



**Philip Kuster Dunker**

**Uma Ferramenta de Telepresença de Baixo  
Custo usando Oculus Rift: Desenvolvimento e  
Avaliação num Cenário de Videoconferência**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Informática do Departamento de Informática da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Informática.

Orientador: Prof. Alberto Barbosa Raposo

Rio de Janeiro

Abril de 2016

**Philip Kuster Dunker**

**Uma Ferramenta de Telepresença de Baixo  
Custo usando Oculus Rift: Desenvolvimento e  
Avaliação num Cenário de Videoconferência**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Informática da PUC - Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Alberto Barbosa Raposo**

Orientador

Departamento de Informática – PUC-Rio

**Profa. Simone Diniz Junqueira Barbosa**

Departamento de Informática – PUC-Rio

**Marcus Franco Costa de Alencar**

Fundação Pe Leonel Franca

**Prof. Márcio da Silveira Carvalho**

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 6 de Abril de 2016

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

### **Philip Kuster Dunker**

Graduou-se no curso de Engenharia da Computação pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro em 2012.

#### Ficha Catalográfica

Dunker, Philip Kuster

Uma ferramenta de Telepresença de baixo custo usando Oculus Rift: Desenvolvimento e Avaliação num cenário de Videoconferência / Philip Kuster Dunker; orientador: Alberto Barbosa Raposo. – Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Informática, 2016.

v., 70 f.; il. ; 29,7 cm

1. Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Informática.

Inclui referências bibliográficas.

1. Informática – Teses. 2. Telepresença. 3. Imersão. 4. Teleoperação. 5. Oculus Rift 6. Interação Humano-Computador. I. Raposo, Alberto Barbosa. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. III. Título.

Para minha mãe, meus avós e minha namorada, pelo  
apoio incondicional em todos os momentos.

## Agradecimentos

Ao meu orientador Alberto Barbosa Raposo, pelo compartilhamento de seus conhecimentos durante a realização deste trabalho.

À PUC – Rio e ao TecGraf, pelo fornecimento de recursos e infraestrutura que viabilizaram a construção deste trabalho.

## Resumo

Dunker, Philip Kuster; Raposo, Alberto Barbosa. **Uma Ferramenta de Telepresença de Baixo Custo usando Oculus Rift: Desenvolvimento e Avaliação num Cenário de Videoconferência**. Rio de Janeiro, 2016. 70p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Telepresença refere-se a um conjunto de tecnologias que permite uma pessoa se sentir como se estivesse presente em um lugar que não seja a sua verdadeira localização. Esses equipamentos costumam usar uma câmera comum para filmar o que está acontecendo em um ambiente e transmitir ao vivo em televisões ou monitores para o usuário em outro ambiente. Algumas vezes as câmeras podem ser controladas através de dispositivos como teclado ou joysticks. Neste trabalho apresentamos uma ferramenta composta por um *head-mounted display (HMD)*, o *Oculus Rift DK1*, integrado com um dispositivo nomeado de cabeça remota (CR), capaz de filmar usando uma câmera estéreo e transmitir para o *Oculus Rift* as imagens em 3D. Ao mesmo tempo, o giroscópio do HMD captura a orientação da cabeça do usuário e envia para a cabeça remota, que possui servo motores capazes de girá-la a fim de possibilitar o usuário movimentar a câmera estéreo sem nenhum dispositivo adicional. O objetivo é proporcionar uma experiência de telepresença imersiva, com uma interface de baixo custo e simples de usar. Foram realizados testes com usuários com cenários experimentais, que indicaram o benefício da ferramenta em videoconferências.

## Palavras-chave

Telepresença; Imersão; Teleoperação; Interação Humano-Computador.

## Abstract

Dunker, Philip Kuster; Raposo, Alberto Barbosa (Advisor). **A Low-cost Telepresence Tool using Oculus Rift: Development and Evaluation in a Videoconference Scenarium.** Rio de Janeiro, 2016. 70p. MSc. Dissertation – Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Telepresence refers to a set of technologies that allows a person to feel as if he is in a place other than his true location. Such equipment uses an ordinary camera to film what is happening in an environment and transmits it alive on televisions or monitors to the user in another environment. Sometimes the cameras can be controlled through devices such as keyboards or joysticks. This dissertation presents a tool composed of a head-mounted display (HMD), we used the Oculus Rift DK1, integrated with a device called remote head, able to film with a stereo camera and to transmit to the Oculus Rift the images in 3D. At the same time, the HMD's gyroscope captures the user's head orientation and sends it to the remote head, which has servo motors able to rotate it in order to allow the user to move the stereo camera without any additional device. The project's goal is to provide the user an experience of immersive telepresence, with a low cost and a simple interface. Some tests with users were performed and indicated the benefit of the tool for videoconferencing.

## Keywords

Telepresence; Immersion; Teleoperate; Human-Computer Interaction.

# Sumário

1. Introdução .....	13
1.1. Contexto .....	14
1.2. Motivação e Objetivo .....	16
1.3. Estrutura do Documento .....	17
2. Trabalhos Relacionados .....	18
3. Solução Proposta .....	25
3.1. Módulo do Operador .....	26
3.2. Módulo da Cabeça Remota .....	27
4. Implementação .....	34
4.1. Módulos e Componentes do Sistema .....	36
4.2. Implementações distribuídas .....	42
5. Avaliação da Ferramenta .....	45
5.1. Cenário de Teste .....	45
5.2. Metodologia de Avaliação .....	48
5.3. Resultados dos Testes .....	51
5.3.1. Questionário Experimental .....	52
5.3.2. IPQ .....	56
6. Conclusões e Trabalhos Futuros .....	60
6.1. Conclusão .....	60
6.2. Trabalhos Futuros .....	61
7. Referências Bibliográficas .....	63
8. Apêndice A .....	65
9. Apêndice B .....	67
10. Apêndice C .....	69

## Lista de Figuras

Figura 2.1 – Cisco TelePresence TX9000 Series	18
Figura 2.2 – Narvaro Telepresence Prototype 1.2	19
Figura 2.3 – Robonaut	20
Figura 2.4 – Visão geral do sistema desenvolvido por Yong	21
Figura 2.5 – Sistema de telepresença desenvolvido por Yong-Ho Seo	21
Figura 2.6 – Controlando o Baxter com controles Razer Hydra e Oculus Rift	22
Figura 2.7 – Teleoperação estereoscópica usando Oculus Rift	23
Figura 2.8 – Primeiro voo do Oculus FPV - da Intuitive Aerial	23
Figura 2.9 – Sistema imersivo e o UGV usado nas experiências em Elliot et al., 2012	24
Figura 3.1 – Oculus Rift DK1	26
Figura 3.2 – Eixos de rotação	27
Figura 3.3 – DUO MLX	28
Figura 3.4 – StartUSB for PIC	29
Figura 3.5 - Circuito da placa StartUSB for PIC, da MikroElektronika	30
Figura 3.6 – Um servo motor genérico, como é feita a medição do torque e sua fiação	31
Figura 3.7 – Servo motor ES9258	31
Figura 3.8 – Cabeça Remota	33
Figura 3.9 – Diagrama dos módulos	33
Figura 4.1 – Diagrama dos módulos e componentes	35
Figura 4.2 – Diagrama distribuído dos módulos e componentes	36
Figura 4.3 – Diagrama de Classes da CameraDUODII	37
Figura 4.4 – Diagrama de Classes do RiftSensor	38
Figura 4.5 – Diagrama de Classes do CommWithPic	39
Figura 4.6 – Cena do Unity3D que transmite imagens para o Oculus Rift	41
Figura 4.7 – Diagrama da Implementação Local	41
Figura 4.8 – A Ferramenta de Telepresença CR&OR	42
Figura 5.1 – Cabeça Remota e Modelo físico no ambiente do	46

avaliador	
Figura 5.2 – Cenário de teste; A: ambiente dos participantes; B: ambiente do avaliador	46
Figura 5.3 – Extensor de 10 metros HDMI e USB	47
Figura 5.4 – Fatores do IPQ	50
Figura 5.5 – Gráfico de conforto	52
Figura 5.6 – Acertos X Erros	53
Figura 5.7 – Classificação dos Erros	54
Figura 5.8 – Gráfico de naturalidade	54
Figura 5.9 – Gráfico da velocidade da câmera	55
Figura 5.10 – Gráfico da estereoscopia	55
Figura 5.11 – Gráfico de mal estar	56
Figura 5.12 – Média e desvio padrão das respostas ao IPQ	57
Figura 5.13 – Resultados obtidos nos fatores do IPQ	58
Figura 5.14 – Comparação dos resultados do IPQ com outros trabalhos	58

## Lista de Tabelas

Tabela 1 – FPS x Resolução da DUO MLX	28
Tabela 2 – Ordem de execução dos testes para cada participante	47
Tabela 3 – Questionário experimental	49
Tabela 4 – Perfil dos participantes	51
Tabela 5 – Média e desvio padrão das respostas ao IPQ	56

## Abreviações e Símbolos

API	<i>Application Programming Interface</i>
CR	Cabeça Remota
DLL	<i>Dynamic-Link Library</i>
FOV	<i>Field of View</i>
FPS	<i>Frames per Second</i>
HDMI	<i>High-Definition Multimedia Interface</i>
HID	<i>Human Interface Device</i>
HMD	<i>Head-Mounted Display</i>
IHC	Interação Humano-Computador
IPQ	<i>Igroup Presence Questionnaire</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
ROV	<i>Remotely Operated Vehicle</i>
TCP	<i>Transport Control Protocol</i>
UGV	<i>Unmanned Ground Vehicle</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>

# 1 Introdução

Telepresença refere-se a um conjunto de tecnologias que permite uma pessoa se sentir como se estivesse presente em um lugar que não seja a sua verdadeira localização. Telepresença imersiva é o próximo passo e o objetivo passa por proporcionar a sensação de que o utilizador se encontra completamente imerso num ambiente remoto (Terrile & Noraky, 2012). Para que isso ocorra, os sentidos do usuário precisam ser estimulados e, quanto mais sentidos forem estimulados e quanto mais fortes forem esses estímulos, maior será a sensação de imersão (Rodrigues, 2015).

As ferramentas de telepresença do mercado hoje em dia, como a Cisco TelePresence IX5000 Series<sup>1</sup> ou a Equal-i Technology<sup>2</sup>, possuem soluções que basicamente consistem em câmeras comuns para captura e transmissão de imagens e áudio; monitores/televisões para recebimento e exibição; teclado/joysticks para entrada de dados e, em alguns casos, controle remoto das câmeras.

Este trabalho tem como objetivo criar uma ferramenta que dê ao usuário uma experiência de telepresença imersiva. Acreditamos que é possível atingir este objetivo com o uso de equipamentos de baixo custo existentes no mercado, capazes de capturar imagens de um ambiente em 3D, exibi-las para um usuário em 3D, ao mesmo tempo em que este usuário não precisa utilizar nenhum controle físico em suas mãos para manipular as câmeras, pois através de sensores é possível detectar a rotação da cabeça do usuário e girar a câmera da mesma forma. Isso é possível com o uso de um *head-mounted display* (ou HMD) em conjunto com um dispositivo desenvolvido neste trabalho, chamado de cabeça remota (CR).

---

<sup>1</sup> [www.cisco.com/c/en/us/products/collaboration-endpoints/ix5000-series](http://www.cisco.com/c/en/us/products/collaboration-endpoints/ix5000-series)

<sup>2</sup> [www.arraytelepresence.com/products/equal-i-technology](http://www.arraytelepresence.com/products/equal-i-technology)

Um HMD, de uma maneira geral, é um equipamento de realidade virtual que exhibe ao usuário as informações de um ambiente (geralmente virtual) em 3D. Os equipamentos mais modernos possuem um giroscópio capaz de detectar os movimentos de rotação da cabeça do usuário. O HMD escolhido para este projeto foi o *Oculus Rift DK1 (Development Kit 1)*<sup>3</sup>, mais detalhes sobre ele são descritos no Capítulo 3.

A cabeça remota (CR) é um equipamento que utiliza dois servo-motores, uma câmera estéreo e uma placa de prototipagem que possui um micro controlador, chip inteligente que consiste num circuito processador que possui entradas, saídas e uma memória, e comunica-se com um computador via porta USB. Detalhes da implementação desse equipamento também serão descritos no Capítulo 3.

Com esses dois componentes integrados é possível estimular o sentido da visão, o principal sentido para dar o sentimento de imersão ao usuário, com imagens de um ambiente real em 3D (capturadas pela câmera estéreo) e girar a câmera a partir das rotações capturadas pelo giroscópio, de forma natural para o usuário. Dessa forma, o usuário poderá ter um sentimento de presença imersiva no ambiente remoto real.

## 1.1 Contexto

Existe certo desentendimento na literatura a respeito da definição precisa de telepresença e um dos motivos para isso é sua grande quantidade de denominações, que inclui: *synthetic presence*, *virtual presence*, *social presence*, *ego presence* e *telepresence*. Cada um desses termos refere-se a uma experiência que envolve dar a impressão ao usuário de que ele está em um ambiente remoto, virtual ou não, mediado por computador, por vezes em conjunto com outros equipamentos eletrônicos, e cada um dos termos é usado de forma idiossincrática dentro de seu contexto específico.

---

<sup>3</sup> [www.oculus.com](http://www.oculus.com)

Hendrix e Barfield observaram que *virtual presence* (sentir-se presente em um ambiente virtual) ou *telepresence* (sentir se presente em um ambiente remoto real) são fenômenos indistinguíveis psicologicamente. Portanto, parece ser apropriado fazer comparações baseadas apenas na experiência do usuário (Hendrix & Barfield, 1996).

A ideia de telepresença surgiu pela primeira vez a partir de referências anedóticas para a sensação de ser deslocado de uma sala de controle local para uma área remota ao usar uma ferramenta de teleoperação (Minsky, 1980). Mesmo antes, em 1971, discutia-se a importância da criação de controles “para ajudar o operador a projetar sua presença” em locais de trabalho remotos e fornecendo monitores que “melhoram a identificação do operador com a tarefa” (Johnsen & Corliss, 1971). A partir desses estudos percebeu-se que a melhor maneira de se criar uma ferramenta de teleoperação era proporcionando ao teleoperador a sensação mais próxima possível de estar em contato direto com o ambiente onde deve ser executada a tarefa.

A dificuldade em compreender o significado de telepresença parte da maneira relativamente descuidada em que o termo é usado. Draper (Draper, 1995) encontrou três definições de telepresença de uso comum: a simples, a cibernética, e a experimental. Na definição da simples, telepresença refere-se à habilidade de operar em um ambiente mediado por computador. Por exemplo, Travis, Watson e Atyeo (Travis et al., 1994) escreveram que telepresença “implica em controlar máquinas (usualmente robôs) à distância”.

Na definição cibernética, telepresença é um índice da qualidade da interface humano-computador. Por exemplo, Thomas e Karl Smith (Smith & Smith, 1990) argumentaram que telepresença ocorre quando “as características operacionais da interface humano-computador são compatíveis com as capacidades de desempenho comportamental-fisiológicas e as limitações do ser humano”.

Na definição experimental, telepresença é um estado mental em que o usuário se sente fisicamente presente dentro do ambiente mediado por computador (Akin et al., 1983). Por exemplo, Sheridan (Sheridan, 1992a) descreveu telepresença como uma “sensação de estar fisicamente presente com objetos virtuais no local remoto

teleoperado”. Sheridan (Sheridan, 1992b) novamente a descreveu em outro lugar como uma “ilusão” que ocorre quando o usuário “sente fisicamente presente no local remoto”.

A diferença fundamental entre a telepresença cibernética e experimental é que a definição cibernética se refere à eficiência de displays e controles, enquanto a definição experimental refere-se a algo experimentado pelo usuário humano. Telepresença cibernética é a projeção da capacidade humana em um ambiente mediado por computador; telepresença experimental é a projeção da consciência humana em um ambiente mediado por computador.

A característica diferencial da telepresença experimental é o estado mental, o que inclui a suspensão da consciência do usuário e o afastamento dele para ambiente mediado por computador. A qualidade da interface humano-computador é frequentemente citada como um fator determinante da intensidade da experiência, mas telepresença experimental é claramente algo além da telepresença cibernética.

No presente trabalho, não entraremos nessa discussão sobre os diferentes tipos de telepresença. Usaremos a definição mais simples de telepresença de Hendrix e Barfield (Hendrix & Barfield, 1996), mencionada anteriormente: sentir-se presente em um ambiente remoto real. Em particular, estamos interessados no conceito de telepresença imersiva, que significa prover ao usuário a habilidade de sentir-se presente e interagir com o ambiente remoto através de gestos e movimentos (Rodrigues, 2015).

## **1.2 Motivação e Objetivos**

Das soluções comerciais que oferecem uma ferramenta de telepresença, não foi encontrada nenhuma que usa um HMD, ou qualquer outro dispositivo que permita ao usuário visualizar o ambiente remoto em 3D. Na área da telerobótica atualmente existem artigos e pesquisas que utilizam HMD's (conforme será apresentado no Capítulo 2), porém ainda não há uma solução comercial.

