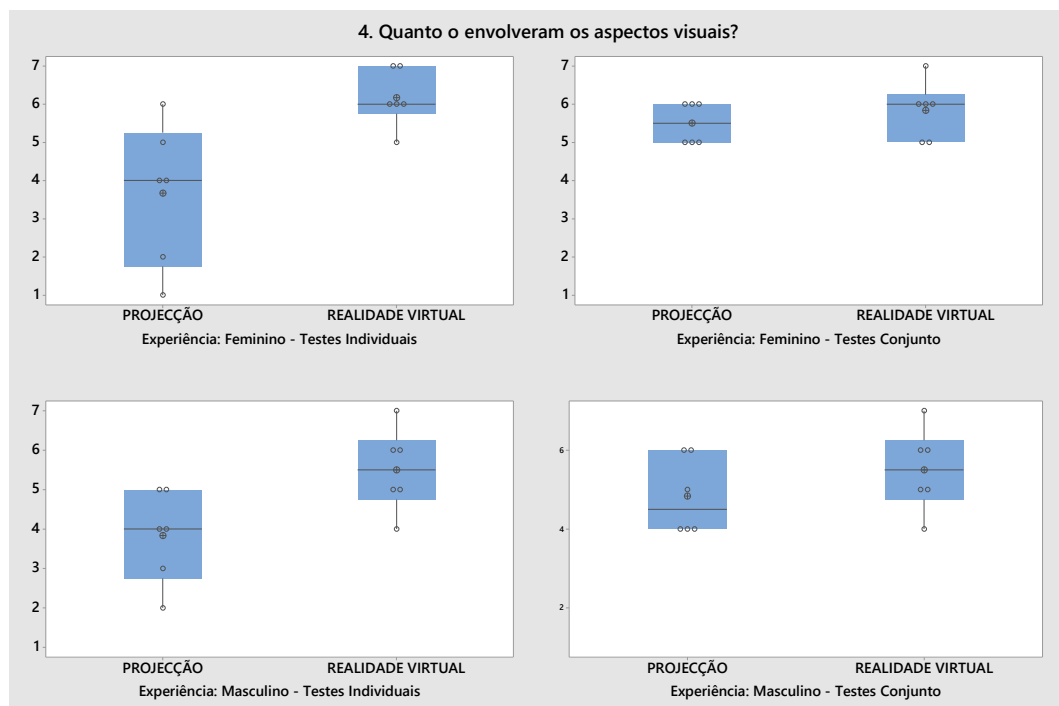


Figura D.4: Resultado - Questão número 4 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C

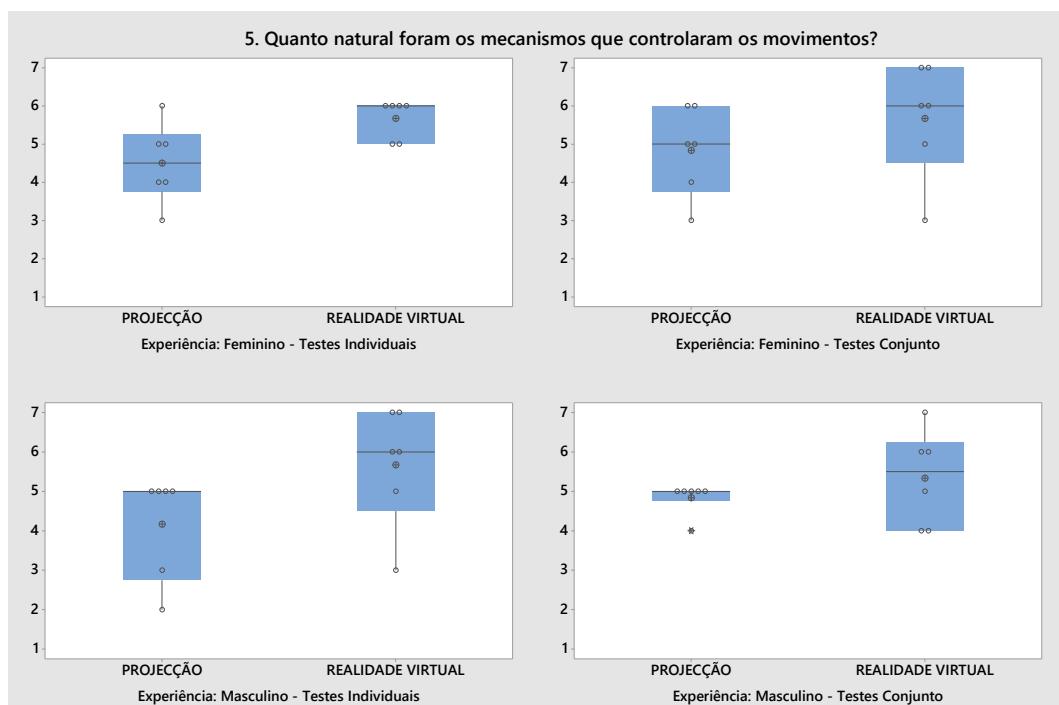


Figura D.5: Resultado - Questão número 5 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C

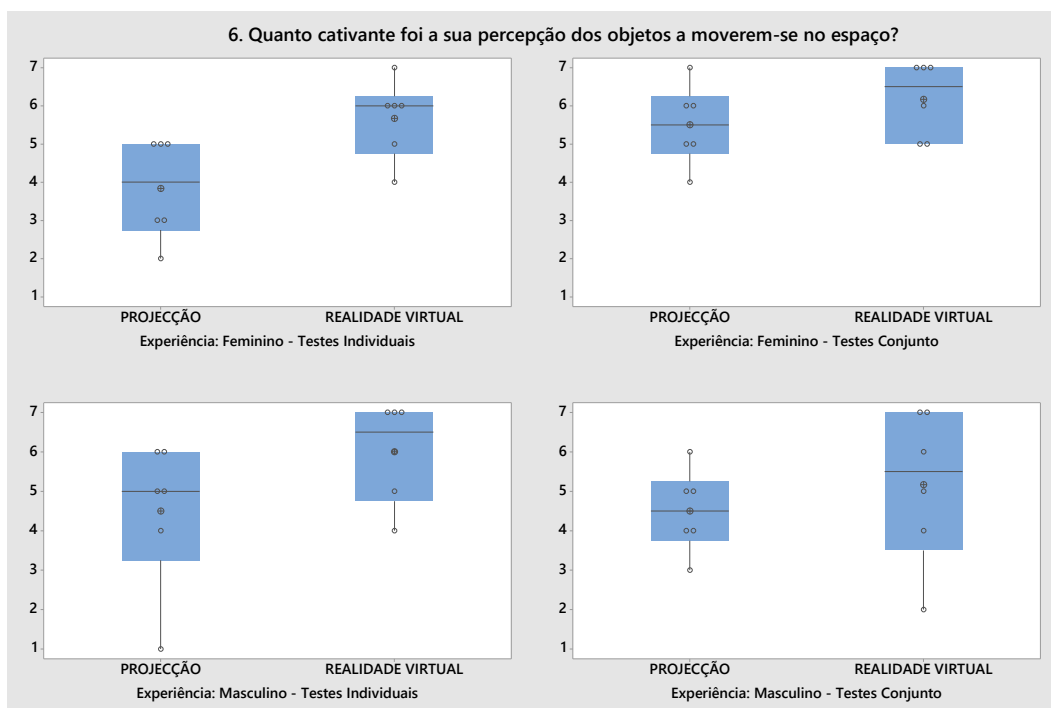


Figura D.6: Resultado - Questão número 6 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C

