



Universidade de Brasília

Instituto de Ciências Exatas  
Departamento de Ciência da Computação

**A importância da sincronia visual-tátil para a  
manutenção da ilusão de propriedade corporal em  
ambientes de realidade virtual**

Gabriel F. B. Barbosa

Monografia apresentada como requisito parcial  
para conclusão do Curso de Engenharia da Computação

Orientadora  
Prof.a Dr.a Carla Denise Castanho

Brasília  
2021



# Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus amigos e familiares próximos que sempre me incentivaram e me apoiaram tanto psicologicamente, quanto nos estudos e à Professora Doutora Carla Denise Castanho por guiar minha trajetória desde o começo do curso, orientando, acreditando e dando oportunidades para meu crescimento profissional.

Dedico também este trabalho a todos os cientistas e engenheiros que me antecederam e que me sucederão. Sem o trabalho colaborativo dessa multitude de pessoas ao redor do globo e através das eras jamais teríamos atingido um corpo de conhecimento e de tecnologia tão vastos e que a cada dia cresce mais.

# Agradecimentos

Agradeço primeiramente ao Deus altíssimo que me proporcionou forças e esperança para perseverar, e que concedeu sabedoria e capacidade a toda humanidade, tornando-a capaz de realizar tão grandes feitos. Agradeço também aos professores Tiago Barros, Maurício Sarmet e, especialmente, à professora Carla Castanho pela contribuição, orientação e tempo dedicado para conclusão desse trabalho. Dedico meus sinceros agradecimentos à Universidade de Brasília pela oportunidade de aprendizado, pelos recursos disponibilizados e pelos equipamentos fornecidos, sem os quais, seria impossível realizar este trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), por meio do Acesso ao Portal de Periódicos.

# Resumo

O mercado de realidade virtual e seus usos vem crescendo muito nos últimos anos. O acesso a um dispositivo dessa tecnologia está se tornando bastante acessível e, portanto, garantir uma boa experiência nos ambientes de realidade virtual é de interesse tanto da indústria como da comunidade científica. Nesse contexto, o estudo sobre a ilusão de propriedade corporal em ambientes virtuais, independente do seu propósito, tem se tornado cada vez mais relevante. A análise dos fatores que influenciam a resiliência dessa ilusão é uma tarefa que deve ser realizada minuciosamente até que se encontre um limiar aceitável e confiável. Assim, esse trabalho estuda dois tipos de quebra da expectativa, ou assincronias, de estímulos visual-táteis com o objetivo de compreender melhor o ponto de interrupção da ilusão. Para essa compreensão, voluntários foram convidados a participar de um experimento em realidade virtual. Inicialmente, elaborou-se um ambiente virtual de modo que garanta a ilusão para os voluntários do experimento. Em seguida, foram inseridos algumas assincronias visual-táteis ao longo da experiência. A maioria dos voluntários não reportaram uma interrupção da ilusão nos pontos em que houveram as quebras de expectativa. Ao final da análise dos dados coletados, notou-se que a resiliência da ilusão é maior do que se imaginava e é resistente a quebras de expectativa ao ponto de se conjecturar que acontece um descarte ou racionalização alternativa do que está se experienciando para lidar com a discrepância entre os estímulos sensoriais recebidos e os estímulos sensoriais esperados.

**Palavras-chave:** propriedade corporal, realidade virtual, ilusão, experimento

# Abstract

Virtual Reality technology, and its uses, has seen a great growth in the latest years. Access to this tech is also becoming even cheaper and easier. Therefore, guaranteeing a good experience in virtual reality is of interest to both industry and the scientific community. Because of that, there has been an increase in interest about understanding the body ownership illusion. Thus, analysis of the factors that plays a role in its resilience is a task that demands careful work until a reliable and trustworthy threshold is found. This research evaluates two types of visual-tactile breaches of expectations, or, visual-tactile asynchronies. This is done to better understand the limits of the illusion. First, a virtual environment was designed to induce the volunteers into the illusion in such a way that it is guaranteed. Following that, some visual-tactile asynchronies were inserted throughout the experiment. The majority of volunteers did not report any interruption of the illusion where it was expected to happen, i.e., where asynchronies were purposefully added in a try to break the illusion. Analyzing the collected data, it was possible to conclude that the body ownership illusion is stronger than anticipated. It is so strong, in fact, that it is conjectured that there is some sort of alternative rationalization happening in the volunteers' mind to make sense of the mismatches between the expected sensory inputs and the actual ones. Or, at least, something similar to this effect.