O objetivo do presente trabalho é a criação de uma ferramenta de telepresença imersiva fazendo o uso de equipamentos de baixo custo para serem usados, por exemplo, em videoconferências, em novas formas de turismo onde o “viajante” pode ver pontos turísticos como se estivesse presente neles sem sair de casa, dentre outras possibilidades de uso. A ferramenta também poderá ser adaptada para ser usada em outras situações, como acoplada a qualquer robô que possua um operador que o controle de longa distância, como: drone, ROV (*Remotely Operated Vehicle*) ou UGV (*Unmanned Ground Vehicle*).

### **1.3 Estrutura do Documento**

Os próximos capítulos estão organizados da seguinte forma: no Capítulo 2, alguns trabalhos relacionados são exibidos. No Capítulo 3 a solução proposta e os equipamentos são apresentados. No Capítulo 4, é demonstrada a arquitetura do sistema e cada um dos componentes é descrito. Uma avaliação da ferramenta feita por usuários é apresentada no Capítulo 5. Por fim, a conclusão e trabalhos futuros são descritos no Capítulo 6.

## 2 Trabalhos Relacionados

Existem muitas ferramentas de telepresença no mercado e uma das principais empresas que desenvolve essas ferramentas é a Cisco<sup>4</sup>, com muitas alternativas de sistemas para videoconferência. Uma delas é a Cisco TelePresence TX9000 (Figura 2.1), uma ferramenta para videoconferências com muitos usuários ao mesmo tempo, mas que não permite ao usuário uma visão estereoscópica do ambiente remoto.



Figura 2.1 - Cisco TelePresence TX9000 Series (Fonte:

[www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/collaboration-endpoints/telepresence-tx9000-series/data\\_sheet\\_c78-702104.html](http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/collaboration-endpoints/telepresence-tx9000-series/data_sheet_c78-702104.html))

Um projeto bem similar ao desenvolvido no presente trabalho, porém com outra finalidade, é o Narvaro Telepresence Prototype desenvolvido pela empresa Narvaro<sup>5</sup>, criada por engenheiros do Instituto de Tecnologia da Geórgia

---

<sup>4</sup> [www.cisco.com](http://www.cisco.com)

<sup>5</sup> [www.narvaro3d.com](http://www.narvaro3d.com)

(GeorgiaTech<sup>6</sup>) – Figura 2.2. A finalidade do projeto da Narvaro é permitir que o usuário conheça pontos turísticos à distância.



Figura 2.2 - Narvaro Telepresence Prototype 1.2 ([www.youtube.com/watch?v=ExbquOHZ-vY](http://www.youtube.com/watch?v=ExbquOHZ-vY))

A telerrobótica, área da robótica responsável pelo controle de robôs semiautônomos à distância, exige que algum tipo de telepresença seja criado, por isso a telepresença e a telerrobótica se misturam. Neste campo de pesquisa existem projetos que usam dispositivos HMDs para o usuário ter a sensação de presença e ser capaz de realizar alguma tarefa robótica com maior facilidade. Isso acontece, principalmente, porque existem ambientes que são inacessíveis para o homem ou porque colocaria a vida de uma ou mais pessoas em risco. Esses sistemas são usados em diversas situações: na exploração espacial como o robô “Robonaut” (Figura 2.3) descrito no artigo “*Telepresence Control of the NASA/DARPA Robonaut on a Mobility Platform*” (Goza, 2004); para fins militares como em missões de busca e salvamentos descrito em “*Robotic Telepresence: Perception, Performance, and User Experience*” (Elliott et al., 2012); entre outras situações.

<sup>6</sup> [www.gatech.edu](http://www.gatech.edu)



Figura 2.3 – Robonaut (Fonte: <http://robonaut.jsc.nasa.gov/R1/sub/telepresence.asp>)

No artigo “*Robot Task Execution with Telepresence Using Virtual Reality Technology*” (Yong et al., 1998) o autor descreve a concepção e implementação de um sistema de controle de robô usando instrumentos de realidade virtual. O sistema inclui um módulo chamado de *Head-Eye Module* (HEM) com 3 graus de liberdade, um HMD para supervisão remota, e um manipulador robótico articulado com 6 graus de liberdade. Portanto, além de rastrear movimentos da cabeça, uma das mãos do operador também é rastreada e mapeada para um braço robótico. A Figura 2.4 demonstra os componentes desse sistema e sua integração.

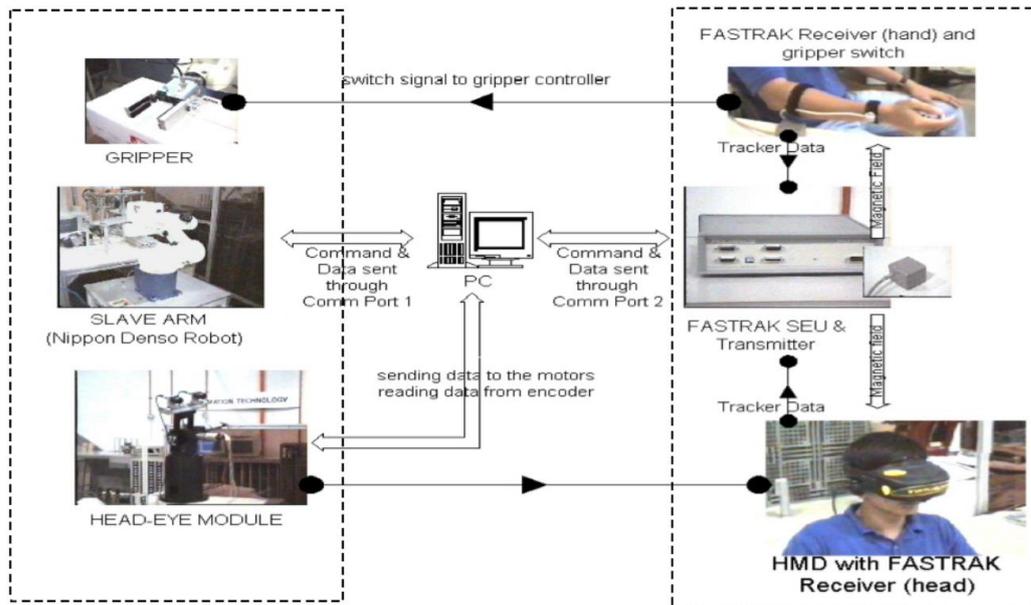


Figura 2.4 - Visão geral do sistema desenvolvido por Yong et al. (1998)

Mais recentemente, desenvolveram um sistema chamado de “*wearable telepresence*” (Seo et al., 2003) para controle de robôs humanoides (Figura 2.5). Neste, além de rastrear o braço e a cabeça do operador para controlar, respectivamente, o braço e a cabeça do humanoide, usa-se também um microfone para capturar a voz do operador. Com o reconhecimento da voz e um sistema de transcrição de áudio em texto (*speech-to-text*) são enviados comandos para o humanoide e também na direção oposta (*text-to-speech*), de modo que o operador recebe informações do humanoide via áudio. Outra funcionalidade desenvolvida e explicada nesse artigo é o uso de realidade aumentada para exibir mais informações para o operador, como pode ser visto no lado direito da Figura 2.5.



Figura 2.5 – Sistema de telepresença desenvolvido por Yong-Ho Seo, Hun-Young Park, Taewoo Han, Hyun S. Yang (2003).

Antes do ano de 2012, o acesso a dispositivos HMDs era mais difícil, já que eram dispositivos caros e com baixa qualidade visual. Em 2012, foi lançada a primeira versão, para desenvolvedores, dos Oculus Rift com baixo custo e com uma qualidade visual satisfatória. Desde então muitos outros projetos usando esse equipamento começaram a surgir, porém, como ainda estão em fase de desenvolvimento, não há muita informação a respeito. Alguns desses projetos são mostrados abaixo, com informações obtidas basicamente do YouTube ou dos sites das instituições desenvolvedoras.

Na Figura 2.6 é mostrado um projeto desenvolvido pela Robotics Lab<sup>7</sup> da UMass<sup>8</sup> (Universidade de Massachusetts) em que o objetivo é manipular um robô remotamente do ponto de vista do robô com visão 3D, e assim executar tarefas com precisão. É possível ver o robô Baxter sendo manipulado por dois joysticks (*Razer Hydra*), e um sensor de movimento Xtion, que possui um sensor de profundidade acoplado ao pescoço do Baxter. Com isso é possível o manipulador ver o que o Baxter estaria vendo e assim manipulá-lo com maior precisão.



Figura 2.6 – Controlando o Baxter com controles Razer Hydra e Oculus Rift

([www.youtube.com/watch?v=JHlz-Y5qCmY](http://www.youtube.com/watch?v=JHlz-Y5qCmY))

A Figura 2.7 mostra um projeto desenvolvido pela SMART<sup>9</sup> (*Singapore-MIT Alliance for Research and Technology*) que visa o controle remoto de um automóvel. Os equipamentos utilizados, além do Oculus Rift, são uma câmera

<sup>7</sup> <http://robotics.cs.uml.edu>

<sup>8</sup> <http://www.umass.edu>

<sup>9</sup> <http://smart.mit.edu/>

estereoscópica, um joystick de volante com pedais, e um automóvel *drive-by-wire*.

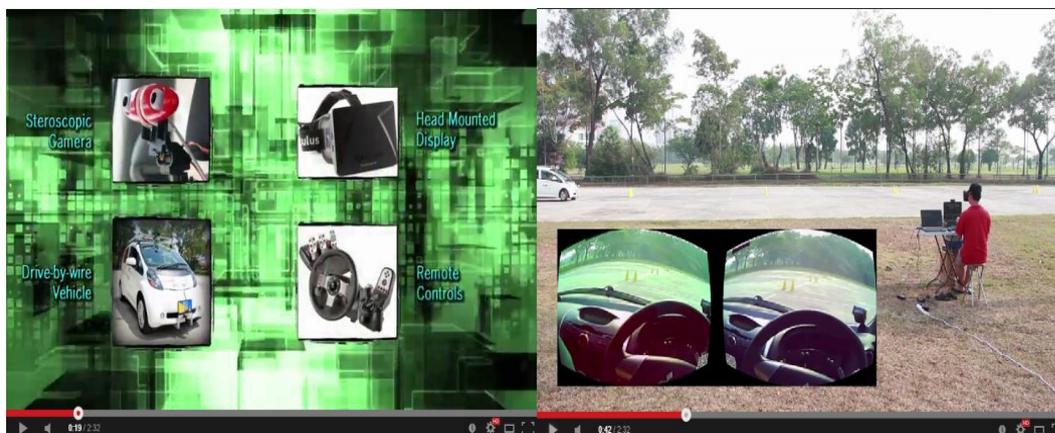


Figura 2.7 – Teleoperação estereoscópica usando Oculus Rift

([www.youtube.com/watch?v=zNxNWALBmrg](http://www.youtube.com/watch?v=zNxNWALBmrg))

A ideia de controlar drones em primeira pessoa não é nova, existem os chamados drones FPV (*first person view*). Porém, eles possuem câmeras comuns. A Intuitive Aerial<sup>10</sup>, uma empresa da Suécia especializada em drones, está desenvolvendo um projeto objetivando criar drones FPV com câmera estereoscópica (Figura 2.8).

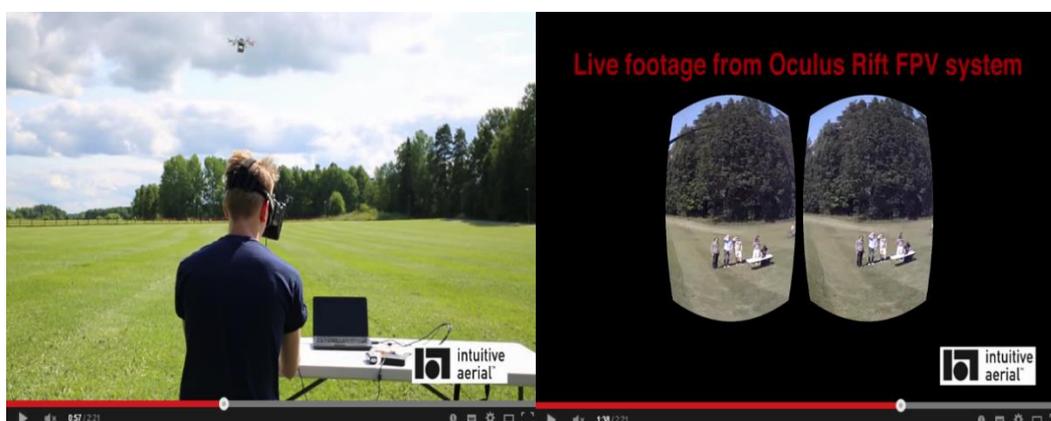


Figura 2.8 – Primeiro voo do Oculus FPV - da Intuitive Aerial

([www.youtube.com/watch?v=IoXSfpkUEm0](http://www.youtube.com/watch?v=IoXSfpkUEm0))

Em 2012, Linda Elliott descreveu em seu artigo “*Robotic Telepresence: Perception, Performance, and User Experience*” (Elliott et al., 2012) experiências feitas com veículos terrestres não-tripulados (UGVs), usados pelo exército americano em missões de busca e salvamento (SAR – *search and rescue*), onde

<sup>10</sup> [www.intuitiveaerial.com](http://www.intuitiveaerial.com)

operadores utilizaram um sistema com visão e áudio estereoscópico e 13 dos 18 operadores preferiram o sistema de telepresença imersivo (Figura 2.9) em oposição aos utilizados hoje em dia com câmeras e monitores comuns. Isso indica o potencial benefício da telepresença imersiva também em operações militares.



Figura 2.9 – Sistema imersivo e o UGV usado nas experiências em Elliot et al., 2012

O sistema desenvolvido no presente trabalho relaciona-se com os citados acima porque também tem o objetivo de dar a sensação ao usuário, com um HMD, de que ele se encontra em outro ambiente. No entanto, diferentemente da maioria dos trabalhos citados, o presente projeto não foi desenvolvido para uma aplicação específica. O objetivo do trabalho foi o desenvolvimento de um sistema simples e barato, com o qual pudéssemos fazer avaliações sobre a importância do recurso de estereoscopia e rotação da cabeça remota na telepresença imersiva.

### 3 Solução Proposta

Para a criação de uma ferramenta de telepresença imersiva a solução proposta é trazer para o ambiente real a imersão atingida pelos HMDs em ambientes virtuais. A imersão em ambientes virtuais, atualmente, é feita com HMDs. Estes equipamentos, além de permitirem a visualização de imagens em 3D, possuem sensores capazes de rastrear a posição e orientação da cabeça do usuário. De posse dessas informações, um software é capaz de transladar e rotacionar uma câmera virtual em um mundo virtual imitando os movimentos reais do usuário, conseqüentemente, este sente-se mais imerso do que se a câmera estivesse parada ou se ele a movimentasse com controles comuns. Segundo Sutherland, a variação que ocorre na imagem quando o usuário move sua cabeça deve alternar exatamente do mesmo modo que a imagem de um verdadeiro objeto mudaria para movimentos semelhantes do usuário. Ela é mais importante para a imersão do que a própria apresentação estereoscópica (Sutherland, 1968).

Nossa solução propõem a criação de um equipamento, para ser utilizado juntamente com um HMD, capaz de filmar em 3D, e girar esta câmera imitando os movimentos do usuário. A solução proposta é dividida em dois módulos:

- Módulo do operador: responsável por exibir para o operador em 3D imagens do ambiente remoto em tempo real, capturar movimentos de rotação da cabeça do operador e enviá-los para o módulo da cabeça remota.
- Módulo da cabeça remota: responsável pela captura de imagens em 3D e enviá-las para o módulo do operador, ao mesmo tempo em que recebe rotações da cabeça do operador e gira a câmera estéreo com as rotações recebidas.

### 3.1 Módulo do Operador

O hardware do módulo do operador consiste em um HMD, usamos o Oculus Rift DK1 (Figura 3.1). Este é um dispositivo usado na cabeça do usuário, que tem uma tela na frente dos olhos que exibe duas imagens lado a lado, uma para cada olho. Um par de lentes ópticas é colocado no topo da tela para possibilitar o foco nas imagens tão de perto e cobrindo todo o campo de visão do portador. As imagens exibidas são muito semelhantes, mas que têm diferentes perspectivas e assim é possível a visualização de uma imagem 3D.



Figura 3.1 - Oculus Rift DK1

O Oculus Rift DK1 possui as seguintes configurações:

- A resolução total da tela é 1280 x 800, mas como é dividida, então a resolução fica 640 x 800 por olho;
- O tamanho total da tela na horizontal é de ~17,78 cm (7 inches);
- O tempo de persistência é aproximadamente (*persistence*) 3ms;
- O tempo de atualização de dados (*refresh rate*) é 60Hz;
- O campo de visão (*field of view*) nominal é 110°.