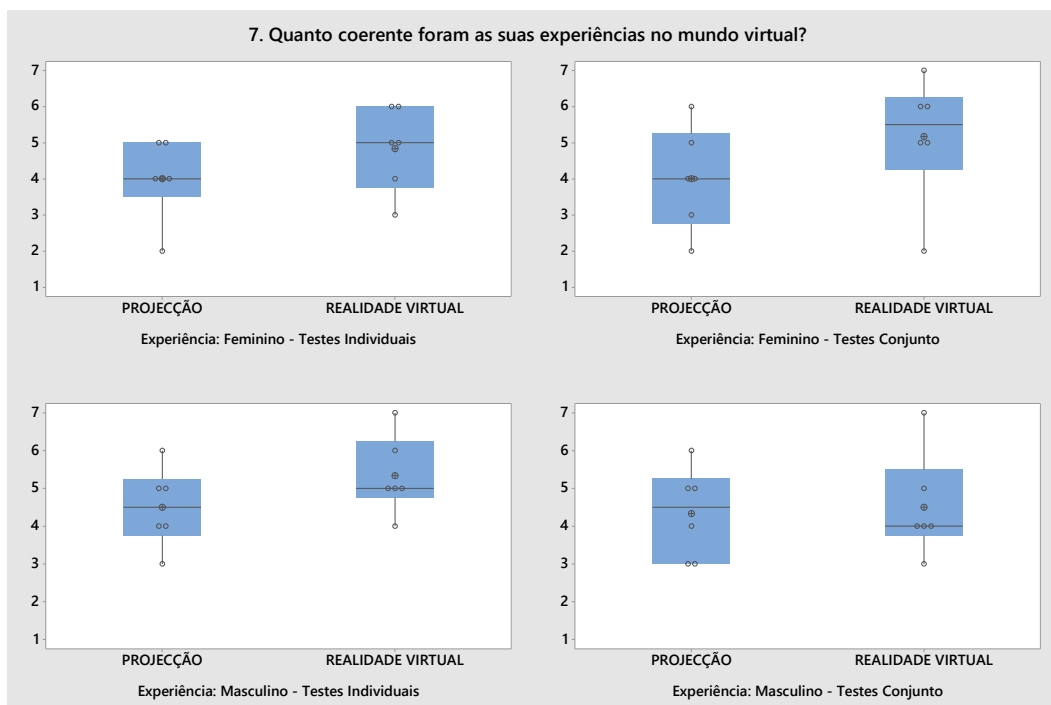


Figura D.7: Resultado - Questão número 7 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C

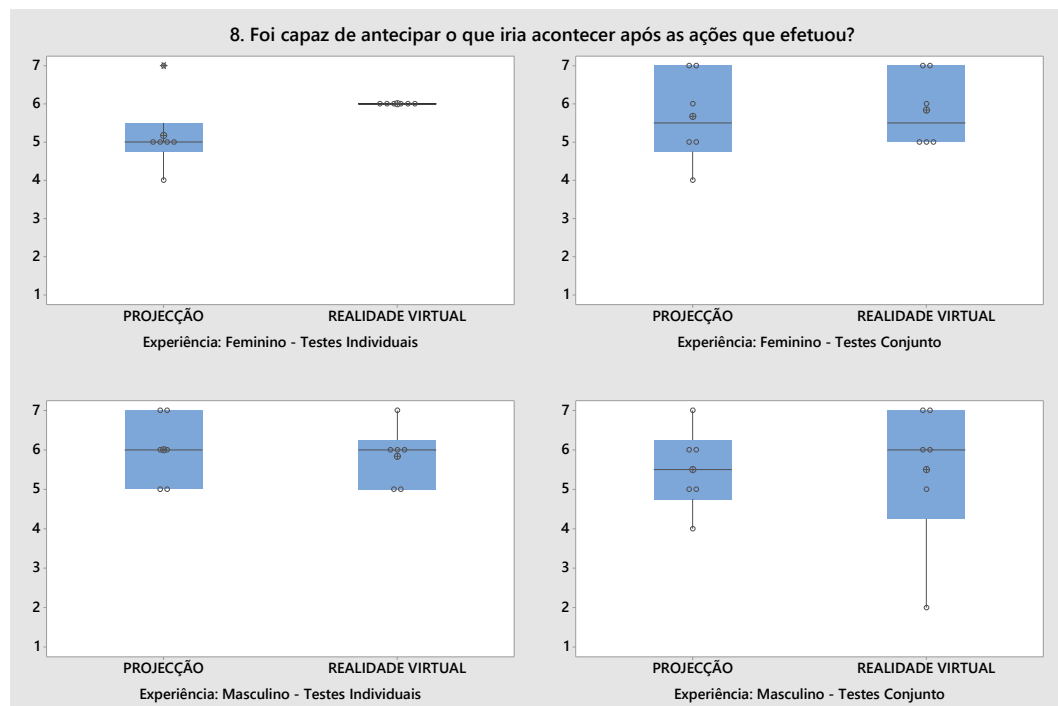


Figura D.8: Resultado - Questão número 8 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C

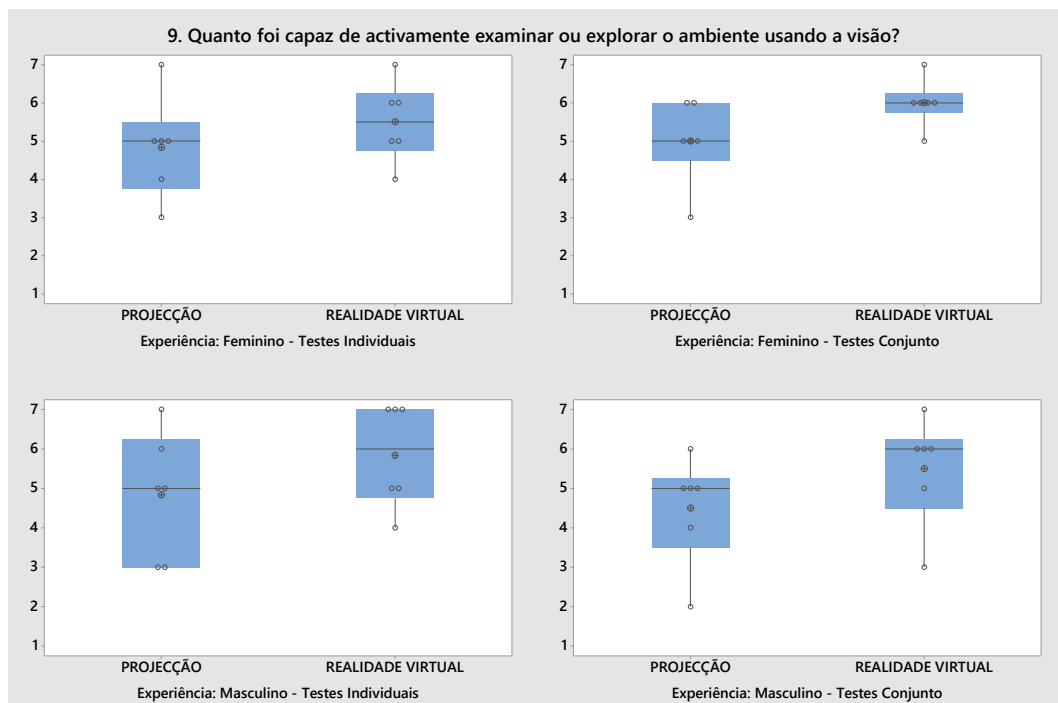


Figura D.9: Resultado - Questão número 9 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C