**Keywords:** body ownership, virtual reality, illusion, experiment

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Definição do Problema . . . . .	1
1.2	Objetivos . . . . .	2
1.3	Estrutura . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Fundamentação Teórica</b>	<b>4</b>
2.1	Body Ownership . . . . .	4
2.2	Realidade Virtual . . . . .	7
2.3	Body Ownership em Realidade Virtual . . . . .	10
<b>3</b>	<b>Problema e Experimentação</b>	<b>13</b>
3.1	Detalhamento do Problema . . . . .	13
3.2	Especificação do Experimento . . . . .	14
3.2.1	Escopo . . . . .	14
3.2.2	Ambiente virtual . . . . .	15
3.2.3	Resultados esperados . . . . .	16
3.3	Implementação . . . . .	16
3.3.1	Idealização do experimento . . . . .	17
3.3.2	Televisor interativo . . . . .	18
3.3.3	Personagens . . . . .	18
3.3.4	<i>Scripts</i> . . . . .	21
3.3.5	Registros . . . . .	25
<b>4</b>	<b>Análise de Dados e Resultados</b>	<b>30</b>
4.1	Testes Piloto . . . . .	30
4.2	Dados Coletados . . . . .	31
4.3	Análise dos Dados . . . . .	32
4.4	Resultados . . . . .	34
4.4.1	Robustez dos questionários . . . . .	36
4.4.2	Design da atividade . . . . .	38

4.4.3 Sincronia de estímulos VT . . . . .	38
4.4.4 Impacto das QPs . . . . .	39
4.4.5 Resiliência da ilusão . . . . .	39
<b>5 Conclusões</b>	<b>41</b>
5.1 Trabalhos Futuros . . . . .	42
<b>Referências</b>	<b>44</b>
<b>Apêndice</b>	<b>47</b>
<b>A Roteiro do Experimento</b>	<b>48</b>
<b>B Telas de Instrução</b>	<b>51</b>
<b>C Questionários</b>	<b>59</b>
C.1 Questionário 1 . . . . .	59
C.2 Questionário 2 . . . . .	59
C.3 Questionário 3 . . . . .	60
<b>D Layout do Ambiente do Experimento</b>	<b>62</b>

# Lista de Figuras

2.1	Modelo de como funciona o experimento da mão de borracha. . . . .	5
2.2	Reprodução do experimento da mão de borracha. . . . .	6
2.3	Dispositivos Telesphere Mask e Sword of Damocles. . . . .	8
2.4	Dispositivo de realidade virtual HTC Vive utilizado nesse trabalho. . . . .	10
3.1	Várias capturas de tela do ambiente do experimento. . . . .	17
3.2	Exemplo de <i>rig two-bones</i> . . . . .	20
3.3	Exemplo da tela flutuante e da televisão exibindo o mesmo vídeo . . . . .	23
3.4	Duas capturas de telas da visão dos pesquisadores em momentos diferentes do experimento . . . . .	27
3.5	Fluxograma de todo o experimento . . . . .	28
3.6	Fluxograma do tutorial . . . . .	29
4.1	Imagem capturada durante o experimento com um voluntário. . . . .	31
4.2	Histograma da experiência prévia dos voluntários . . . . .	32
4.3	Histograma da idade dos voluntários . . . . .	33
4.4	Respostas sobre a percepção quanto a congruência VM. . . . .	34
4.5	Características dos reportes encontrados no relatório dos voluntários. . . . .	35
4.6	Momento em que foram reportadas interrupções da ilusão e momento em que houve quebra de expectativa. . . . .	36
4.7	Resposta indicadora de que estava sob efeito da ilusão . . . . .	37
4.8	Gráficos que indicam uma baixa importância de QP para a interrupção da ilusão . . . . .	39
4.9	Sensação de presença auto-reportada pelos voluntários. . . . .	40
B.1	Tela 1 . . . . .	52
B.2	Tela 2 . . . . .	52
B.3	Tela 3 . . . . .	53
B.4	Tela 4 . . . . .	53
B.5	Tela 5 . . . . .	54