Os óculos têm incorporado 3 sensores que monitoram movimentos da cabeça do utilizador:

- O magnetômetro, que mede campos magnéticos, e assim torna possível determinar a orientação absoluta;
- O acelerômetro, que mede acelerações, e é útil para medir alterações na velocidade;

- O giroscópio, que mede mudanças de orientação ou mudanças na velocidade de rotação (giro taxa).

A razão pela qual estes sensores são combinados é porque o magnetômetro tem pouca precisão quando movimentado rápido e o giroscópio requer uma orientação conhecida no início, mas reage com alta precisão a alterações; porém acumula erro ao longo do tempo. Dessa forma é possível rastrear as rotações da cabeça nos eixos X, Y e Z, como mostrado na Figura 3.2.

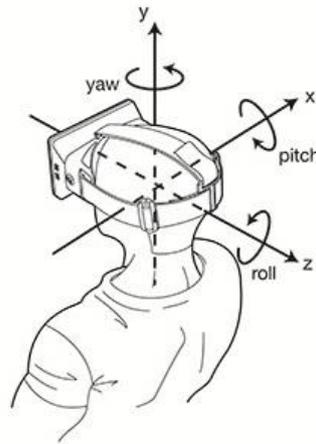


Figura 3.2 - Eixos de rotação

O software deste módulo precisa continuamente receber um par de imagens do módulo da cabeça remota, enviá-las para o Rift, ao mesmo tempo que consulta a orientação dele e envia para a cabeça remota. A implementação será detalhada no Capítulo 4.

### 3.2 Módulo da Cabeça Remota

A cabeça remota (CR) é o módulo mais complexo porque é a junção de três equipamentos eletrônicos. Alguns deles ficaram limitados pela falta de produtos no mercado brasileiro e do custo ou demora na importação de melhores equipamentos do exterior.

A cabeça remota possui os seguintes equipamentos e serão detalhados em seguida:

- uma câmera: DUO MLX, da DUO 3D<sup>11</sup>;
- uma placa StartUSB for PIC, da MikroElektronika<sup>12</sup>;
- dois mini servo motores ES9258, da EMAX<sup>13</sup>.

A câmera DUO MLX (Figura 3.3) é uma câmera binocular que permite filmar em estéreo e é bem compacta, de dimensões 52 x 25.4 x 13.3 milímetros e peso 12,5 gramas. Possui uma taxa de quadros por segundo (*frames per second - fps*) boa, como mostrado na Tabela 1, de acordo com a resolução das imagens. O único ponto negativo é que as imagens são monocromáticas.

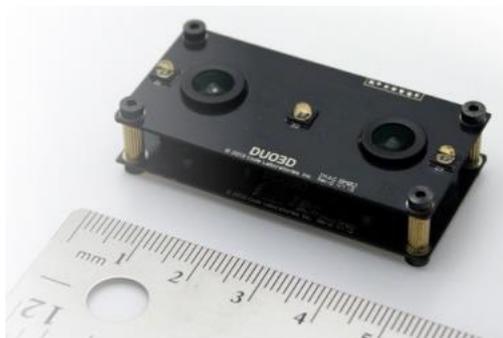


Figura 3.3 - DUO MLX

<b>FPS</b> ( <i>Frames per second</i> )	<b>Resolução</b>
56	752 x 480
62	640 x 480
123	640 x 240
240	640 x 120
93	320 x 480

<sup>11</sup> [www.duo3d.com](http://www.duo3d.com)

<sup>12</sup> [www.mikroe.com](http://www.mikroe.com)

<sup>13</sup> [www.emaxmodel.com](http://www.emaxmodel.com)

184	320 x 240
360	320 x 120

Tabela 1 – FPS x Resolução da DUO MLX

A placa StartUSB for PIC, da MikroElektronika (Figura 3.4) é uma placa com componentes eletrônicos voltada para o desenvolvimento de sistemas embarcados. Ela possui um microcontrolador e os componentes eletrônicos necessários para a comunicação do microcontrolador com um computador via USB.

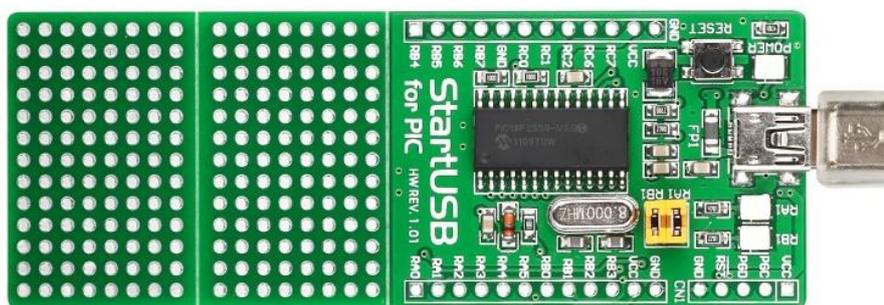


Figura 3.4 - StartUSB for PIC

Microcontroladores são sistemas computacionais completos. Eles possuem internamente uma CPU (*Central Processor Unit*), memórias RAM (dados), flash (programa) e E2PROM, pinos de I/O (*Input/Output*), além de outros periféricos internos, tais como, osciladores, canal USB, interface serial assíncrona USART, módulos de temporização e conversores A/D, entre outros, integrados em um mesmo componente (chip). O que o circuito do microcontrolador vai apresentar nas saídas depende do sinal aplicado nas entradas e do programa que está gravado em sua memória interna. O que diferencia os diversos tipos de microcontroladores é a sua capacidade de memória, a arquitetura, a velocidade e a alimentação. A Microchip Technology Inc.<sup>14</sup> possui uma linha muito popular de microcontroladores denominada PIC (*Peripheral Interface Controller*).

A placa StartUSB for PIC já vem com o microcontrolador PIC18F2550, ideal para o controle integrado e monitoramento de aplicações que requerem conexão periódica com um computador pessoal via USB para transferência de dados.

<sup>14</sup> [www.microchip.com](http://www.microchip.com)

Essa placa também vem com um oscilador de cristal de 8,0 MHz, um circuito de *reset*, um LED para indicar se a placa está sendo alimentada, dois outros LEDs conectados aos pinos RA1 e RB1 do PIC através de *jumpers* e, principalmente, um conector miniUSB fêmea e o circuito necessário para a transferência de dados. É importante observar que o conector USB está ligado aos pinos RC4 e RC5, que serão os pinos de entrada, e os pinos: RA0 até RA5, RB0 até RB7, RC0, RC1, RC2, RC6 e RC7 estão ligados a um barramento e podem ser configurados como pinos de entrada ou saída. O circuito da placa pode ser visto na Figura 3.5.

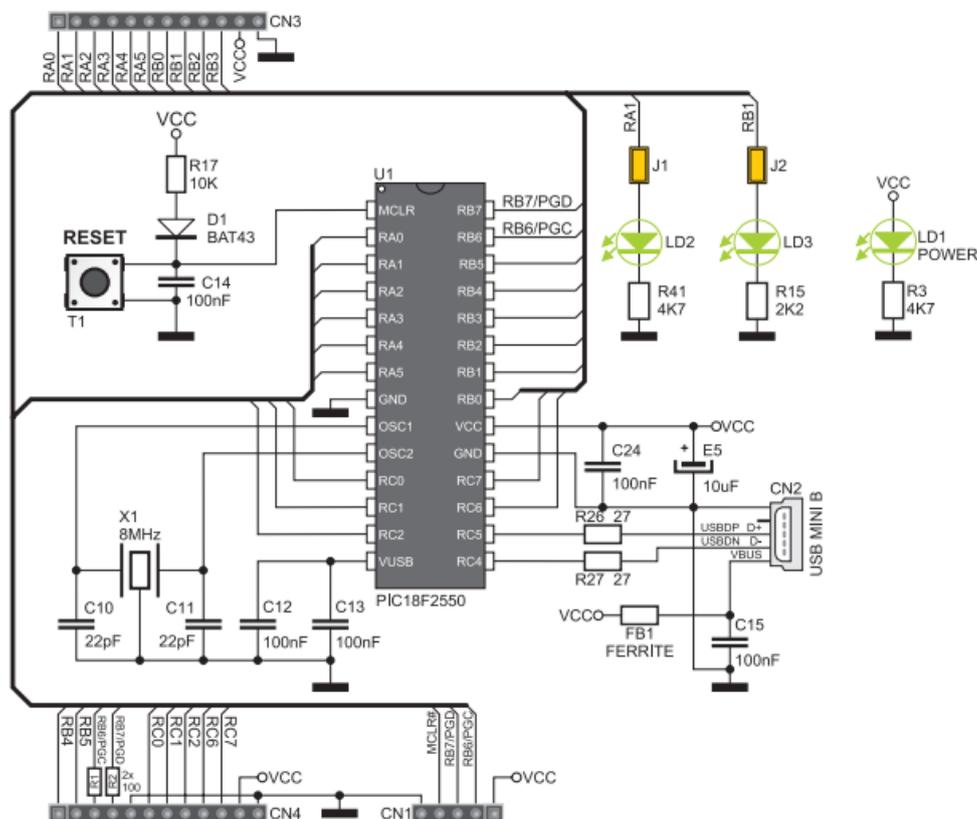


Figura 3.5 - Circuito da placa StartUSB for PIC, da MikroElektronika

O servo motor é um dispositivo eletromecânico que apresenta movimento proporcional a um comando. Sua característica principal é a capacidade de movimentar o seu braço até uma posição e mantê-lo, mesmo quando sofre uma força em outra direção. Em contraste com os motores contínuos que giram indefinidamente, o eixo dos servo motores possui uma faixa de rotação que varia de acordo com o modelo mas são precisos quanto à sua posição. Uma alternativa para se obter maior robustez é utilizar engrenagens de metal.

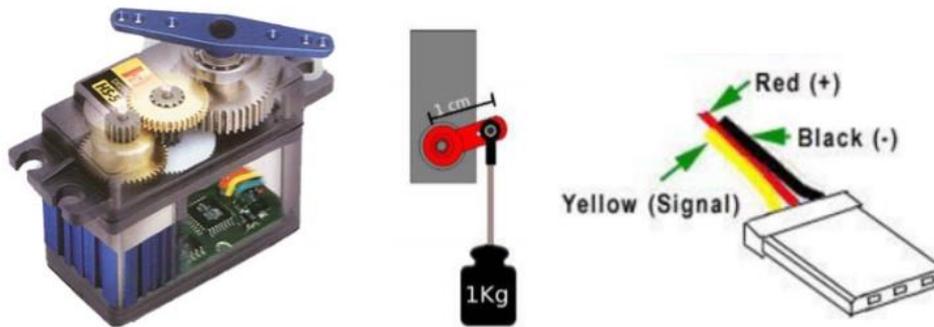


Figura 3.6 – Um servo motor genérico, como é feita a medição do torque e sua fiação.

O servo motor é alimentado com tensão de 5 V e recebe um sinal no formato PWM (*Pulse Width Modulation*). Este sinal é 0 V ou 5 V. O circuito de controle do servo fica monitorando este sinal em intervalos definidos que variam de acordo com o modelo. Se neste intervalo de tempo, o controle detecta uma alteração na largura do sinal, ele altera a posição do eixo para que a sua posição coincida com o sinal recebido. O torque é uma das principais características do servo motor. Mede-se o torque em kg-cm (quilograma por centímetro), como pode ser visto no centro da Figura 3.6. Os fabricantes de servos obedecem um padrão onde sinal é enviado pelo fio amarelo.



Figura 3.7 – Servo motor ES9258

Foram comprados 2 servo motores do modelo ES9258 da EMAX (Figura 3.7) que embora tenha bom torque e velocidade para girar a câmera DUO MLX, tem uma faixa de rotação de apenas 60°. Essas são suas especificações:

- Torque: 3.00 kg-cm

- Velocidade: 0.05 seg/60°
- Peso: 26.9 g
- Faixa de rotação: 60°
- Ciclo do pulso: 3 ms
- Comprimento do pulso: 1520 us
- Dimensões: 35.0 x 30.1 x 14.9 mm.

Estes três equipamentos juntos formam a Cabeça Remota (CR). Com apenas 2 servo motores optamos por girar a cabeça remota apenas nos eixos X e Y, excluindo o giro no eixo Z (vide Figura 3.2), a inserção de mais um servo motor, futuramente, permitirá o giro no eixo Z sem grandes mudanças na implementação do software. Como os servo motores possuem faixa de rotação de 60°, quando o usuário gira sua cabeça até uma posição que o servo motor não consegue chegar, este se mantém na posição máxima e o giro adicional é armazenado em uma variável. Quando o usuário gira a cabeça de volta a variável vai decrementando seu valor até que o usuário chegue novamente na área de giro do motor; dessa forma o giro da CR fica sempre coerente em relação ao giro da cabeça do usuário. Foi necessário ainda usar uma fonte externa de 5V que também foi usada de base para prender a placa e os motores. O suporte da câmera é bem simples: um dos motores segura a câmera e o outro motor segura a base do primeiro motor, a CR pode ser vista na Figura 3.8 e um diagrama dos módulos é mostrado na Figura 3.9.

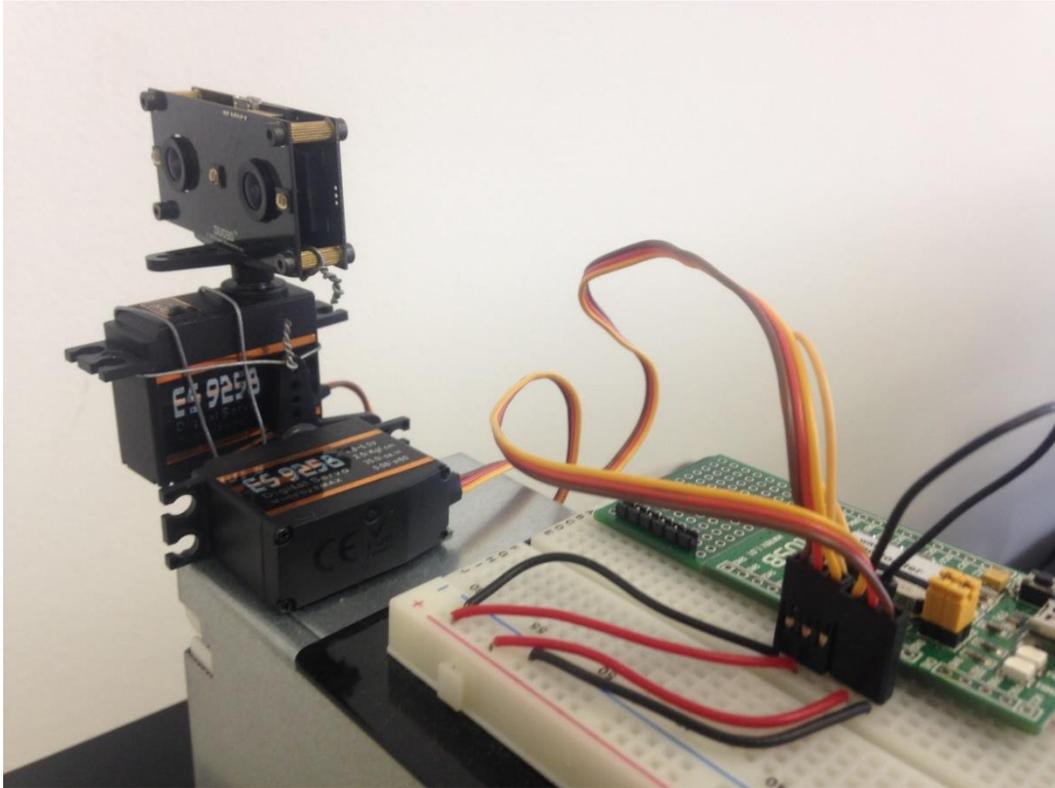


Figura 3.8 – Cabeça Remota

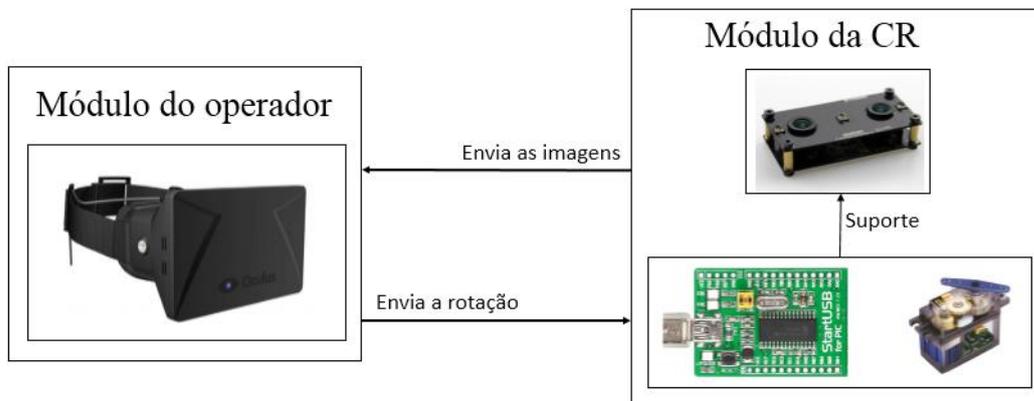


Figura 3.9 – Diagrama dos módulos

## 4 Implementação

Este capítulo demonstra como cada equipamento eletrônico apresentado na seção anterior foi programado e a integração entre eles. O sistema desenvolvido foi nomeado de CR&OR, siglas de Cabeça Remota & Oculus Rift. Visando uma implementação modularizada capaz de manipular e testar cada equipamento eletrônico de forma independente, foram implementados cinco componentes. A Figura 4.1 mostra a integração dos componentes com os módulos.