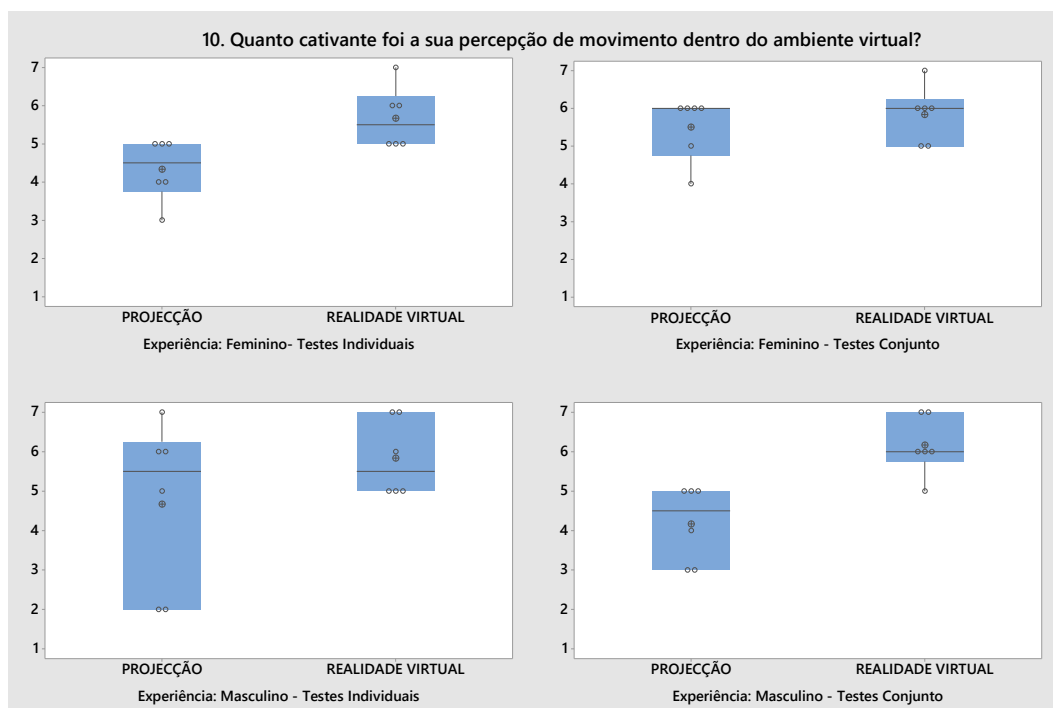


Figura D.10: Resultado - Questão número 10 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C

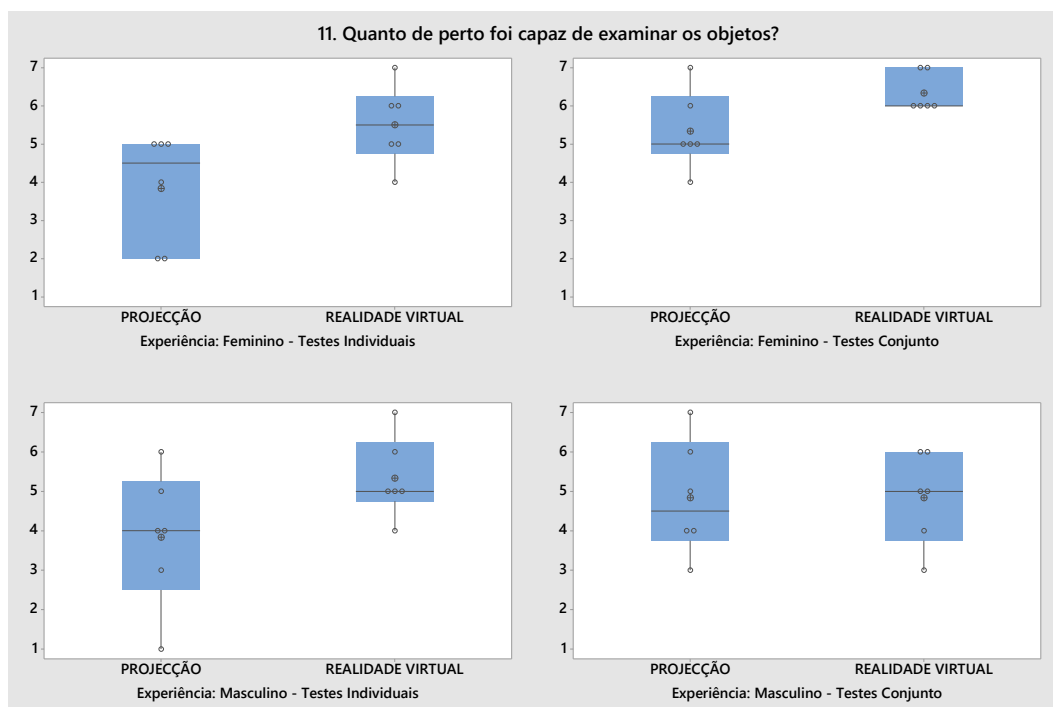


Figura D.11: Resultado - Questão número 11 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C

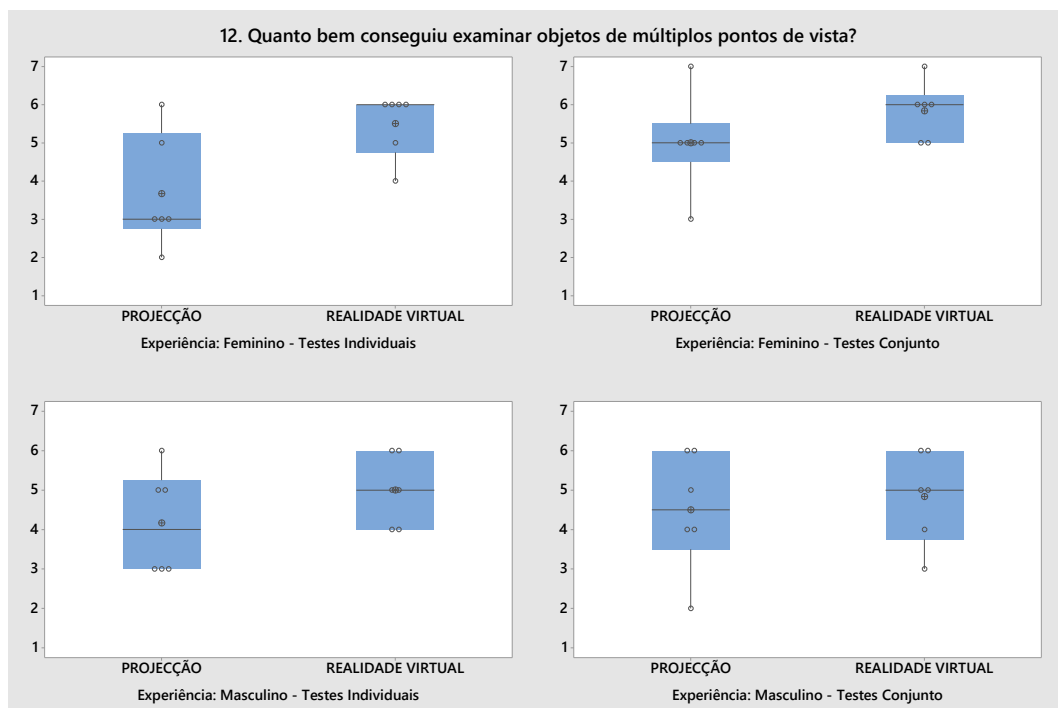


Figura D.12: Resultado - Questão número 12 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C