B.6	Tela 6 . . . . .	54
B.7	Tela 7 . . . . .	55
B.8	Tela 8 . . . . .	55
B.9	Tela 9 . . . . .	56
B.10	Tela 10 . . . . .	56
B.11	Tela 11 . . . . .	57
B.12	Tela 12 . . . . .	57
B.13	Tela 13 . . . . .	58
B.14	Tela 14 . . . . .	58
D.1	Layout do ambiente do experimento. <i>XR Rig</i> é a localização do voluntário.	62

# Lista de Abreviaturas e Siglas

**BO** Body Ownership.

**CBT** Cognitive Behavioral Therapy.

**FK** Forward Kinematics.

**HMD** Head Mounted Display.

**IK** Inverse Kinematics.

**PA** Procedural Animation.

**QP** Quebra de Expectativa Primária.

**QS** Quebra de Expectativa Secundária.

**UI** User Interface.

**VM** Visual-Motor.

**VR** Virtual Reality.

**VRT** Virtual Reality Therapy.

**VT** Visual-Tactil.

# Capítulo 1

## Introdução

Apesar de a tecnologia de realidade virtual já existir há algumas décadas [1, 2], ela ganhou notoriedade e um crescimento significativo a partir de 2016 [3]. Essa tecnologia é comumente associada a jogos, porém, seu uso vai muito além disso [4, 5, 6, 7]. O nível de imersão oferecida por ela a torna interessante para os mais diversos usos [8, 9]. Terapias psicológicas, educação, projetos arquitetônicos, treinamentos médico e militar, e até tratamentos da medicina e fisioterapia, por exemplo, fazem grande uso da realidade virtual [4, 5, 6, 10].

O cérebro humano está suscetível a diversos tipos de ilusão e, com a imersão proposta pela realidade virtual, uma das ilusões mais fortes e comuns é a ilusão de propriedade corporal (ou *body ownership*) [11, 12], que é o senso de que o corpo virtual, neste caso, é o seu próprio corpo, ou parte dele [13, 14].

### 1.1 Definição do Problema

Muitas das pesquisas sobre a ilusão de propriedade corporal que têm sido feitas nos últimos tempos, tanto na área de psicologia, quanto na de tecnologia, são para entender quais são as condições mínimas necessárias para que o fenômeno ocorra ou para aumentar sua intensidade [15, 16, 17, 18]. Entretanto, entender o ponto de interrupção da ilusão se faz necessário para evitar situações que poderiam causar a interrupção da ilusão durante o desenvolvimento dos jogos que usam realidade virtual, e até mesmo no desenvolvimento de ambientes virtuais para seu uso clínico para tratamento psicológicos, ou de doenças em geral, ou ainda para qualquer outra situação em que se faça algum uso da ilusão. Além disso, entender esse fenômeno é um passo na direção de se compreender como a noção de propriedade corporal em geral funciona e, portanto, um maior conhecimento de como todos nós funcionamos.

Para que haja uma experiência imersiva mais consistente, uma vez que a ilusão está acontecendo, é necessário ter cautela para haja uma boa manutenção. Pois, não se sabe exatamente sobre a natureza da ilusão no que diz respeito a sua resiliência [19]. Ou seja, se a ilusão é difícil de se instaurar, mas fácil de se manter, ou se é fácil de se instaurar, mas extremamente volátil, ou ainda alguma combinação entre isso. É perfeitamente possível que os requisitos para a manutenção da ilusão sejam diferentes do necessário para o seu estabelecimento.