- CameraDUODll – componente responsável pela comunicação com a câmera DUO MLX, armazenamento das imagens e disponibilização dessas imagens através de uma interface.
- Visualizador – componente que recebe as imagens e as reproduz no Oculus Rift.
- RiftSensor – componente responsável pela captura dos movimentos da cabeça do usuário, ou seja, monitora os sensores do Oculus Rift e responsável pelo envio das rotações para o componente CommWithPic.

A comunicação com o microcontrolador é dividida em duas partes, o software executado em um computador e o programa gravado no microcontrolador:

- CommWithPic – componente responsável pelo recebimento e envio das rotações para o microcontrolador.
- Hex – componente responsável pelo recebimento das rotações e atuador nos servo motores (programa executado no microcontrolador).

A iniciação do sistema é feita da seguinte forma: primeiro conecta-se os dispositivos ao computador: a placa “StartUSB for PIC”, a câmera DUO e o Oculus Rift (este também é ligado à tomada), desta forma o módulo Hex será iniciado automaticamente (por estar no microcontrolador da placa). Em seguida o

módulo CommWithPic deve ser executado, depois inicia-se o RiftSensor e por fim executa-se o Visualizador que, automaticamente, irá utilizar-se do módulo CameraDUODII. Desta forma cria-se o ciclo de execução exibido na Figura 4.1.

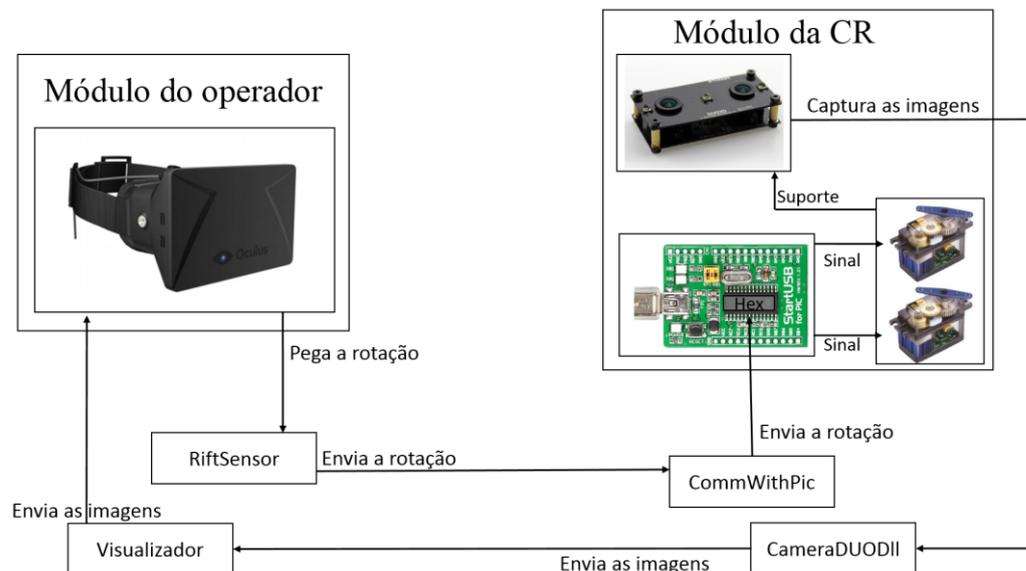


Figura 4.1 – Diagrama dos módulos e componentes

Na implementação distribuída, Figura 4.2, os componentes CameraDUODII, CommWithPic e Hex fazem parte do servidor do sistema CR&OR e o cliente é composto pelos componentes Visualizador e Rift Sensor. Dessa forma o servidor provê as imagens do ambiente remoto para o cliente. Duas implementações distribuídas foram testadas, porém a latência da transmissão das imagens ficou alta, o que inviabilizava o uso do sistema para uma atividade em tempo real. Essas duas implementações serão explicadas no final deste capítulo e uma proposta de solução é apresentada. Por conta do problema da latência, implementamos o sistema CR&OR localmente. Para que o operador com o Oculus Rift e a Cabeça Remota ficassem em ambientes diferentes foram usados dois cabos extensores do tipo USB e HDMI (*High-Definition Multimedia Interface*) de 10 metros que são os cabos necessários para o funcionamento do Oculus Rift, conforme é mostrado no Capítulo 5.

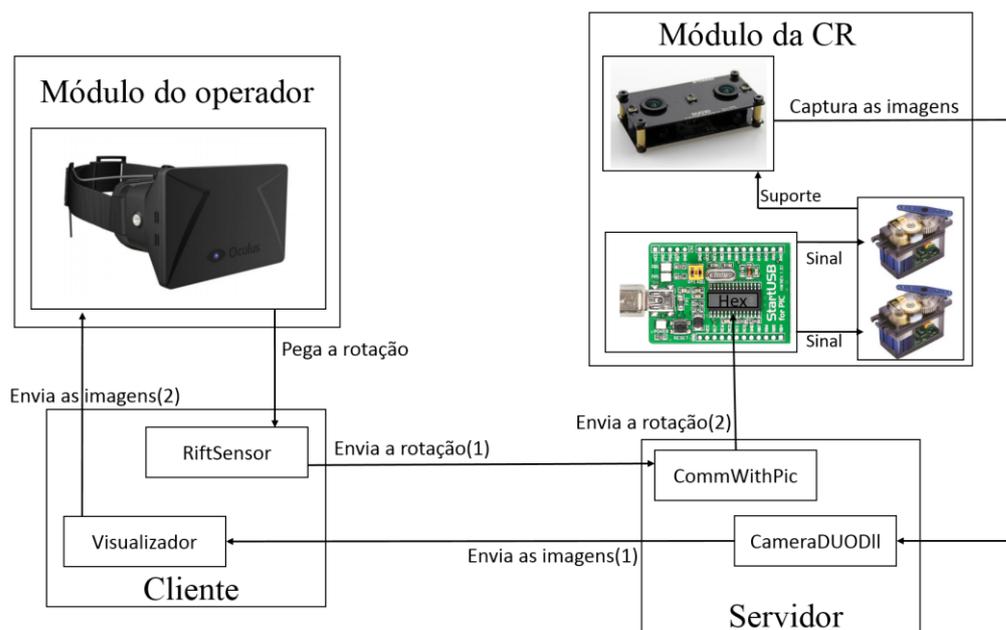


Figura 4.2 – Diagrama distribuído dos módulos e componentes

#### 4.1 Módulos e Componentes do Sistema

O componente CameraDUODII faz a comunicação com a câmera DUO MLX que é feita através de sua API (*Application Programming Interface*) disponibilizada junto com o SDK (*Software Development Kit*) no site do desenvolvedor. Nela ficam todas as funções necessárias para manipular este hardware: a função de inicialização, de início de captura das imagens, de registro da função de call-back, de encerramento do uso do hardware, entre outras. Dessa forma este componente comunica-se com a câmera e armazena as imagens capturadas. Ele foi implementado na linguagem C++, compilado no Visual Studio 2013 como uma DLL (*dynamic-link library*) e assim é importado pelo componente do Visualizador quando executado localmente. A Figura 4.3 mostra seu diagrama. A classe Log é usada como controle para registrar em um arquivo de texto todas as ações executadas e possíveis erros.

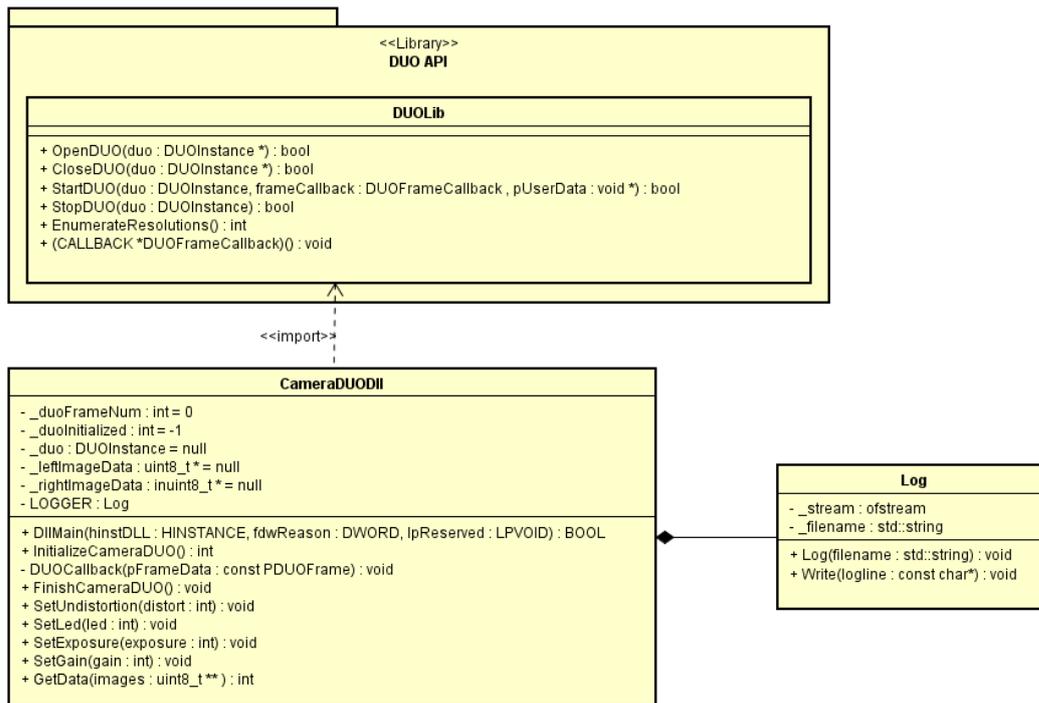


Figura 4.3 – Diagrama de Classes da CameraDUODll

Através da LibOVR<sup>15</sup>, API do Oculus Rift disponibilizada para desenvolvedores, o componente RiftSensor monitora os sensores dos óculos, também escrito na linguagem C++ e compilado no Visual Studio 2013. A Figura 4.4 mostra seu diagrama de classes. Além da comunicação com o dispositivo, este componente faz um controle baseado na rotação inicial e na rotação corrente da cabeça do operador, dessa forma, a todo instante ele verifica se houve mudança na rotação corrente, de quanto foi a rotação, em quais eixos e por fim também faz a comunicação com o outro componente o CommWithPic. Na implementação local a comunicação é feita através de um método chamado *NamedPipe*. Este método de comunicação permite que dois ou mais processos comuniquem-se usando o sistema FIFO (*First In, First Out*) para transferência dos dados. Dessa forma a implementação local não fica muito diferente da implementação distribuída porque as informações trocadas entre os processos são exatamente as mesmas, a única diferença é a comunicação que ao invés de ser o *NamedPipe* é usado *Sockets* na implementação distribuída.

<sup>15</sup> [developer.oculus.com](http://developer.oculus.com)

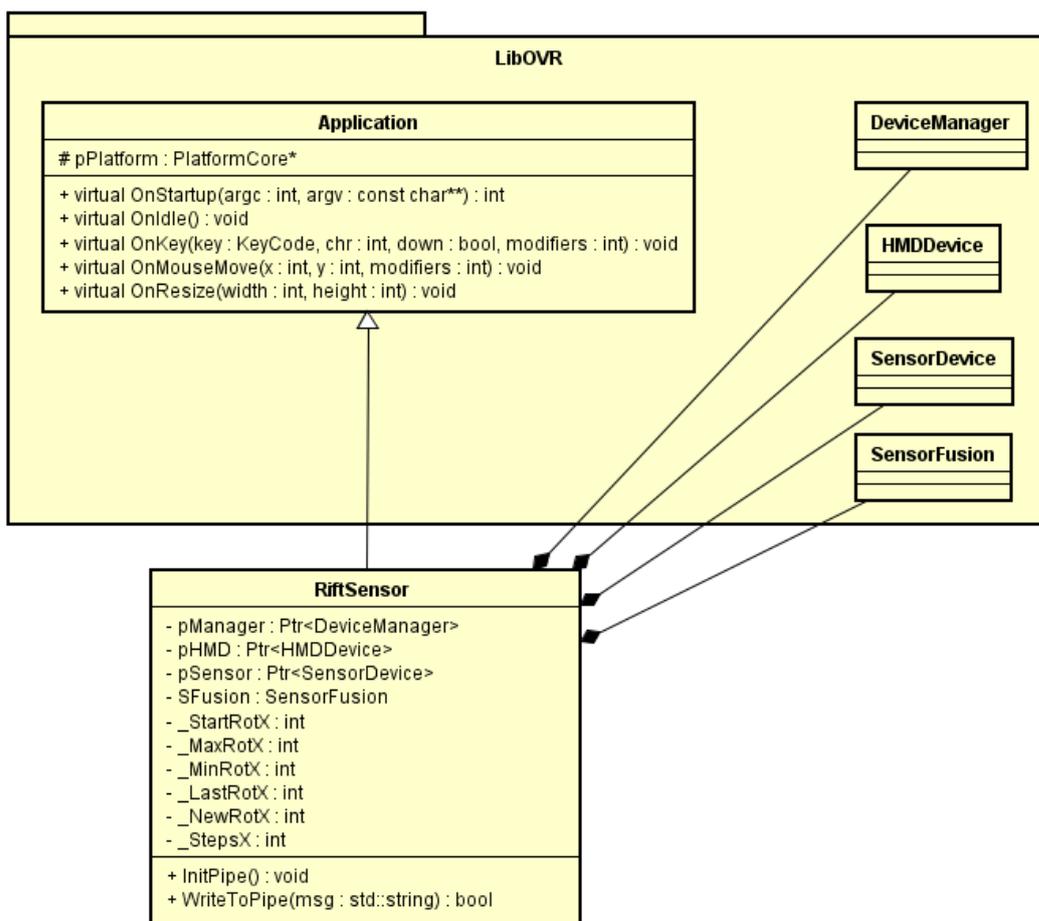


Figura 4.4 – Diagrama de Classes do RiftSensor

O componente CommWithPic foi escrito na linguagem C# e compilado usando o MonoDevelop 4. Seu diagrama de classes é mostrado na Figura 4.5. Ele recebe informações de quanto cada motor deve girar e em qual direção e repassa essas informações para o componente Hex (programa gravado no microcontrolador) através da porta USB do computador. Na implementação local ele cria um servidor *NamedPipe* por onde recebe as informações do RiftSensor. Utiliza a biblioteca *LibUsbDotNet*<sup>16</sup>, uma biblioteca USB de .NET C# que possui as classes básicas, para comunicação com um dispositivo USB genérico.

<sup>16</sup> <http://libusbdotnet.sourceforge.net>

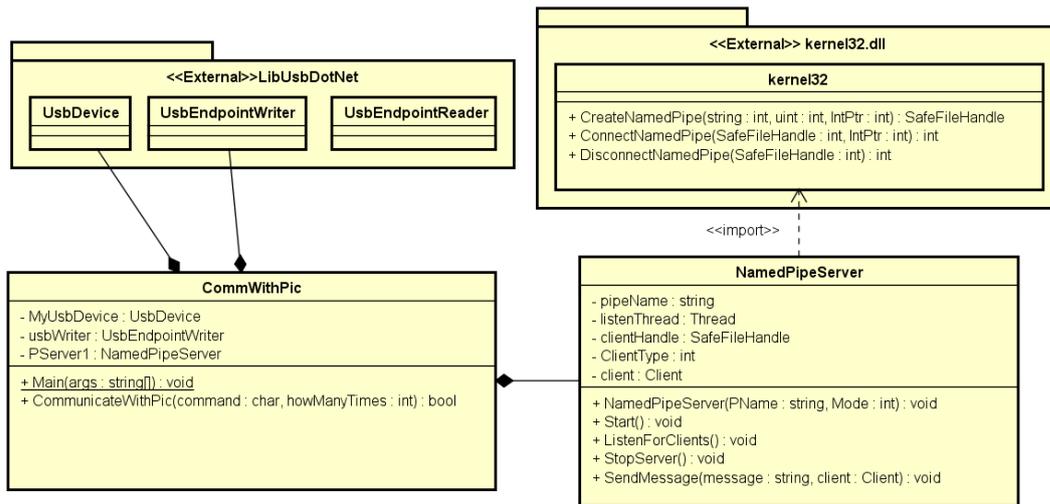


Figura 4.5 – Diagrama de Classes do CommWithPic

O componente Hex é o programa desenvolvido para o microcontrolador PIC18F2550 da placa StartUSB for PIC, ele foi escrito na linguagem C e compilado no mikroC™ Pro. Este componente ao ser compilado gera um arquivo com extensão .hex que é gravado e executado no microcontrolador. A comunicação USB utiliza o protocolo HID (*Human Interface Device*)<sup>17</sup>. Assim o dispositivo USB é reconhecido automaticamente pelo sistema operacional (Windows ou linux) como um HID, não sendo necessário a instalação de drivers para a aplicação. O arquivo “*HID descriptor*”, que foi compilado junto com o programa e transferido para o microcontrolador, contém todas as informações que o computador precisa saber com relação ao dispositivo. Essas informações são: quantos pacotes o dispositivo suporta, quão grande podem ser os pacotes, a finalidade de cada bit e byte do pacote, *Vendor ID*, *Product ID*, *Manufacture name*, entre outros. A comunicação então acontece pelas funções disponibilizadas pela biblioteca USB HID, um pseudocódigo da execução deste componente é apresentado abaixo:

<sup>17</sup> <http://www.usb.org/developers/hidpage/>

**Início**

Configura portas de I/O do PIC

Desabilita comparadores e funções de conversão A/D do PIC

Inicializa variáveis de controle dos servo motores

Inicializa HID – HID\_Enable()

Loop infinito

```
{
    Se ( HID_Read( ) != 0 )
    {
        Lê dados recebidos, e atualiza as variáveis de controle dos servos
    }
    Sinal PWM na porta RB3 para o servo 1
    Sinal PWM na porta RB4 para o servo 2
}
```

**Fim**

Dessa forma os servomotores, que estão conectados nas portas RB3 e RB4 do microcontrolador, são alimentados com os sinais PWM de acordo com as informações recebidas pelo USB.