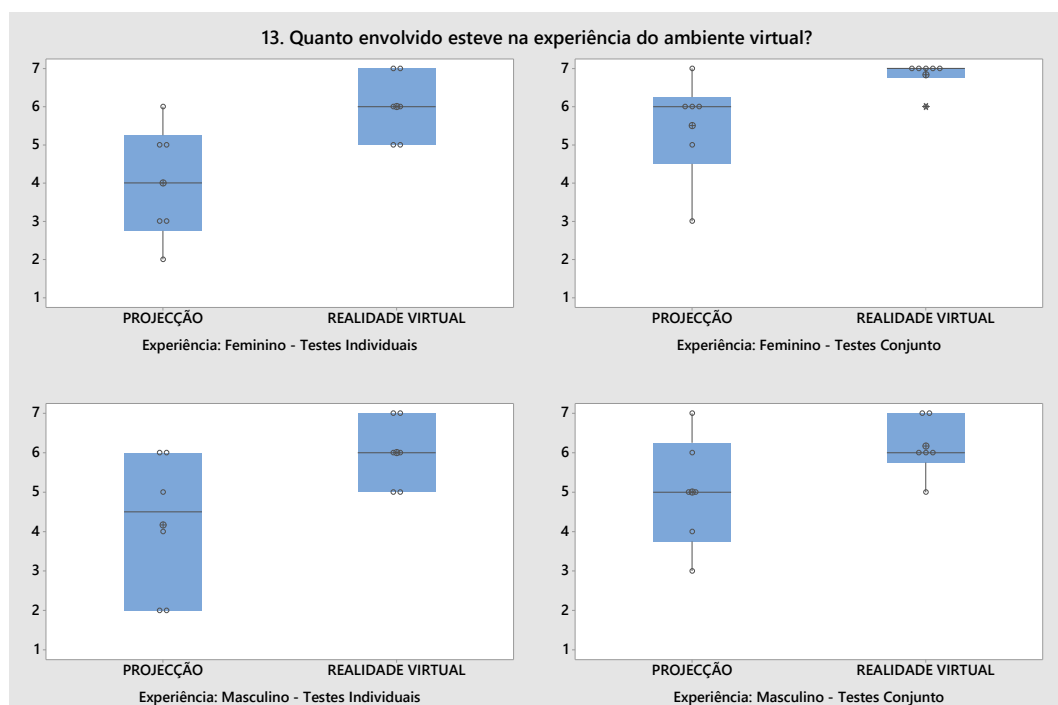


Figura D.13: Resultado - Questão número 13 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C

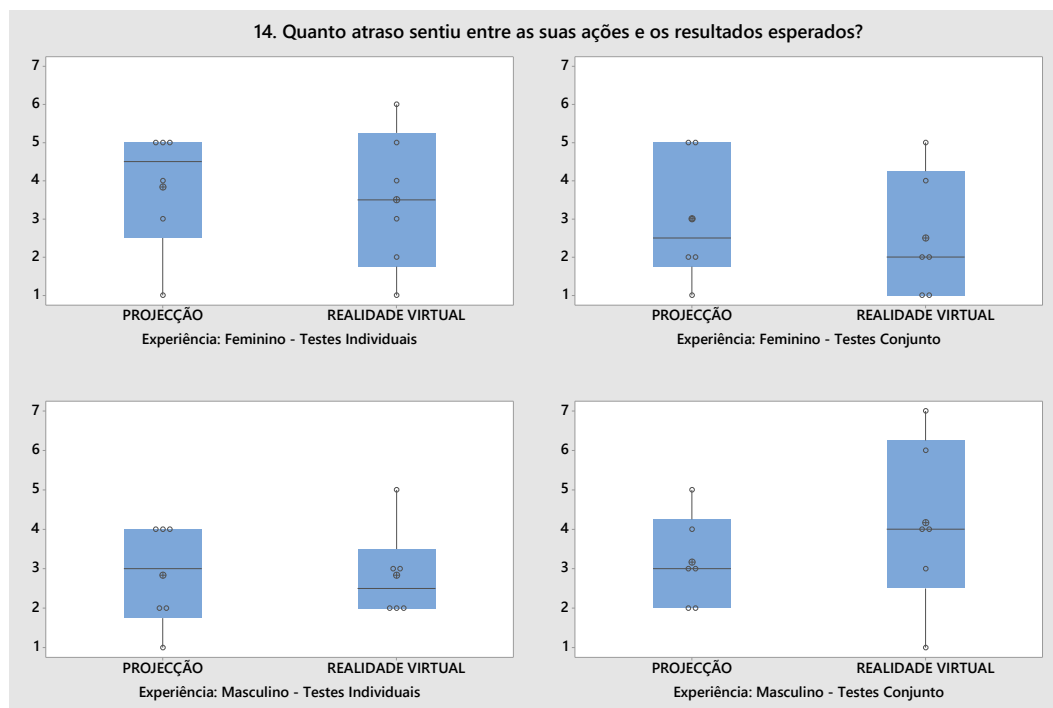


Figura D.14: Resultado - Questão número 14 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C

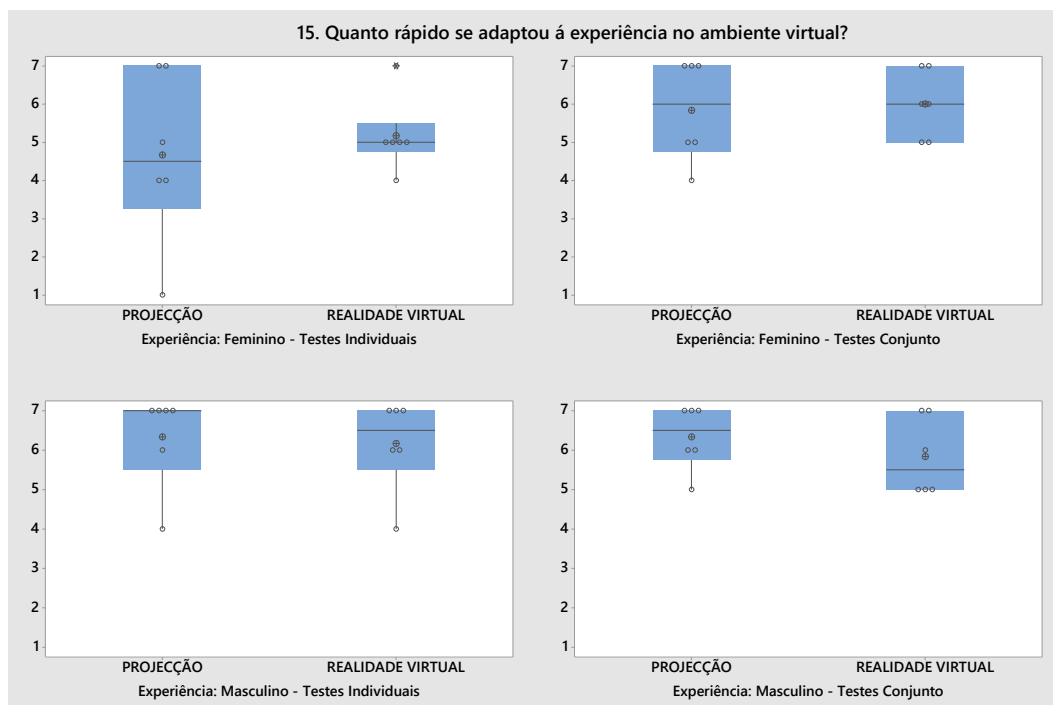


Figura D.15: Resultado - Questão número 15 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C