## 1.2 Objetivos

Este trabalho, portanto, objetiva investigar se a quebra da expectativa de um estímulo síncrono e real de tato causa a interrupção da ilusão de propriedade corporal em ambientes de realidade virtual. Ainda mais, que a natureza da quebra de expectativa é relevante para interrupção da ilusão.

Dessa forma, será analisado, caso as quebras de expectativa visual-tátil incorram em uma interrupção da ilusão, se essa interrupção é afetada diferentemente entre duas condições de assincronia visual-tátil, que serão explicadas mais a frente.

## 1.3 Estrutura

A organização desse trabalho foi definida da seguinte forma:

**Capítulo 2** É dedicado à apresentação da fundamentação teórica e da revisão da literatura através da apresentação de trabalhos correlatos que formam referências significativas para este estudo, seja por seguirem uma metodologia parecida ou por serem trabalhos centrais da área. Isto é, explicita os principais conceitos utilizados ao longo do documento, bem como definições e contextualizações dos termos e objetos da pesquisa e os conhecimentos mínimos necessários para a compreensão completa deste trabalho, além de outros trabalhos relacionados.

**Capítulo 3** Mostra o desenvolvimento do trabalho, explicando inicialmente a hipótese deste estudo, em seguida detalhando como o experimento foi estruturado e a metodologia utilizada. Também é descrito com detalhes como o ambiente virtual foi implementado, os equipamentos utilizados e todas as decisões de projeto.

**Capítulo 4** Apresenta os testes aplicados no ambiente virtual, a coleta dos dados, a análise e os resultados obtidos. Nesta parte são plotados gráficos, tabelas e histogramas

que mostram os dados coletados que, por sua vez, apontam para possíveis conclusões. Para isso, são feitas análises e cálculos em cima desses dados e são apresentadas as informações que puderam ser extraídas dos resultados experimentais.

**Capítulo 5** Relata as conclusões do experimento e do trabalho em si, além de recomendações de correções e melhorias para possíveis trabalhos futuros. Além disso, este capítulo descreve o que foi aprendido com este estudo e o conhecimento agregado. E, por fim, apresenta sugestões para pesquisas futuras.

# Capítulo 2

## Fundamentação Teórica

Este capítulo aborda conceitos importantes para o entendimento deste trabalho, tais como o efeito de propriedade corporal (*body ownership*) juntamente com alguns exemplos de como obtê-lo e elicitá-lo, e realidade virtual, bem como seus usos, estudos e experimentos relacionados que os utilizem.

### 2.1 Body Ownership

O fenômeno ligado ao conceito de *Body Ownership* (BO) vem sendo estudado, pelo menos, desde o século XIX pela psicologia e filosofia. Um estudo, apresentado em 1890, sobre os princípios da psicologia em Harvard [20], relata os primeiros passos das ciências humanas para determinar o conceito de “*self*”, que é a percepção que um indivíduo possui de si mesmo. Este estudo culminou uma série de outras pesquisas relacionadas, inclusive, partindo para uma perspectiva mais cognitiva, o fenômeno de percepção que um indivíduo tem sobre o próprio corpo. Com isso, o termo *self ownership* [21] surgiu para expressar o senso de pertencimento que uma pessoa tem de uma experiência sentida em si mesma.

Dessa forma, o experimento da mão de borracha ganhou notoriedade quando a psicologia cognitiva e a neurociência descobriram que esse fenômeno pode ser manipulado. Conduzido por Matthew Botvinick e Jonathan Cohen em 1998 [22], o experimento consistiu em colocar uma mão de borracha em frente ao voluntário e remover a mão verdadeira de seu campo de visão. Em seguida, é realizado estímulos táteis à mão de borracha que são reproduzidos simultaneamente à mão escondida (Figura 2.1). Após um tempo realizando estes estímulos, a mão de borracha leva uma forte martelada, porém, desta vez, o estímulo não é transmitido para a mão verdadeira. Como consequência dessa quebra de sincronia, o voluntário leva um susto e rapidamente recolhe sua mão escondida, comprovando a presença da ilusão de BO. Em algumas variações desse mesmo experimento, a mão de borracha não é atingida rapidamente por um martelo mas é ameaçada com algum

objeto pontiagudo, como uma agulha. Nessas variações é possível observar alterações nos sinais fisiológicos do voluntário, além de hesitação e desconforto, comparáveis ao que se obteria quando a mão real é ameaçada.