O componente Visualizador é responsável pelo recebimento e transmissão das imagens no Oculus Rift. Este componente foi desenvolvido no Unity3D<sup>18</sup>, ferramenta de desenvolvimento de jogos que possui integração com a biblioteca do Oculus Rift, a LibOVR. O Unity possui o conceito de cena onde objetos virtuais são inseridos e posicionados na cena. Um desses objetos virtuais disponíveis é a Câmera; através dele o usuário vê a cena virtual do ponto de vista daquela câmera. O pacote de integração da LibOVR com o Unity, contém o objeto (*prefab*) OVRCameraController, que permite configurar com facilidade alguns parâmetros importantes que podem variar entre diferentes usuários, como a distância interpupilar (IDP - *Interpupillary distance*), o FOV vertical, entre outros parâmetros. Este objeto possui dois objetos filhos que são câmeras virtuais, cada uma dessas câmeras gera uma imagem da cena e a transmite no visor do HMD para cada olho separadamente. Além do OVRCameraController, foram inseridos na cena dois planos posicionados em frente a cada uma das duas câmeras. Na implementação local, um script importa o componente CameraDUODll, inicializa a câmera real DUO MLX da Cabeça Remota e recebe, a todo quadro, novas

---

<sup>18</sup> <http://unity3d.com>

imagens e exibe-as nos planos em frente às câmeras virtuais. A Figura 4.6 mostra a configuração da cena.

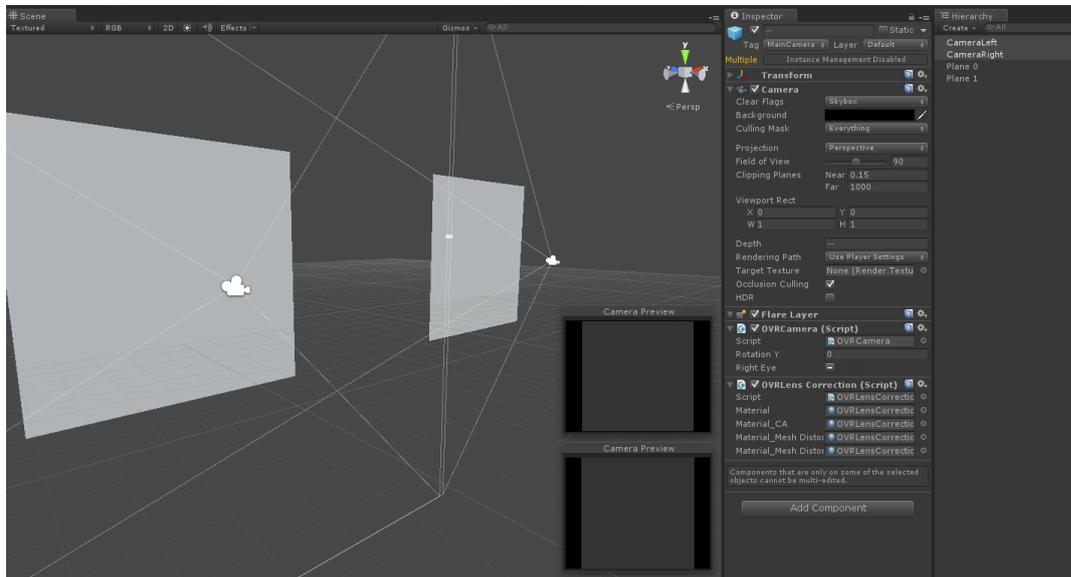


Figura 4.6 – Cena do Unity3D que transmite imagens para o Oculus Rift

A Figura 4.7 mostra um diagrama da implementação local com a integração de todos os componentes. No Capítulo 5, apresentamos os testes feitos com usuários usando esta implementação.

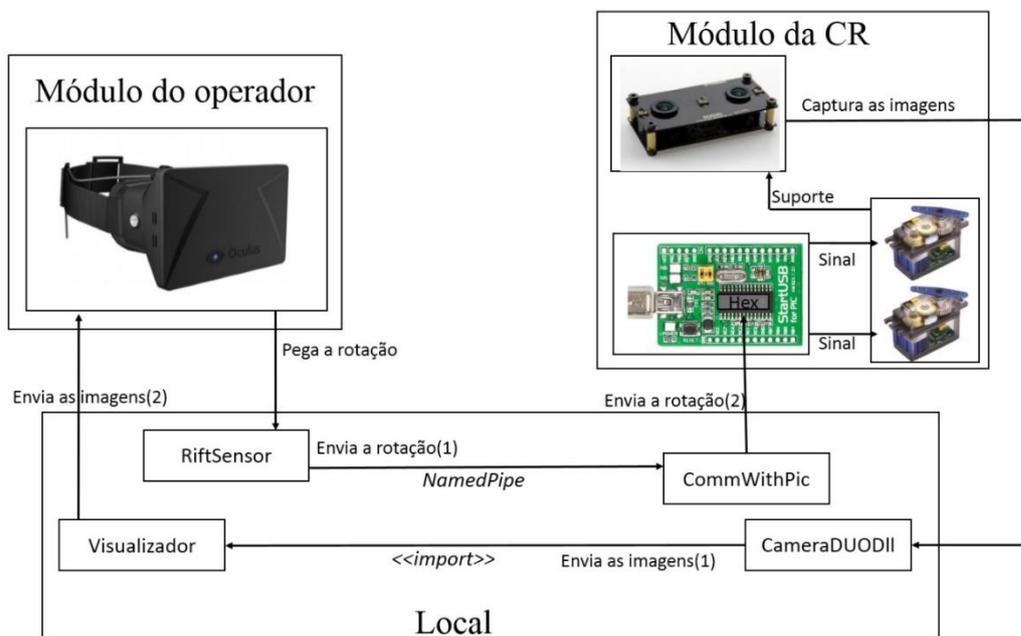


Figura 4.7 – Diagrama da Implementação Local

A Figura 4.8 mostra o sistema CR&OR local em funcionamento. O monitor ao fundo exibe as imagens que o operador está assistindo com o Oculus Rift DK1. A

cabeça remota, que se encontra ao lado do operador, é movimentada seguindo os movimentos da cabeça do operador.

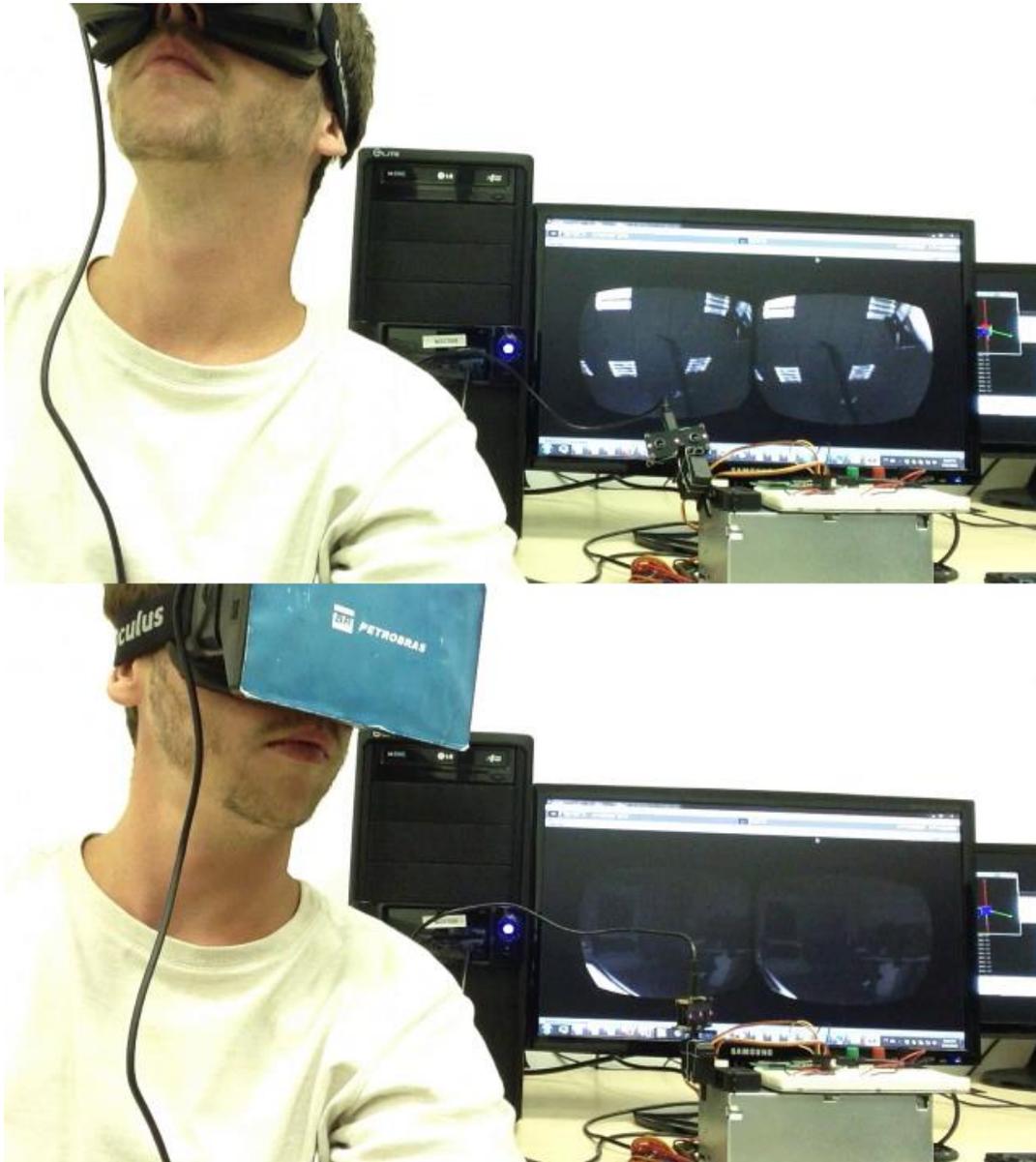


Figura 4.8 – A Ferramenta de Telepreença CR&OR

## 4.2 Implementações distribuídas

Duas implementações distribuídas foram testadas: a primeira implementação utilizava os mecanismos do Unity3D e a segunda implementação utilizava a API de sockets do Windows (Windows Sockets API - WSA).

A implementação usando os mecanismos do Unity3D consistia em utilizar os componentes *NetworkView* e *BitStream* (da biblioteca *UnityEngine*) para a transmissão das imagens. Através deles define-se quais objetos devem ser serializados para a transmissão. A classe *BitStream* possui o método *Serialize* que pode receber como parâmetro todos os tipos básicos (*bool*, *char*, *short*, *int*, *float*) ou alguma das classes básicas do Unity como *Vector3*, *Quaternion*, *NetworkPlayer* ou *NetworkViewID*. Porém não é permitida a serialização de vetores de nenhum tipo e nem de *strings*. Por conta dessas limitações era necessário serializar cada *float* (que representa um pixel de uma imagem monocromática) separadamente, então a cada quadro eram serializados no mínimo 76800 floats. Usando a menor resolução da câmera DUO MLX de 320 x 120 resulta em uma imagem de 38400 pixels, como são duas imagens chegamos a um total de 76800 pixels. O tempo de latência da transmissão das imagens ficou muito alto, cerca de 10 segundos, o que inviabilizava o uso dessa implementação. Uma tentativa de reduzir o tempo da latência dessa implementação foi através do uso da classe *Vector3*, que é uma classe do Unity composta por 3 floats (*x*, *y*, *z*). Dessa forma a quantidade de objetos serializados foi reduzida para 25600 objetos do tipo *Vector3*, porém há um esforço computacional maior tanto no envio quanto no recebimento. Com isso o tempo de latência reduziu para cerca de 7 segundos, o que ainda é muito alto.

A outra implementação testada para envio das imagens foi criando um programa em C++ que utilizava sockets TCP (*Transport Control Protocol*). O protocolo TCP implementa um canal confiável de transmissão de dados que são fragmentados em segmentos. Este protocolo garante a entrega de todos os segmentos, sem duplicidade e na ordem que foi enviada. Dessa forma este programa, o servidor, criava um canal com o cliente, na máquina do operador, e enviava o par de imagens capturado pela câmera. Assim o Visualizador recebia as imagens do programa cliente. A latência nessa implementação melhorou com relação à anterior, porém se manteve alta, cerca de 5 segundos.

Como nenhuma dessas implementações distribuídas resultaram em um tempo de latência satisfatório, optamos por fazer a avaliação da ferramenta com a

implementação local, visto que do ponto de vista da experiência do usuário, isso não faria muita diferença.

No entanto, deixamos como trabalho futuro a criação de um sistema com envio dessas imagens em tempo real usando outro tipo de protocolo de conexão, o protocolo UDP (*User Datagram Protocol*). Em oposição ao TCP, o UDP não garante a entrega dos dados; pode entregar dados duplicados e não garante a ordem correta de chegada. Por conta dessas características a transmissão é mais rápida. Para o nosso caso, uma videoconferência, a perda de alguns dados com pouca frequência não atrapalha se o tempo de latência for pequeno, já que logo após algum dado perdido outro correto vai chegar. Por isso, após as duas experiências de implementação distribuídas, acreditamos que a implementação por UDP deve ser a mais apropriada para um sistema distribuído.

## 5 Avaliação da Ferramenta

Neste capítulo é apresentada a avaliação da ferramenta de telepresença CR&OR. A avaliação foi feita baseando-se nas respostas dos usuários por meio da aplicação de dois questionários após a utilização da ferramenta em um cenário mimetizando uma videoconferência, que englobava um teste de estereoscopia. Esse experimento teve como objetivo avaliar a sensação de presença dos usuários no ambiente remoto, bem como verificar se a ferramenta CR&OR de telepresença imersiva traz benefícios ao utilizador quando se trata de videoconferências.

### 5.1 Cenário de Teste

Doze usuários foram convidados a participar do projeto, voluntariamente, após assinatura do Termo de Consentimento e preenchimento de um pequeno questionário para traçar o perfil do usuário (Apêndice A). O cenário de teste foi composto pelo participante em um ambiente com o HMD enquanto o avaliador encontrava-se em outra sala diante da cabeça remota (CR) e com o modelo físico (MF) usado no teste de estereoscopia (Figuras 5.1 e 5.2), ligados por dois cabos extensores de 10 metros do tipo USB e HDMI (Figura 5.3).