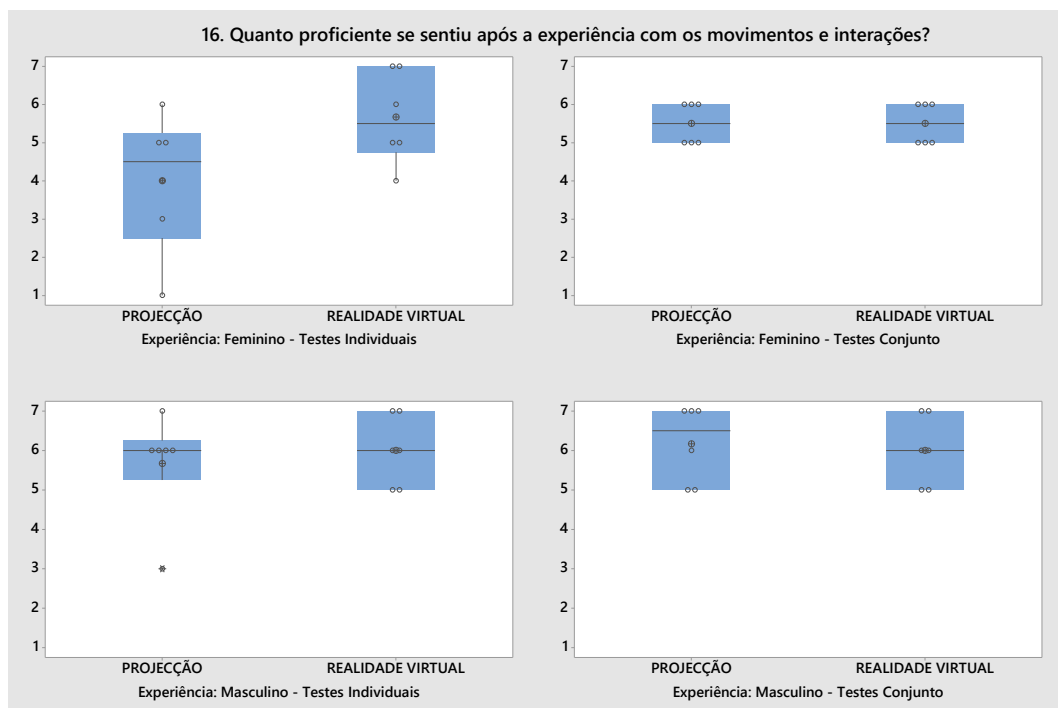


Figura D.16: Resultado - Questão número 16 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C

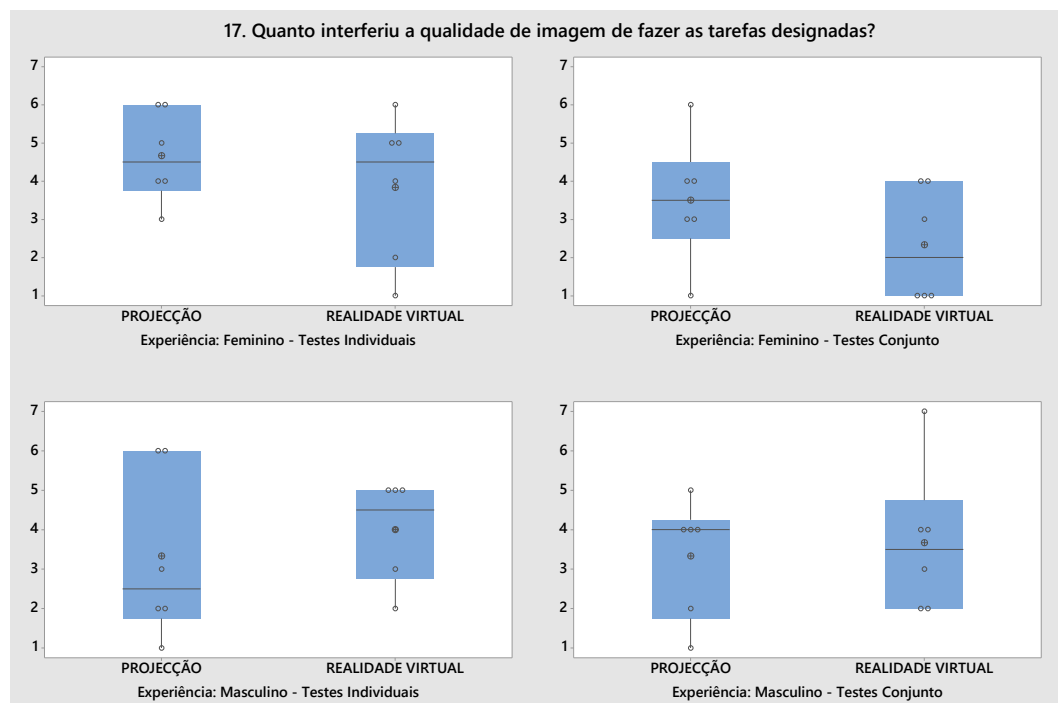


Figura D.17: Resultado - Questão número 17 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C