Outros experimentos como este demonstram que esse senso de pertencimento também é aplicado a partes do corpo e a objetos externos ao corpo. Embora não seja possível dizer qual ingrediente é chave para a ilusão ocorrer, ele mostra que a alguma correspondência com o estímulo visual e o estímulo tátil.

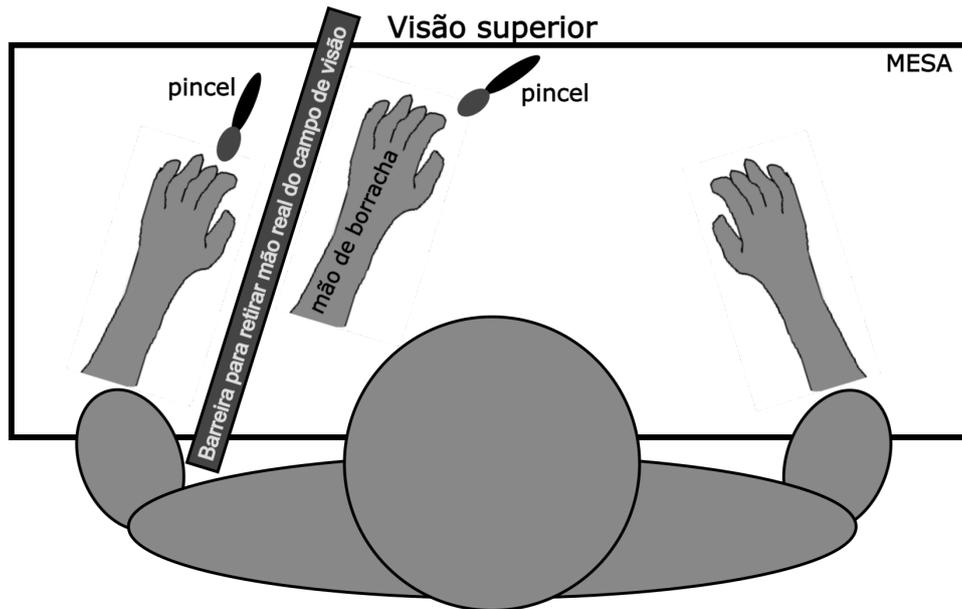


Figura 2.1: Modelo de como funciona o experimento da mão de borracha.

Em pouco tempo, H. Henrick Ehrsson *et al.* [23], com a reprodução do mesmo experimento, publicaram que o sentimento de propriedade corporal, então *body ownership*, está associado à atividade em áreas cerebrais multissensoriais. Além disso, eles conseguiram manipular essas atividades através de estímulos de informações visuais e táteis. Portanto, o senso de *body ownership* pode ser criado em diversos ambientes controlados como uma forma de ilusão para o cérebro.

Da mesma forma que o experimento da mão de borracha (*rubber hand illusion*, demonstrada na Figura 2.2) pode ser realizado para testar as condições para a inserção da ilusão, também é possível criar experimentos que permitem estudar e testar as condições de retirada da mesma. Para conduzir um voluntário à ilusão, é necessário que sejam realizados estímulos táteis e visuais em sincronia com o membro real e o artificial. Com a ajuda de um pincel, por exemplo, a pessoa que está conduzindo o experimento realiza leves toques na mão oculta do voluntário a fim de estimular a sensação de tato e, ao mesmo tempo, é realizado o estímulo visual ao observar o mesmo toque sentido sendo

realizado em uma mão de borracha. Com essa sincronia, o cérebro passa a crer que a mão de borracha é um membro real do próprio corpo.