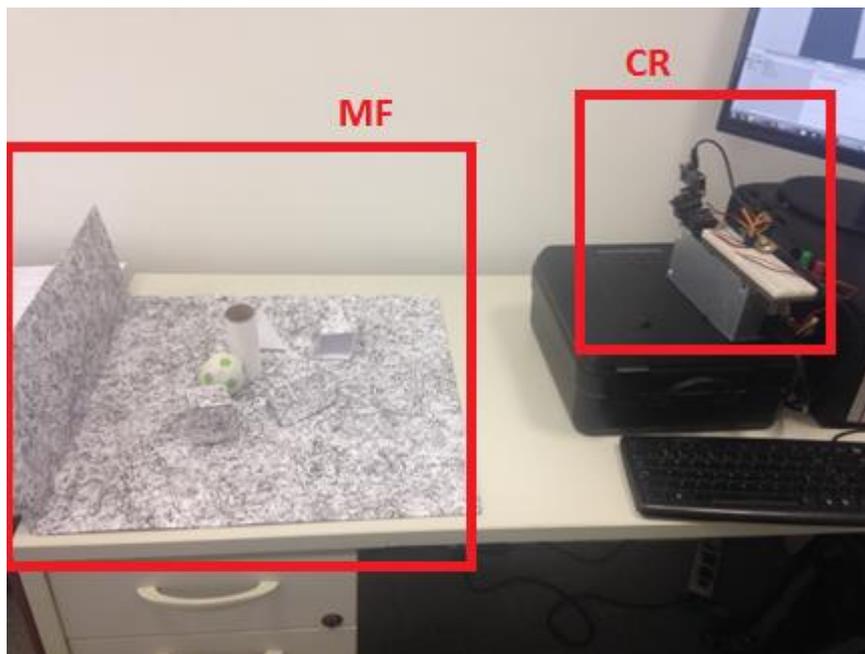


Figura 5.1 – Cabeça Remota(CR) e Modelo físico(MF) no ambiente do avaliador

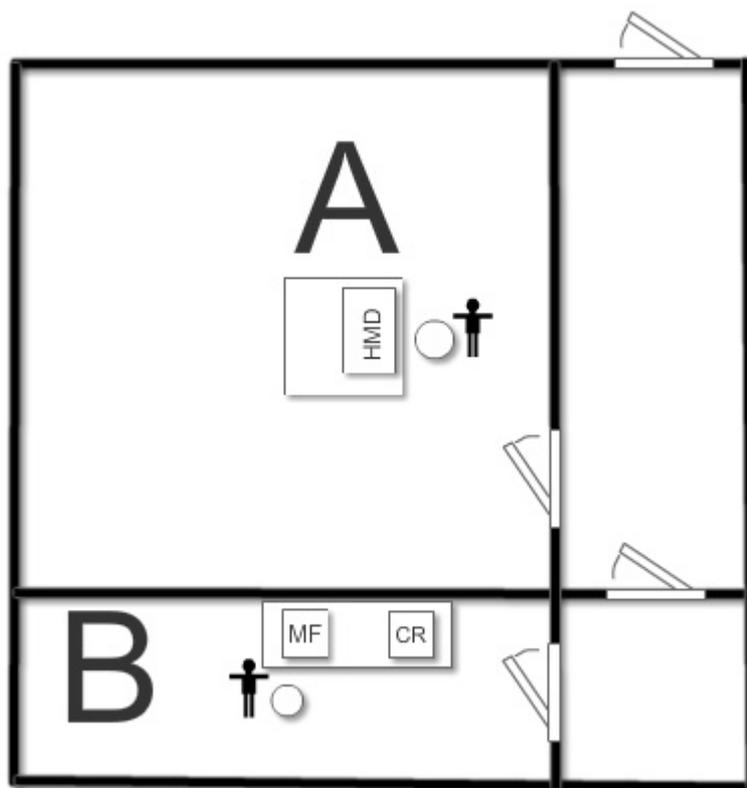


Figura 5.2 – Cenário de teste; A: ambiente dos participantes; B: ambiente do avaliador



Figura 5.3 – Extensor de 10 metros HDMI e USB

Para que o ambiente de uma videoconferência fosse inteiramente recriado (com imagem e som) além do sistema CR&OR foi necessária a utilização de um sistema para transmissão de áudio, como Skype<sup>19</sup>, ligação via WhatsApp<sup>20</sup> ou ligação telefônica. Dessa forma, foi possível que o usuário interagisse com o avaliador.

O modelo físico utilizado consiste em uma maquete com seis formas geométricas, três delas brancas e três com a mesma textura do fundo (Figura 5.1). O teste de estereoscopia, por sua vez, apresentou três layouts distintos do modelo físico ao participante, que diferiam nas posições dessas formas geométricas. O teste também contou com três modos de utilização da cabeça remota:

- Com visão estereoscópica e sem rotação da câmera (3D sRot);
- Sem visão estereoscópica e com rotação da câmera (2D cRot);
- Com visão estereoscópica e com rotação da câmera (3D cRot).

A Tabela 2 mostra como ficou definido o modo de utilização da cabeça remota em cada um dos layouts para cada participante.

Número do participante	Ordem dos layouts (modo da CR)
1,4, 7, 10	A (3D sRot), B (2D cRot), C (3D cRot)
2, 5, 8, 11	A (3D cRot), B (3D sRot), C (2D cRot)
3, 6, 9, 12	A (2D cRot), B (3D cRot), C (3D sRot)

Tabela 2 – Ordem de execução dos testes para cada participante

<sup>19</sup> [www.skype.com](http://www.skype.com)

<sup>20</sup> [www.whatsapp.com](http://www.whatsapp.com)

Inicialmente, um tempo do teste foi dispensado para o usuário acomodar-se com o equipamento. Em seguida, o avaliador exibiu um dos layouts com um dos modos de operação da cabeça remota acima citados, iniciando o teste de estereoscopia. O usuário foi questionado em relação à quantidade de formas geométricas e a posição ocupada por elas na maquete, avaliado assim a profundidade dos objetos (do mais perto para o mais longe) enquanto o avaliador anotava as respostas. Este procedimento foi repetido até que os três modos fossem experimentados pelo usuário. Por fim, o usuário respondeu a dois questionários: ao Questionário Experimental (Apêndice B) e ao “*Igroup Presence Questionnaire - IPQ*<sup>21</sup>” (Apêndice C).

## 5.2 Metodologia de Avaliação

O uso de questionários é uma forma bastante utilizada para medição de presença, que permite adquirir dados a respeito da experiência do usuário, tendo em vista que é composto por um conjunto de perguntas direcionadas. Além disso, possui baixo custo, fácil aplicabilidade e não interrompe a experiência do usuário, pois permite a análise e interpretação dos dados em um segundo momento pelo avaliador. Uma desvantagem é que, por serem aplicados posteriormente, dependem da capacidade de memorização dos participantes que está sujeita ao esquecimento de detalhes vivenciados no momento da experiência. Para atenuar esse efeito, fizemos as perguntas do Questionário Experimental durante o experimento, desta forma a experiência se torna ainda mais parecida com uma videoconferência real.

O Questionário Experimental (Tabela 3; Apêndice B) foi desenvolvido especificamente para este cenário de teste. Ele apresenta perguntas sobre o modelo físico, forçando o usuário a olhar para o modelo e para o avaliador, desta forma testando os mecanismos de rotação. Este questionário também foi composto por perguntas que visam obter as impressões do usuário ao utilizar o CR&OR. Ele avalia questões subjetivas que variam de acordo com cada participante. Conforto, facilidade de manuseio, sincronia entre rotação da câmera

---

<sup>21</sup> [www.igroup.org/projects/ipq/](http://www.igroup.org/projects/ipq/)

e do HMD e a melhora comparativa entre a visão monocular e binocular foram os parâmetros avaliados por este questionário.

<b>Questionário Experimental</b>
<b>Perguntas Iniciais</b>
Você está se sentindo confortável com o HMD?
Você consegue movimentar a câmera da CR com facilidade?
Você consegue perceber algum atraso da imagem comparado ao som?
<b>Perguntas sobre MF (feito 3 vezes, alternado layouts e modos de operação da CR)</b>
Quantos objetos geométricos você vê nesse modelo?
Diga a ordem desses objetos de mais perto para mais longe:
<b>Perguntas finais</b>
Qual a sua impressão com relação a controlar a câmera a partir dos movimentos da sua cabeça?
A velocidade do giro da câmera acompanha a velocidade de movimentação da sua cabeça?
Após mudar da visão mono para a visão estereoscópica, o que você acha da sua noção de profundidade?
Em algum momento da experiência você se sentiu mal? (desorientação, tontura, enjoo, vista cansada ou náusea)

Tabela 3 – Questionário experimental

O questionário “*Igroup Presence Questionnaire*” (IPQ) foi o meio utilizado para mensurar o sentimento de presença do usuário no ambiente remoto. Em sua origem, o IPQ foi idealizado para avaliar o senso de presença do usuário em um ambiente virtual, como pode ser visto no artigo “*The experience of presence: Factor analytic insights*” (Schubert, 2001). Neste trabalho, o IPQ foi adaptado para avaliar o senso de presença no cenário relatado acima, um ambiente remoto real. Os termos que faziam referências ao ambiente virtual (“*virtual*”) foram substituídos por referências ao ambiente remoto (“*remote*”).

O IPQ foi criado por um grupo de pesquisadores, o *Igroup Project Consortium*, com base em questionários anteriores. Numa primeira fase 240 participantes responderam um grande número de itens em uma pesquisa on-line. Estes dados foram analisados por métodos estatísticos e reaplicados em uma segunda fase de pesquisa on-line com mais de 200 participantes. Como resultado, 14 itens foram selecionados para compor o IPQ através de uma escala de sete pontos (-3 a +3) baseado no princípio de diferencial semântico (Dyer, 1976), aplicada de forma

rápida e simples. Destes, 1 item tem uma abordagem genérica avaliando a “sensação de estar lá” enquanto os outros 13 medem três fatores (Figura 5.4):

- Presença espacial (SP – *Spatial Presence*).
- Envolvimento (INV – *Involvement*).
- Realismo experimentado (REAL – *Experienced Realism*).

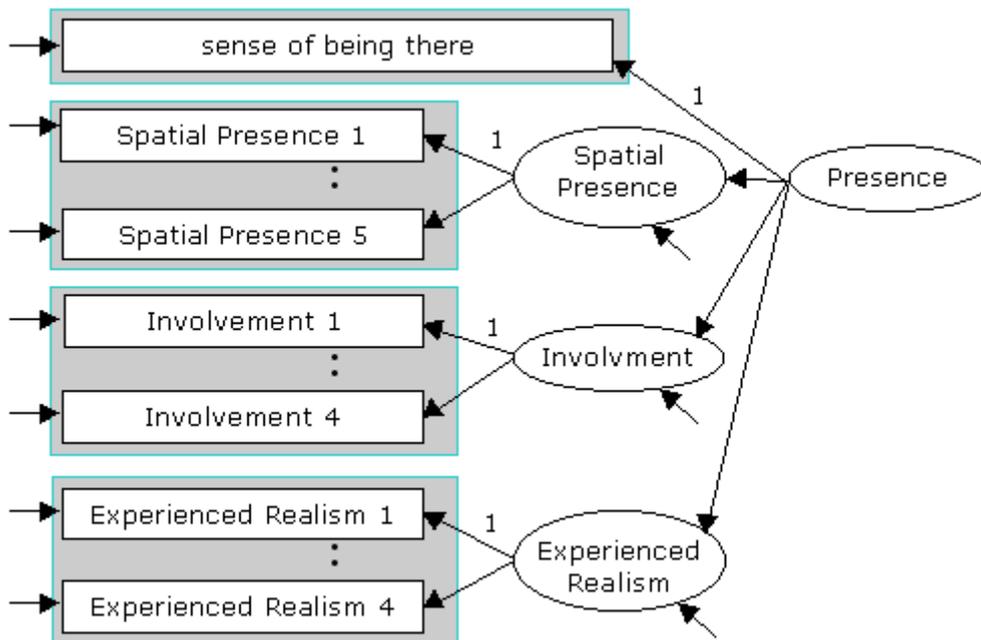


Figura 5.4 – Fatores do IPQ (Fonte: <http://www.igroup.org/pq/ipq/construction.php>)

Dos 14 itens, os últimos 4 (11-14) foram excluídos pois fazem referência ao realismo experimentado (Fator C). No nosso caso, por se tratar de ambiente remoto real, a avaliação do realismo não seria coerente.

Devido a sua grande utilização em diversos estudos, este questionário também permite a comparação dos resultados obtidos com os dados coletados por outros pesquisadores, reunidos em um banco de dados que pode ser acessado pelo site do grupo ([www.igroup.org/pq/ipq/data](http://www.igroup.org/pq/ipq/data)).

Originalmente desenvolvido em alemão, o IPQ já possui traduções para o inglês, holandês e espanhol. Essas versões são disponibilizadas no site do projeto como medidas de avaliação de presença. Tendo em vista que alguns termos não são passíveis de tradução, uma versão traduzida para o português poderia comprometer a confiabilidade do questionário. Assim as perguntas foram

mantidas em inglês e todos os usuários que participaram do teste tinham conhecimento da língua, portanto, não tiveram dificuldades para sua compreensão.

### 5.3

#### Resultados dos Testes

Os participantes dos testes tinham média de idade de 28,5 anos, a maioria do sexo masculino, havendo prevalência na área de exatas. Destes, 75% não possuíam problema de vista. Três participantes não tinham experiência prévia com um HMD. O perfil dos usuários é apresentado na Tabela 4.

	Sexo	Idade	Área de Atuação	Prob. Vista	Usa óculos ou lentes	Experiência com HMDs
Participante 1	M	30	Exatas	Não	Não	Sim
Participante 2	M	25	Exatas	Sim	Sim	Sim
Participante 3	M	29	Humanas	Sim	Sim	Sim
Participante 4	M	29	Humanas	Sim	Sim	Sim
Participante 5	M	29	Humanas	Não	Não	Sim
Participante 6	M	27	Humanas	Não	Não	Não
Participante 7	F	26	Humanas	Não	Não	Não
Participante 8	M	26	Saúde	Não	Não	Sim
Participante 9	M	27	Exatas	Não	Não	Sim
Participante 10	M	24	Exatas	Não	Não	Sim
Participante 11	M	30	Exatas	Não	Não	Sim
Participante 12	F	28	Exatas	Não	Não	Não

Tabela 4 – Perfil dos participantes

### 5.3.1 Questionário experimental

A análise das respostas da primeira parte do Questionário Experimental, realizada oralmente pelo avaliador durante o período de acomodação do usuário, permitiu inferir que todos os participantes sentiram-se confortáveis ao utilizar o CR&OR, sendo que 25% deles classificaram a experiência como muito confortável (Figura 5.5). Além disso, todos os participantes conseguiram movimentar facilmente a câmera da CR e não perceberam nenhuma latência na transmissão do som em relação à imagem.

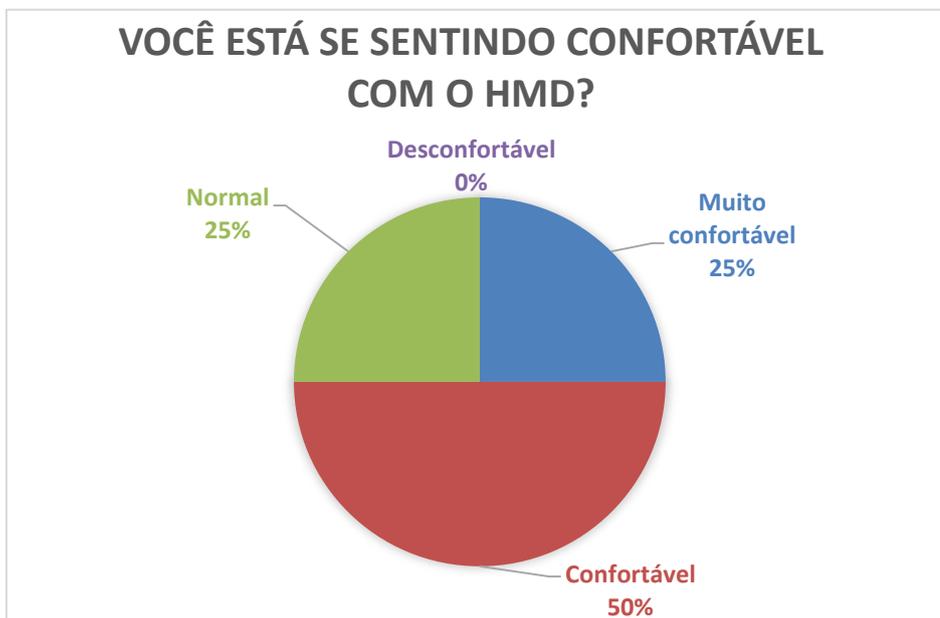


Figura 5.5 – Gráfico de conforto

A segunda parte do Questionário Experimental questionava sobre a quantidade e a ordem dos objetos presentes no modelo físico. A quantidade era avaliada através da percepção do usuário do número de objetos presentes em seu campo visual, incluindo objetos camuflados com o objetivo de dificultar a visualização dos mesmos. A ordem dos objetos avaliava a noção de profundidade do usuário que deveria informar ao avaliador a sequência dos objetos de mais perto para mais longe.

A Figura 5.6 representa, de forma genérica, os acertos e os erros obtidos em cada modo de operação. No modo 2D com rotação houve um índice de acerto de 25%

(3 usuários). Já no modo 3D sem rotação, aproximadamente, 33,3% dos usuários obtiveram êxito em suas respostas. O maior índice de acertos foi constatado no modo 3D com rotação. Neste, 75% dos participantes responderam corretamente.