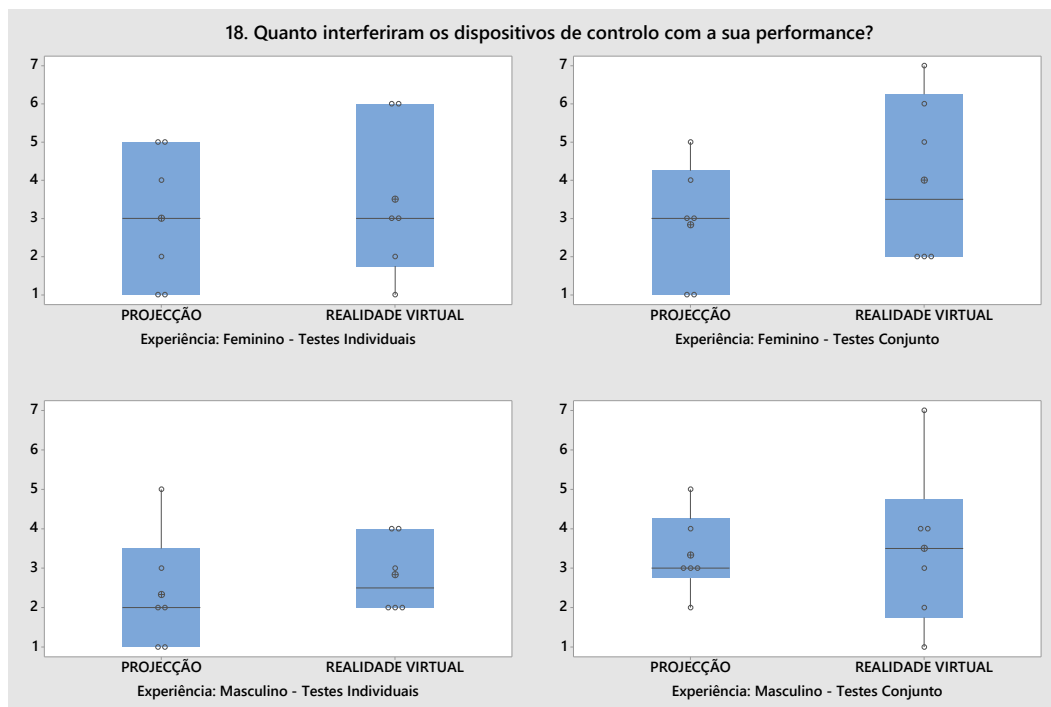


Figura D.18: Resultado - Questão número 18 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C

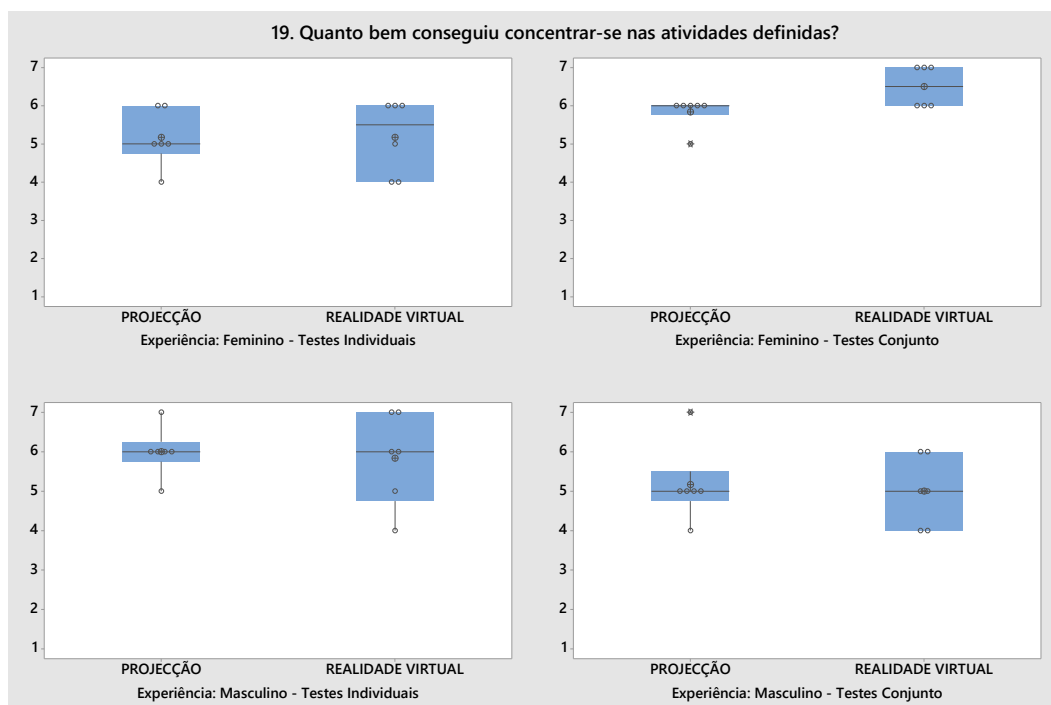


Figura D.19: Resultado - Questão número 19 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C

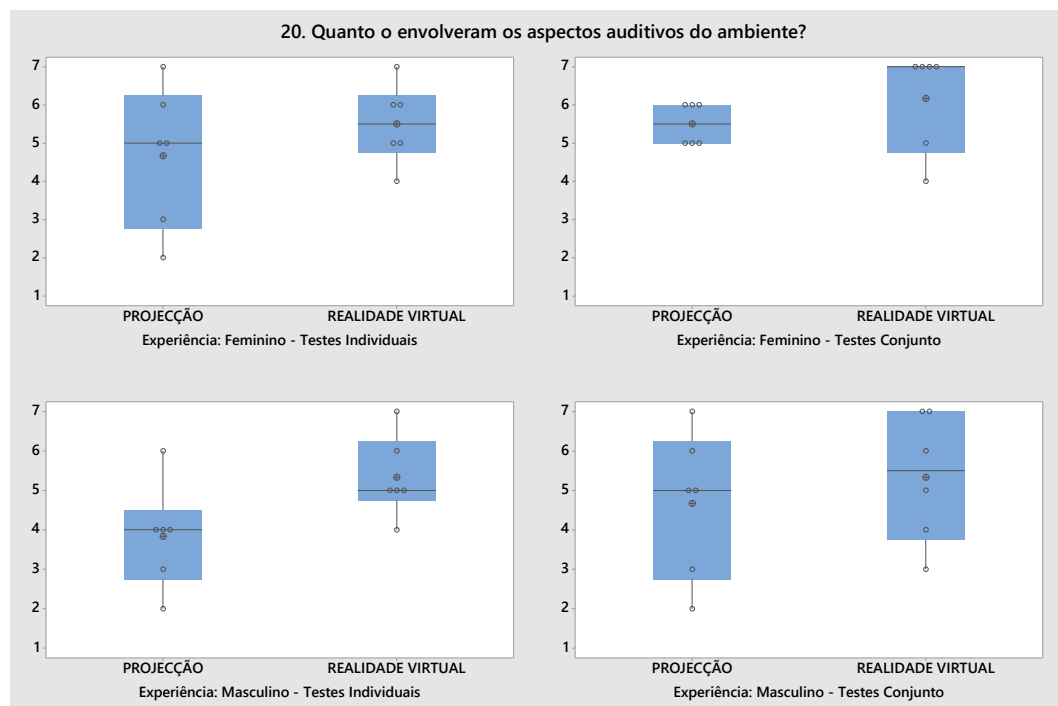


Figura D.20: Resultado - Questão número 20 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C