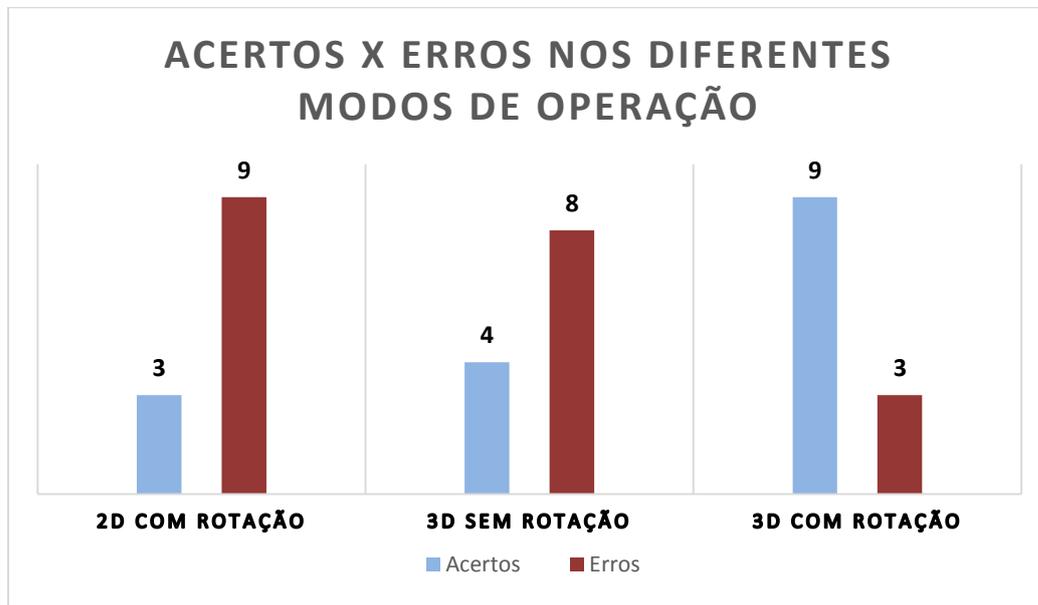


Figura 5.6 – Acertos X Erros

A Figura 5.7 classifica os tipos de erros obtidos, subdividindo-os em erros na ordem dos objetos, erros na quantidade ou em ambos. Dos nove participantes que não responderam corretamente no modo 2D com rotação, três erraram a ordem, quatro não visualizaram algum objeto e dois erraram ambos os quesitos. Já no modo 3D sem rotação, dois erraram na ordem, cinco não visualizaram algum objeto e um errou ambos os quesitos. No modo 3D com rotação, que obteve o menor índice de erros, dois usuários erraram a ordem e um o número de objetos. Neste modo nenhum participante errou os dois quesitos.

A partir desses dados podemos perceber que o modo 3D sem rotação diminuiu o erro na ordem, mas aumentou o erro na não visualização de objetos (quantidade). Isso mostra que o 3D ajuda a compreender a profundidade dos objetos e a rotação da câmera ajuda a visualizar os objetos camuflados, que tem textura igual à do fundo. Portanto, o modo 3D com rotação por ser uma combinação dos dois fatores mostrou-se superior aos demais.

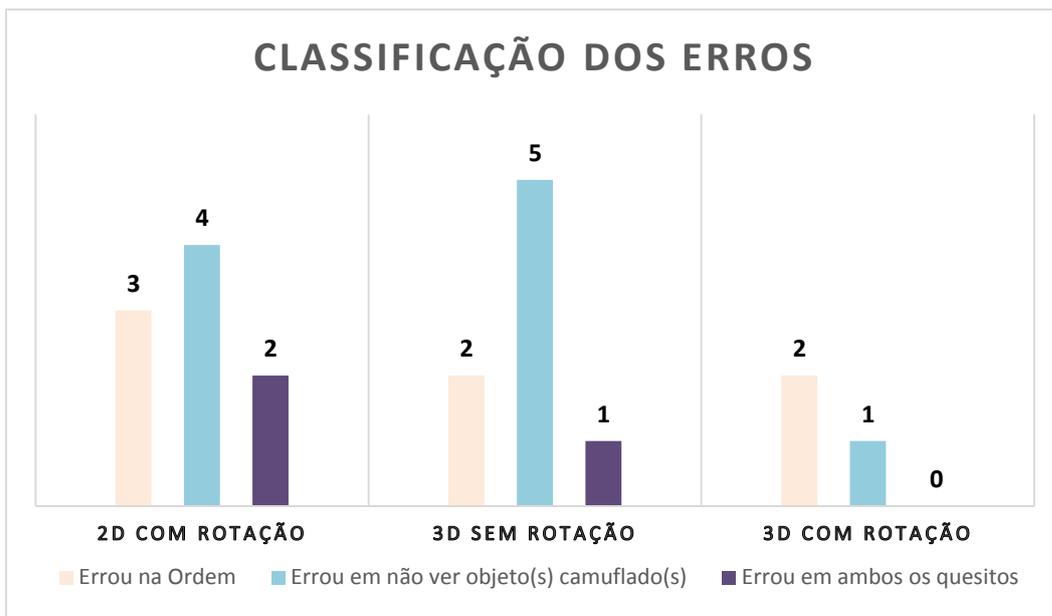


Figura 5.7 – Classificação dos Erros

Após vivenciar os três modos de operação, o usuário encerrou sua experiência com o sistema CR&OR e foi submetido à terceira parte do Questionário Experimental, em que suas impressões seriam avaliadas. O controle da câmera a partir dos movimentos do usuário foi considerado bastante natural por 42% dos participantes. Este controle foi julgado bom por 50% e médio por 8%, conforme Figura 5.8.

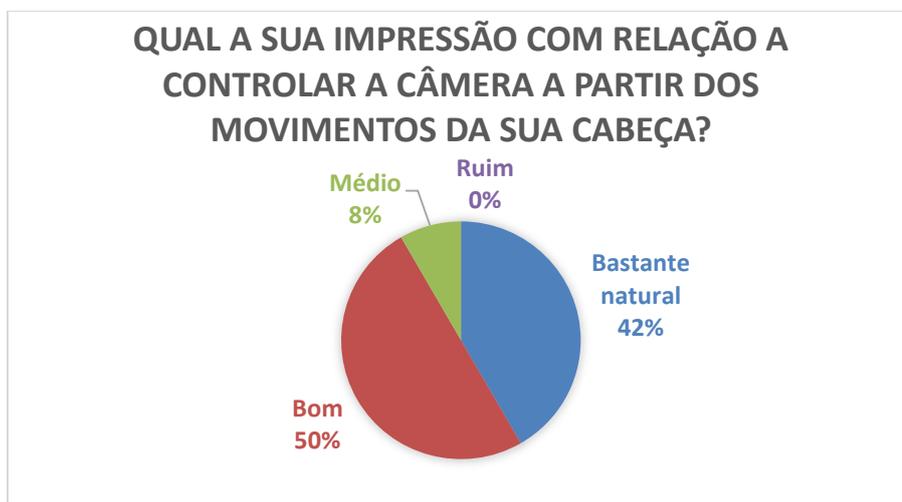


Figura 5.8 – Gráfico de naturalidade

A velocidade do giro da câmera acompanhou a velocidade de movimentação do usuário em 75% dos casos (acompanha = 58%; acompanha muito bem = 17%). Para 25% dos participantes ocorre um atraso entre essas velocidades, conforme Figura 5.9.



Figura 5.9 – Gráfico da velocidade da câmera

A mudança da visão mono para a estereoscópica foi significativa para todos os usuários. A noção de profundidade melhorou muito em 67% dos casos e para 33% a melhora não foi tão expressiva, conforme Figura 5.10.

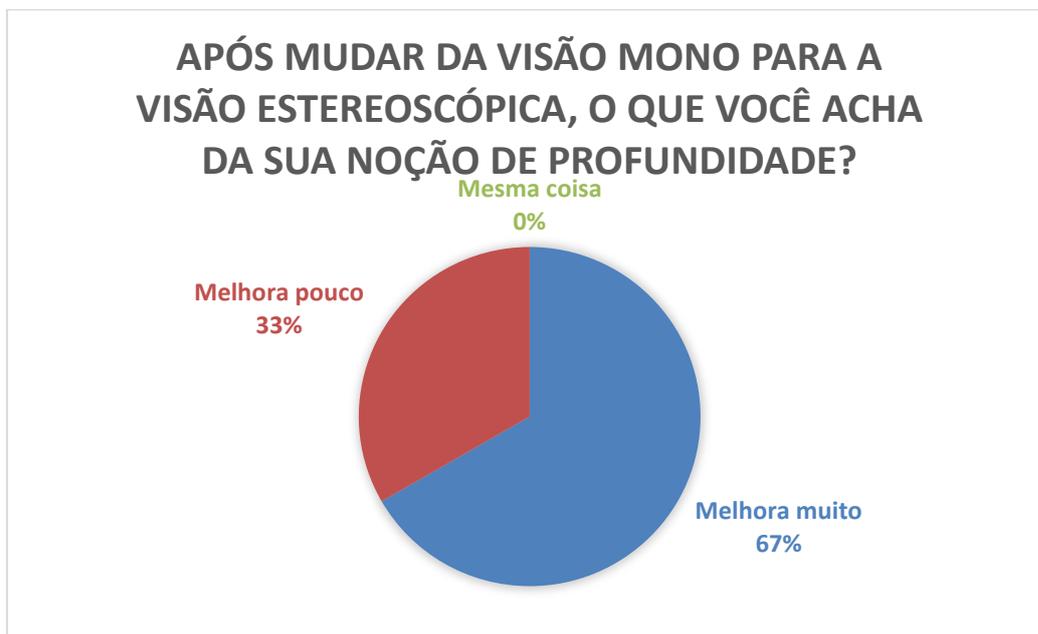


Figura 5.10 – Gráfico da estereoscopia

Por fim, o usuário foi questionado se em algum momento da experiência sentiu algum tipo de desconforto, tais como: desorientação, tontura, náusea ou vista cansada. Nenhuma dessas sensações ocorreu em 75% dos usuários (Figura 5.11), dois relataram tontura e um referiu vista cansada e náusea. É importante ressaltar

que os 25% dos usuários que sentiram algum mal estar não são os mesmos que utilizam óculos ou lentes de contato.

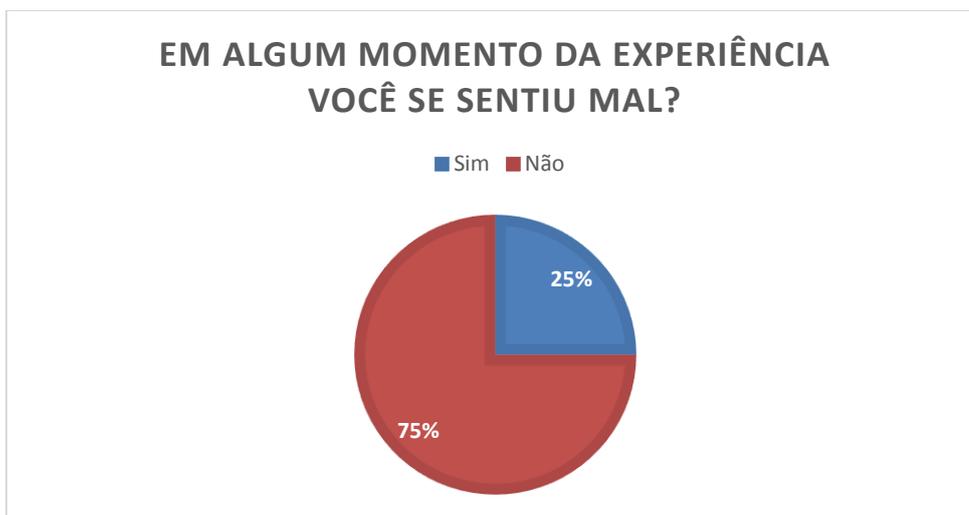


Figura 5.11 – Gráfico de mal estar

### 5.3.2 IPQ

A última etapa do teste com usuários foi o preenchimento do IPQ. Apesar da escala do questionário ter uma faixa de -3 a +3, para fins de análise e estatísticas, os valores são transformados para uma nova faixa de 0 a 6 (segundo as normas descritas no site do igroup), sendo 0 a pior e 6 a melhor pontuação com exceção dos itens SP2 e INV3 que possuem uma escala invertida. A Tabela 5 e a Figura 5.12 mostram a média e o desvio padrão das respostas dos usuários, e os itens SP2 e INV3 já foram corrigidos.

IPQ item	“Atalho”	Média	Desvio Padrão
G1	<i>sense of being there</i>	4,25	0,83
SP1	<i>sense of <u>RE</u> behind</i>	4,17	0,69
SP2	<i>only pictures</i>	4,67	1,31

SP3	<i>not sense of being in <u>r.</u> space</i>	5,58	1,61
SP4	<i>sense of acting in <u>RE</u></i>	4,08	1,38
SP5	<i>sense of being present in <u>RE</u></i>	4,33	0,85
INV1	<i>awareness of real env.</i>	3,83	1,34
INV2	<i>not aware of real env.</i>	4,17	1,46
INV3	<i>no attention to real env.</i>	3,92	1,85
INV4	<i>attention captivated by <u>RE</u></i>	3,92	1,11

Tabela 5 – Média e desvio padrão das respostas ao IPQ

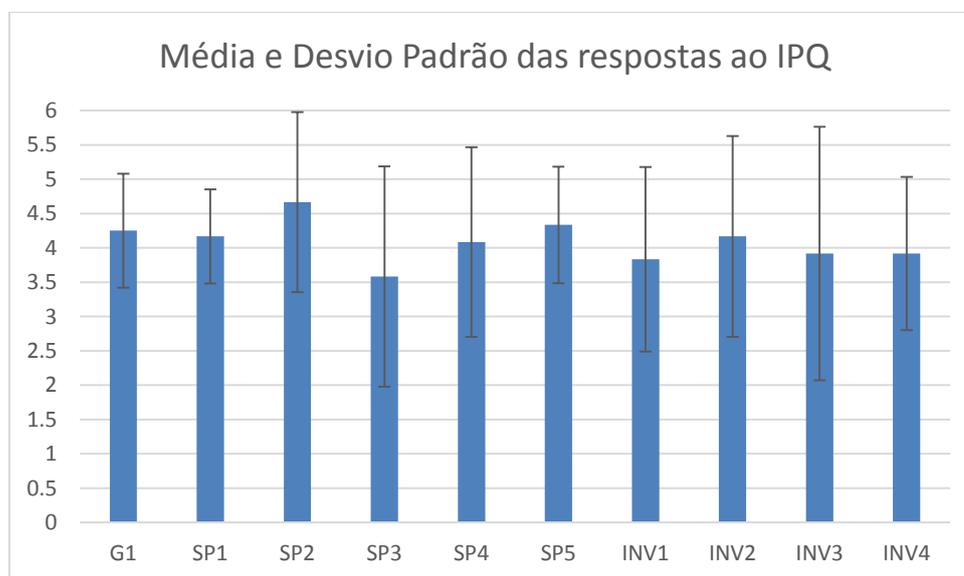


Figura 5.12 – Média e desvio padrão das respostas ao IPQ

O item G1 é quesito genérico. Ele sozinho compõe o fator que avalia a sensação de estar no ambiente remoto (G). A média dos itens SP1 ao SP5, que compõem o fator de presença espacial (SP), resultou em 4,17, enquanto a média dos itens INV1 ao INV4, o fator envolvimento (INV), resultou no valor de 3,96 (Figura 5.13).

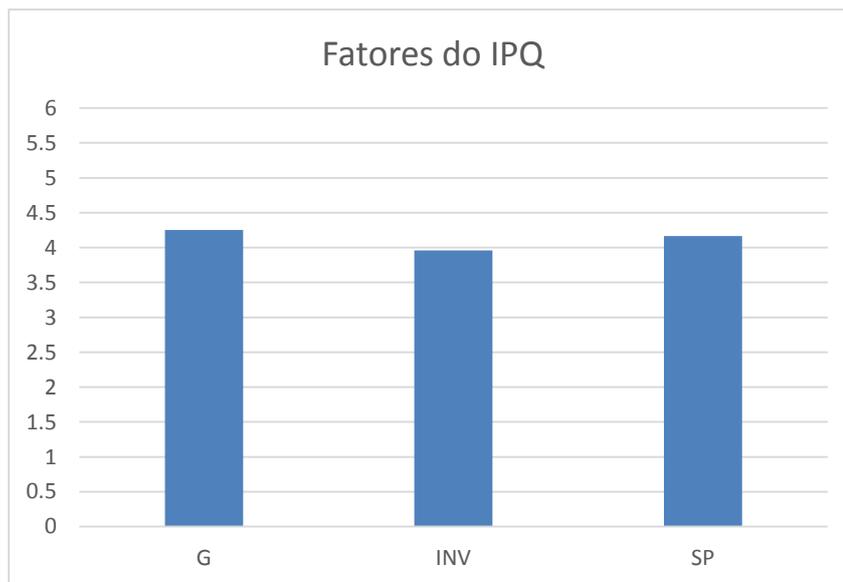


Figura 5.13 – Resultados obtidos nos fatores do IPQ

Como dito anteriormente, o IPQ permite a análise comparativa entre diversos trabalhos que utilizaram este questionário. O PQII<sup>22</sup>, estudo realizado pelo Igroup, avaliou os jogos Half-Life e Tomb Raider. Além disso, também foi feita uma comparação entre a média dos 542 dados que compõem o banco de informações do IPQ. O diagrama da Figura 5.14 mostra a comparação entre os perfis de presença desses estudos e o CR&OR.