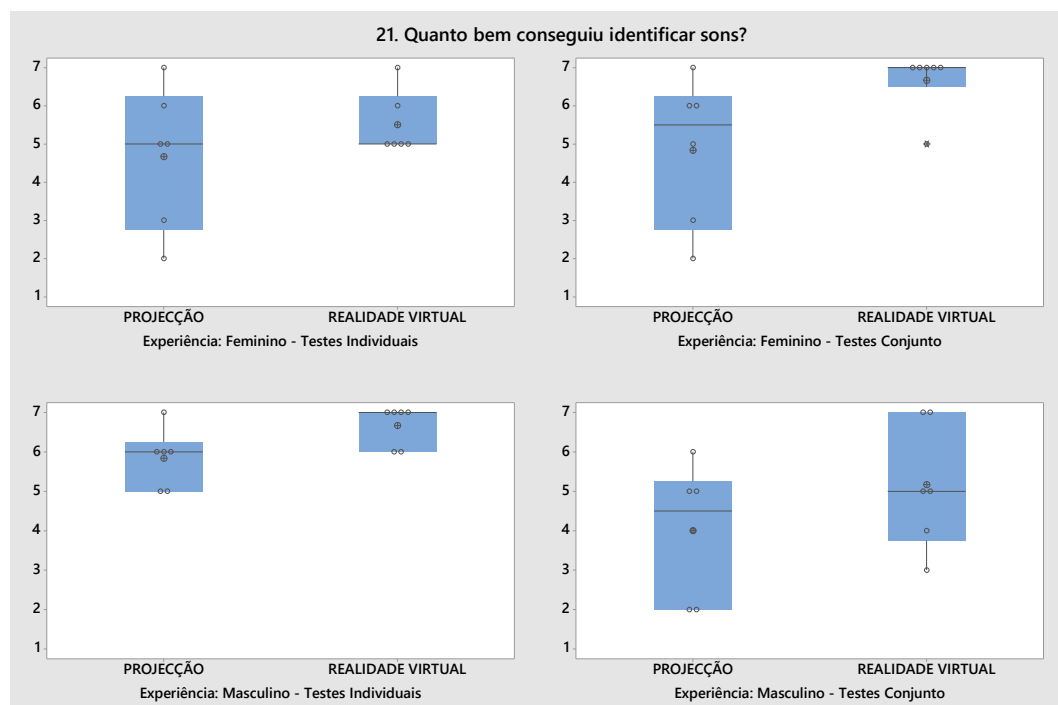


Figura D.21: Resultado - Questão número 21 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C

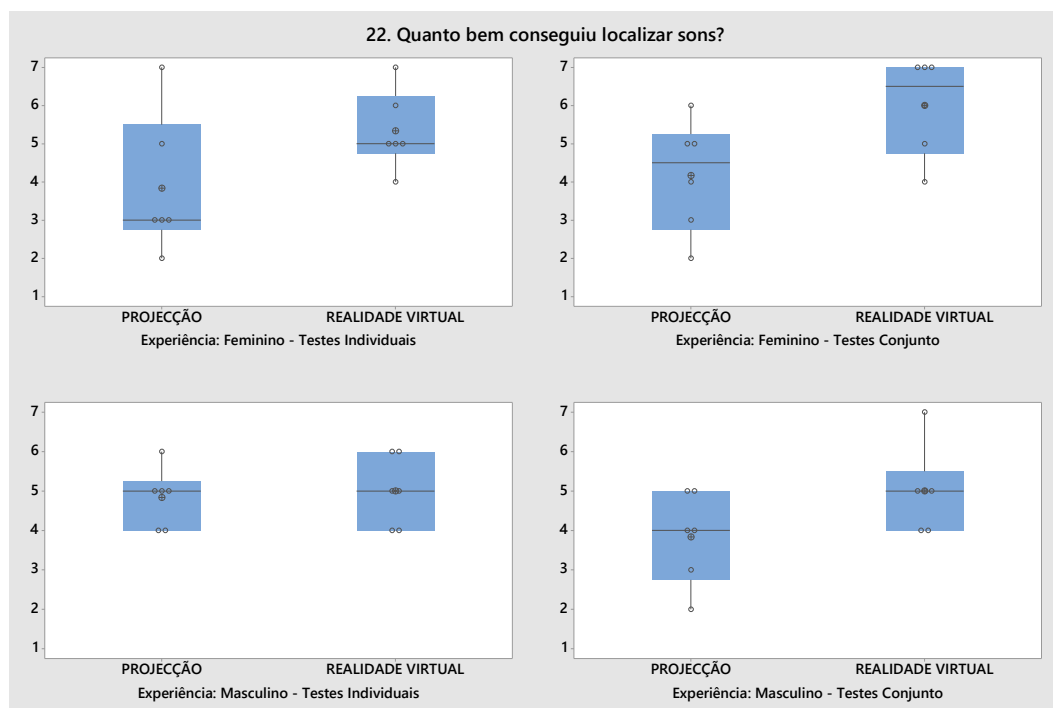


Figura D.22: Resultado - Questão número 22 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C

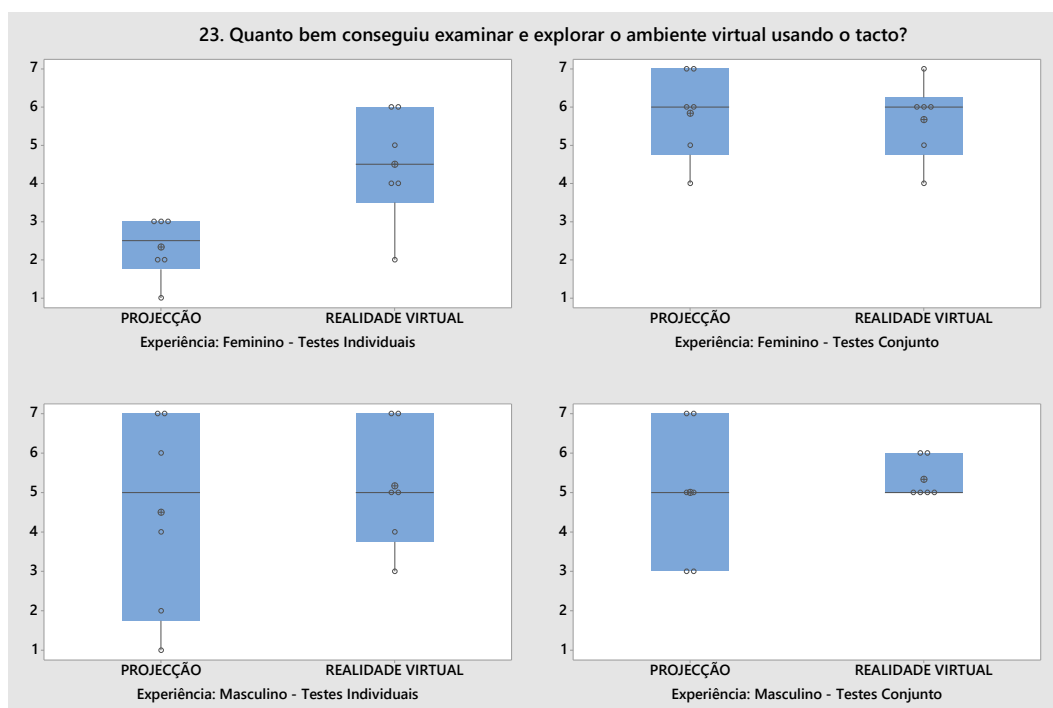


Figura D.23: Resultado - Questão número 23 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C