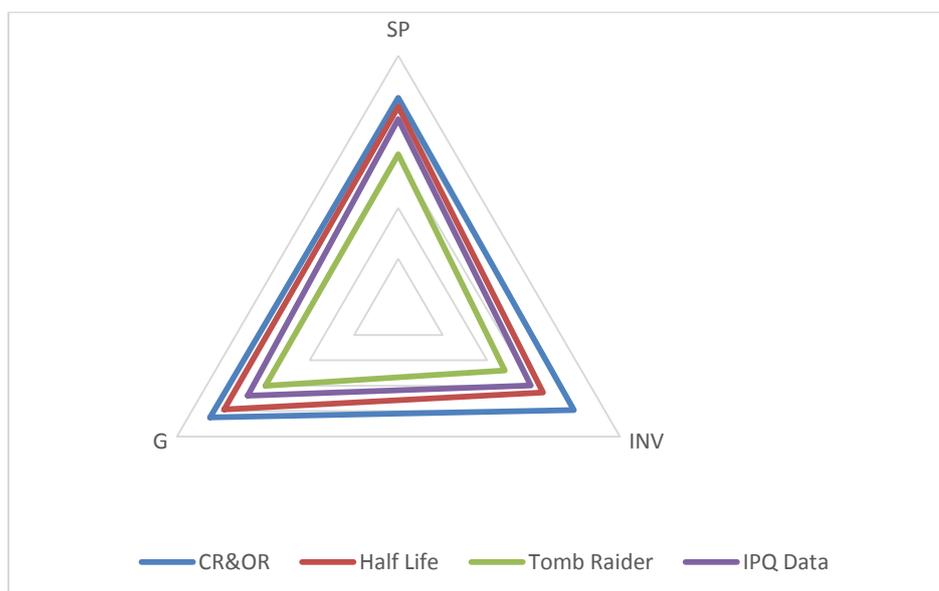


Figura 5.14 – Comparação dos resultados do IPQ com outros trabalhos

<sup>22</sup> <http://www.igroup.org/pq/ipq/data.php>

É possível perceber que o perfil de presença do CR&OR foi superior aos demais em todas as variáveis. Por se tratar de um ambiente remoto real, no CR&OR, vale lembrar que o fator realismo foi excluído. Cabe ressaltar, no entanto, que essa comparação é apenas ilustrativa, pois foram experimentos realizados por grupos diferentes, com números de usuários diferentes, com equipamentos e propósitos diferentes. O dado talvez mais relevante aqui é verificar que a avaliação do CR&OR ficou acima da média do banco de informações do IPQ.

## 6

### Conclusão e Trabalhos Futuros

#### 6.1

##### Conclusão

Neste trabalho foi proposta e avaliada uma ferramenta de telepresença imersiva. Apesar de algumas limitações no hardware como a câmera monocromática, faixa de rotação dos servo motores de  $60^{\circ}$ , ausência de um terceiro servo motor para rotação no eixo Z (vide Figura 3.2), e falta de um dispositivo que permitisse a comunicação em áudio (microfones e caixas de som), o protótipo CR&OR desenvolvido conseguiu proporcionar ao usuário uma experiência de telepresença imersiva e avaliar a impressão durante seu uso.

A análise dos testes permitiu inferir que o dispositivo CR&OR consegue reproduzir o ambiente de uma videoconferência, já que o usuário conseguiu conversar com o avaliador ao mesmo tempo em que analisava o modelo físico, e possibilita uma melhora em relação aos dispositivos comuns. Isso ocorre devido a visualização do ambiente em 3D e pela manipulação da câmera através do HMD, sem a necessidade de controles adicionais. Essa movimentação passa a ser natural para o usuário que manipula a cabeça remota de forma intuitiva. Os resultados demonstraram que o CR&OR permite uma boa sensação imersiva. O uso da visão estéreo foi considerado um grande avanço na visualização do ambiente remoto em relação a visão mono, tendo em vista o maior número de acertos nos testes e da percepção, inclusive, de objetos camuflados.

Um dado obtido e que pode ter gerado dúvidas foi o fato de durante a primeira fase do questionário experimental todos os participantes terem classificado a experiência inicial como confortável e em um momento posterior 25% terem experimentado alguma sensação de desconforto. Isso pode ser explicado pela primeira fase do questionário ter sido realizada no momento inicial dos testes, enquanto o usuário experimentava a ferramenta. O desconforto, provavelmente, foi devido ao maior tempo de exposição ao dispositivo. Além disso, alguns

participantes se referiram a trepidações durante a movimentação da cabeça remota, o que de certa forma, também pode contribuir para o mal-estar.

## 6.2 Trabalhos Futuros

Em face dos dados apresentados, o sistema do CR&OR cumpriu as expectativas. Porém mudanças podem aperfeiçoar o protótipo, bem como destiná-lo a outros fins. As principais melhorias seriam a utilização de hardwares mais modernos, como uma câmera estéreo colorida, servo motores de rotação contínua que permitem a rotação em 360<sup>0</sup> e a utilização de mais um servo motor para possibilitar a rotação da câmera nos 3 eixos de rotação.

Mudanças na implementação do software para um sistema distribuído são essenciais para a utilização do sistema em longa distância. Conforme descrito no final do Capítulo 4 – Implementação, a utilização do protocolo UDP para envio das imagens seria uma alternativa para o desenvolvimento de um sistema distribuído com pouca latência.

Registrar em um arquivo os movimentos rastreados pelo Oculus Rift e os movimentos efetuados pelos servo motores, gerando assim um *log*, seria interessante para detectar possíveis discrepâncias entre esses dados e gargalos no sistema.

A trepidação das imagens visualizadas pelo usuário durante a movimentação da CR pode ter sido causada pelo suporte de fio de ferro criado para acoplar os motores entre si e à câmera (Figura 3.8). Esse suporte pode ser melhorado utilizando engrenagens e roldanas que levariam a uma junção mais coesa, evitando a trepidação da câmera.

Para que a utilização do sistema em videoconferências não necessite de dispositivos adicionais, seria necessário incluir dispositivos de áudio como microfone e caixa de som em ambos os módulos. Assim, a voz do usuário seria capturada e reproduzida no ambiente remoto e, da mesma forma, os sons do ambiente remoto seriam reproduzidos para o usuário.

Uma outra forma de utilização do sistema CR&OR seria acoplando-o em robôs controlados remotamente; alguns exemplos são mostrados no Capítulo 2 – Trabalhos Relacionados. Assim, o operador passa a ter a visão do robô, em primeira pessoa, em 3D, além de controlar a câmera com a cabeça sem precisar de dispositivos adicionais. Dependendo da tarefa que o operador precise executar com o robô, a visão estereoscópica seria essencial para diminuir o tempo e facilitar a operação, devido, principalmente, à noção de profundidade que ela possibilita.

## 7 Referências bibliográficas

Akin et al., 1983 - AKIN, D. L. et al. **Space Applications of Automation, Robotics and Machine Intelligence Systems (ARAMIS)**, phase 2. Volume 1: Telepresence technology base development. 1983.

Dyer, 1976 - DYER, R. F. et al. **Questionnaire construction manual**. OPERATIONS RESEARCH ASSOCIATES PALO ALTO CA, 1976.

Draper, 1995 - DRAPER, J. V. **Teleoperators for advanced manufacturing: Applications and human factors challenges**. International Journal of Human Factors in Manufacturing, v. 5, n. 1, p. 53-85, 1995.

Elliott et al., 2012 - ELLIOTT, L. R. et al. **Robotic telepresence: Perception, performance, and user experience**. ARMY RESEARCH LAB ABERDEEN PROVING GROUND MD HUMAN RESEARCH AND ENGINEERING DIRECTORATE, 2012.

Goza, 2004 - GOZA, S. M. et al. **Telepresence control of the NASA/DARPA robonaut on a mobility platform**. In: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems. ACM, 2004. p. 623-629.

Hendrix & Barfield, 1996 - HENDRIX, C.; BARFIELD, W. **Presence within virtual environments as a function of visual display parameters**. Presence: Teleoperators & Virtual Environments, v. 5, n. 3, p. 274-289, 1996.

Johnsen & Corliss, 1971 - JOHNSEN, Edwin G.; CORLISS, William R. **Human factors applications in teleoperator design and operation**. New York: Wiley-Interscience, 1971.

Minsky, 1980 - MINSKY, Marvin. Telepresence. 1980.

Rodrigues, 2015 - RODRIGUES, F. A. C. **Immersive Telerobotic Modular Framework using stereoscopic HMDs**. 2015. 110 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2015.

Schubert, 2001 - SCHUBERT, Torsten; FRIEDMANN, Frank; REGENBRECHT, Holger. **The experience of presence: Factor analytic insights**. Presence, v. 10, n. 3, p. 266-281, 2001.

Seo et al., 2003 - SEO, Yongho; PARK, Heonyoung; YANG, Hyun Seung. **Wearable Telepresence System using Multi-modal Communication with Humanoid Robot.** In: ICAT. 2003.

Sheridan, 1992a - SHERIDAN, Thomas B. **Musings on telepresence and virtual presence.** Presence: Teleoperators & Virtual Environments, v. 1, n. 1, p. 120-126, 1992.

Sheridan, 1992b - SHERIDAN, Thomas B. **Telerobotics, automation, and human supervisory control.** MIT press, 1992.

Smith & Smith, 1990 - SMITH, Thomas J.; SMITH, Karl U. **The human factors of workstation telepresence.** NASA, Lyndon B. Johnson Space Center, Third Annual Workshop on Space Operations Automation and Robotics (SOAR 1989); p 235-250 1990.

Sutherland, 1968 – SUTHERLAND, Ivan E., **A head-mounted three dimensional display,** Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I, December 09-11, 1968.

Terrile & Noraky, 2012 - TERRILE, Richard J., NORAKY, James. **Immersive telepresence as an alternative for human exploration.** Aerospace Conference, 2012 IEEE. IEEE, 2012.

Travis et al., 1994 - TRAVIS, David; WATSON, Toby; ATYEO, Mike. **Human psychology in virtual environments.** Interacting with virtual environments, p. 43-59, 1994.

Yong et al., 1998 - YONG, Lim Ser; YANG, Wong Hong; ANG JR, Marcelo. **Robot task execution with telepresence using virtual reality technology.** In: 1998 International Conference on Mechatronic Technology. 1998. p. 1-8.

## Apêndice A

### Termo de Consentimento para Avaliação da Ferramenta de Telepresença CR&OR

Você foi convidado(a) pelo Instituto Tecgraf da PUC-Rio para participar de um teste de avaliação da ferramenta CR&OR para telepresença imersiva.

Neste teste, buscamos verificar a facilidade de uso e a utilidade de um *head-mounted display* (HMD) em conjunto com a Cabeça Remota no contexto de videoconferências.

Por esta razão, solicitamos seu consentimento para a realização deste teste e, em seguida, a resposta a um questionário. Para tanto, é importante que você tenha algumas informações:

1. Os dados coletados durante o teste destinam-se **estritamente** a atividades de pesquisa e desenvolvimento.
2. A equipe desta pesquisa tem o compromisso de divulgar os resultados de suas pesquisas para fins acadêmicos. A divulgação destes resultados pauta-se no **respeito a sua privacidade** e o **anonimato** dos mesmos é preservado em quaisquer documentos que elaboramos.
3. O consentimento para o teste é uma escolha livre, feita mediante a prestação de todos os esclarecimentos necessários sobre a pesquisa.
4. A realização do teste pode ser interrompida a qualquer momento, segundo a disponibilidade do participante. Neste caso, a equipe se compromete a descartar o teste para fins da avaliação a que se destinaria.
5. Nossa equipe encontra-se disponível para contato através do telefone (21) 99696-2248, ou pelo e-mail: pdunker@tecgraf.puc-rio.br. Caso queira tirar alguma dúvida, procure por Philip Dunker.

De posse das informações acima, gostaríamos que você se pronunciasse acerca do teste.

( ) Dou meu consentimento para sua realização.

( ) Não autorizo sua realização.

Rio de Janeiro, \_\_\_\_\_ de Fevereiro de 2016.

Participante	Avaliador
Nome: _____	Nome: Philip Dunker
Assinatura: _____	Assinatura: _____

**Caso você tenha optado por participar, por favor, responda ao breve questionário na próxima folha. Obrigado!**

## Questionário Pré-Uso - Perfil e Experiência do Participante

Nome: \_\_\_\_\_ Empresa: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_ / Fev / 2016

### 2. Dados Pessoais

Idade: \_\_\_\_\_ Sexo (M ou F): \_\_\_\_\_

1.1 Qual a sua Formação ? : \_\_\_\_\_

1.2 Você usa óculos ou lentes de contato?

– Não

– Sim

1.2 Você possui algum problema de vista?

– Não

– Sim,

1.2.1 Se sim, qual? \_\_\_\_\_

1.3 Você alguma vez já utilizou o Oculus Rift DK1 ou algum outro tipo de *head-mounted display*?

– Não

– Sim

2.3.1 Se sim, como você julga sua experiência com esse equipamento?

- Usei apenas 1 vez

- Usei algumas vezes

- Usei muitas vezes

## Apêndice B

### Questionário Experimental

Nome do usuário: \_\_\_\_\_

#### Perguntas feitas pelo Mediador durante a experiência

##### 1 – Perguntas iniciais

1.1 - Você está se sentindo confortável com o HMD?

( ) – Muito confortável

( ) – Confortável

( ) – Normal

( ) – Desconfortável, porque \_\_\_\_\_

1.2 - Você consegue movimentar a câmera da Cabeça Remota com facilidade?

( ) – Sim

( ) – Não, porque \_\_\_\_\_

1.3 - Você consegue perceber algum atraso da imagem comparado ao som?

( ) – Não

( ) – Sim, o som está \_\_\_\_\_ (atrasado/adiantado)

##### 2 - Perguntas relacionadas ao modelo físico:

**Layout:** \_\_\_\_\_ | **Teste:** \_\_\_\_\_

2.1 - Quantos objetos geométricos você vê nesse modelo?

2.2 - Diga a ordem desses objetos de mais perto para mais longe:

**Layout:** \_\_\_\_\_ | **Teste:** \_\_\_\_\_

2.3 - Quantos objetos geométricos você vê nesse modelo?

2.4 - Diga a ordem desses objetos de mais perto para mais longe:

**Layout:** \_\_\_\_\_ | **Teste:** \_\_\_\_\_

2.5 - Quantos objetos geométricos você vê nesse modelo?

2.6 - Diga a ordem desses objetos de mais perto para mais longe:

### 3 – Perguntas finais

3.1 - Qual a sua impressão com relação a controlar a câmera a partir dos movimentos da sua cabeça?

– Bastante natural

– Bom

– Médio

– Ruim, porque \_\_\_\_\_

3.2 - A velocidade do giro da câmera acompanha a velocidade de movimentação da sua cabeça?

– Acompanha muito bem

– Acompanha

– Um pouco atrasada

– Muito lenta

3.3 - Após mudar da visão mono para a visão estereoscópica, o que você acha da sua noção de profundidade?

– Melhora muito

– Melhora um pouco

– Mesma coisa

3.4 - Em algum momento da experiência você se sentiu mal? (desorientação, tontura, enjoo, vista cansada ou náusea)

– Sim, senti: \_\_\_\_\_

– Não

## Apêndice C

### Igroup Presence Questionnaire (IPQ\*)

- 1) In the computer generated remote environment I had a sense of "being there"

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
not at all						very much

- 2) Somehow I felt that the remote environment surrounded me.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
fully disagree						fully agree

- 3) I felt like I was just perceiving pictures.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
fully disagree						fully agree

- 4) I did not feel present in the remote space.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
did not feel						felt present

- 5) I had a sense of acting in the remote space, rather than operating something from outside.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
fully disagree						fully agree

- 6) I felt present in the remote space.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
fully disagree						fully agree

- 7) How aware were you of the real world surrounding while navigating in the remote environment? (i.e. sounds, room temperature, other people, etc.)?

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
extremely aware			moderately aware			not aware at all

- 8) I was not aware of my real environment.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
fully disagree						fully agree

9) I still paid attention to the real environment.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
fully disagree						fully agree

10) I was completely captivated by the remote environment.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
fully disagree						fully agree

11) How real did the remote environment seem to you?

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
completely real						not real at all

12) How much did your experience in the remote environment seem consistent with your real world experience?

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
not consistent			moderately consistent			very consistent

13) How real did the remote environment seem to you?

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
about as real as an imagined world						indistinguishable from the real world

14) The remote environment seemed more realistic than the real world.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
fully disagree						fully agree

\* Este questionário foi adaptado para avaliar o senso de presença em um ambiente remoto real. Na versão original, as palavras sublinhadas fazem referência a um ambiente virtual.