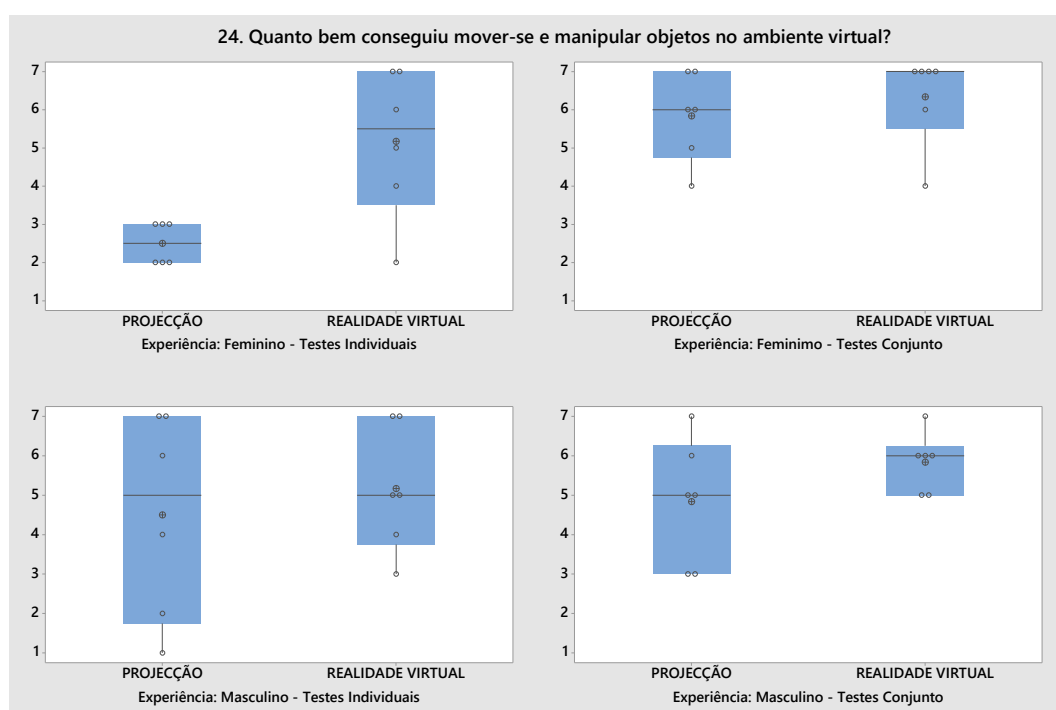


Figura D.24: Resultado - Questão número 24 - os 2 gráficos de cima são relativos aos elementos femininos dos grupos; à esquerda elementos relativos aos grupos A e B; abaixo elementos masculinos; à direita resultados do grupo C

Referências

- [1] PORDATA. Acidentes de viação com vítimas, feridos e mortos - continente, 2016. Disponível em <http://www.pordata.pt/Portugal/Acidentes+de+viaç~ao+com+v%C3%ADtimas++feridos+e+mortos+++Continente-326>, acessado a última vez em 19 de Junho de 2016.
- [2] VTI. Vti's simulator facilities, 2016. Disponível em <http://www.vti.se/en/research-areas/vehicle-technology/vtis-driving-simulators/>, acessado a última vez em 19 de Junho de 2016.
- [3] University of Leeds Driving Simulator. Facility, 2016. Disponível em <http://www.uolds.leeds.ac.uk/facility/>, acessado a última vez em 19 de Junho de 2016.
- [4] Daniel Nilsson Giovanni Cosma, Enrico Ronchi. Way-finding lighting systems for rail tunnel evacuation: A virtual reality experiment with oculus rift®, 2016.
- [5] VTI Bjorn Blissing, Fredrik Bruzelius. A technical platform using augmented reality for active safety testing.
- [6] Data Reality. Virtual reality headsets comparison, 2016. Disponível em <http://data-reality.com/virtual-reality-headsets-comparison/>, acessado a última vez em 19 de Junho de 2016.
- [7] Samsung. Gear vr - the official samsung galaxy site, 2016. Disponível em <http://www.samsung.com/global/galaxy/wearables/gear-vr/#!/spec>, acessado a última vez em 19 de Junho de 2016.
- [8] LG. Lg 360 vr headset (r-100): Lightweight vr headset | lg usa, 2016. Disponível em <http://www.lg.com/us/lg-friends/lg-LGR100.AVRZTS-360-vr>, acessado a última vez em 19 de Junho de 2016.
- [9] Minitab. What is a boxplot?, 2016. Disponível em <http://support.minitab.com/en-us/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/graphs/graphs-that-compare-groups/boxplots/boxplot/>, acessado a última vez em 19 de Junho de 2016.
- [10] Económico. Mais acidentes e menos mortos na estrada em 2015, 2016. Disponível em http://economico.sapo.pt/noticias/mais-acidentes-e-menos-mortos-na-estrada-em-2015_239011.html, acessado a última vez em 19 de Junho de 2016.
- [11] VTI. Driving simulation, 2016. Disponível em <http://www.vti.se/en/vti-offers/driving-simulation/>, acessado a última vez em 19 de Junho de 2016.

- [12] Mercedes-Benz. New dimensions, 2016. Disponível em http://www.mercedes-benz.ie/content/ireland/mpc/mpc_ireland_website/enng/home_mpc/passengercars/home/world/innovation/dimension.html, acessado a última vez em 19 de Junho de 2016.
- [13] RIFTINFO. Oculus rift specs - dk1 vs dk2 comparison, 2016. Disponível em <http://riftinfo.com/oculus-rift-specs-dk1-vs-dk2-comparison#>, acessado a última vez em 19 de Junho de 2016.
- [14] Oculus Rift. Documentation, 2016. Disponível em <https://developer.oculus.com/documentation/pcsdk/0.4/concepts/dg-sdk-setup-requirements/>, acessado a última vez em 19 de Junho de 2016.
- [15] Digital Trends. Spec comparison, 2016. Disponível em <http://www.digitaltrends.com/virtual-reality/oculus-rift-vs-htc-vive/>, acessado a última vez em 19 de Junho de 2016.
- [16] GSMARENA. Lg g5 - full phone specifications, 2016. Disponível em http://www.gsmarena.com/lg_g5-7815.php, acessado a última vez em 19 de Junho de 2016.
- [17] GSMARENA. Galaxy s7 - full phone specifications, 2016. Disponível em http://www.gsmarena.com/samsung_galaxy_s7-7821.php, acessado a última vez em 19 de Junho de 2016.
- [18] THE VERGE. The ultimate vr headset buyer's guide, 2016. Disponível em <http://www.theverge.com/a/best-vr-headset-oculus-rift-samsung-gear-htc-vive-virtual-reality>, acessado a última vez em 19 de Junho de 2016.
- [19] Oculus Rift. Oculus pc sdk 0.5.0.1 beta, 2016. Disponível em [https://developer.oculus.com/downloads/pc/0.5.0.1-beta/Oculus_SDK_for_Linux_\(Experimental\)](https://developer.oculus.com/downloads/pc/0.5.0.1-beta/Oculus_SDK_for_Linux_(Experimental)), acessado a última vez em 19 de Junho de 2016.
- [20] Bjorn Blissing. osgoculusviewer, 2016. Disponível em <https://github.com/bjornblissing/osgoculusviewer/tree/sdk-v0.5>, acessado a última vez em 19 de Junho de 2016.
- [21] ANIMIUM, 2016. Disponível em <http://animium.com/2014/12/volvo-s60/>, acessado a última vez em 19 de Junho de 2016.
- [22] Université du Québec en Outaouais. Cyberpsychology lab of uqo, 2016. Disponível em http://w3.uqo.ca/cyberpsy/en/index_en.htm, acessado a última vez em 19 de Junho de 2016.
- [23] UQO Cyberpsychology Lab. Presence questionnaire, 2016. Disponível em http://w3.uqo.ca/cyberpsy/docs/qaires/pres/PQ_va.pdf, acessado a última vez em 19 de Junho de 2016.
- [24] UQO Cyberpsychology Lab. Immersive tendencies questionnaire, 2016. Disponível em http://w3.uqo.ca/cyberpsy/docs/qaires/immersion/ITQ_va.pdf, acessado a última vez em 19 de Junho de 2016.