Contudo, ao final do experimento, sem que o voluntário espere por isso, a ilusão é brutalmente elicitada para comprovar que o cérebro estava sob efeito da ilusão. Para isso, quando a mão falsa, então percebida como membro verdadeiro do corpo, sofre um forte impacto com um martelo, por exemplo, a sincronia é removida ao não transmitir o estímulo de tato equivalente para a mão verdadeira. Com o estímulo visual, mas sem o estímulo tátil, ou seja, com a quebra da sincronia, portanto, o voluntário toma um breve susto, e simultaneamente há um aumento dos batimentos cardíacos, comprovando que seu cérebro tinha a percepção de que o membro era parte de seu próprio corpo.



Figura 2.2: Reprodução do experimento da mão de borracha (retirado de <sup>1</sup>).

Assim sendo, a interrupção da natural expectativa de uma sincronia constante e coerente gera a quebra de expectativa, da ilusão. H. H. Ehrsson disse que a elicitación da ilusão da mão de borracha depende da integração de informações visuais e táteis e da resolução de diferenças entre as representações visuais e dos sentidos da posição [24].

Por outro lado, a sincronia visual-tátil (*Visual-Tactil* - VT) - a sincronia entre o estímulo de tato sentido e o estímulo de tato observado - não é o único fator essencial para se manter a ilusão. Um estudo do final do ano 2000 [25] descobriu que a ilusão pode ser estabelecida usando movimentos passivos e, em alguns casos, involuntariamente, apenas olhando a mão falsa estática por um tempo. Dessa forma, percebe-se que a elicitación da ilusão da mão de borracha não exige que um objeto esteja tocando ou se aproximando da

---

<sup>1</sup><https://www.statnews.com/2016/10/20/brain-rubber-hand-illusion/>

mão. Portanto, a congruência entre a visão e o senso motor, ou seja, a congruência visual-motora (*Visual-Motora* - VM) - a congruência entre os estímulos visuais de movimento com o senso motor de movimento real - também é um aspecto importante para manter a ilusão.

## 2.2 Realidade Virtual

A Realidade Virtual (*Virtual Reality* - VR), é uma tecnologia que replica um ambiente real ou imaginário e simula a presença física e o ambiente de um usuário de uma maneira que o permita interagir com ele [26]. VR é um conceito em que a realidade é artificialmente criada e interagida de formas imersivas com a presença do usuário simulada dentro desse mundo virtual. Ou seja, diz respeito a realidades geradas por computador onde o usuário fornece entradas de dados de formas imersivas, como movimentos de seus membros ou até mesmo de todo o seu corpo ao invés de somente cliques de botão em um controle, e recebe saída de dados também de forma imersiva, como áudio que responde ao posicionamento e rotação da cabeça, além de uma imagem para cada olho para gerar a ilusão de tridimensionalidade que também respondem ao posicionamento e rotação da cabeça.

Para que uma experiência imersiva seja considerada VR não existe a necessidade de gráficos realistas ou agradáveis, mas é essencial que seja uma simulação totalmente virtual e que a interação com ela seja o mais parecido com a vida real possível. Dessa forma, na realidade virtual, a pessoa interage com um ambiente simulado e, sendo submerso no ambiente virtual, absorve informações através de seus sentidos e responde a essas informações com ações que, por sua vez, alteram o ambiente virtual [8]. O mínimo dessa interação deve ser uma imagem para cada olho, de modo que gere a ilusão de tridimensionalidade, áudio e vídeo responsivo à direção que o usuário está olhando e controle da direção que se olha dentro da experiência através do próprio usuário rotacionando o seu corpo ou cabeça.

Em menos de duas décadas depois de surgirem os primeiros computadores, a VR já começou a ser pensada de forma prática. Em 1960, M. Heilig patenteou o primeiro monitor montado na cabeça (*Head Mounted Display* - HMD) chamado *Telesphere Mask* [1] e, na mesma década, Ivan E. Sutherland apresentou um projeto que criou nas telas, através de manipulação de perspectivas, uma impressão realista de imagens tridimensionais a partir de imagens bidimensionais, chamado *Sword of Damocles* [2] (Figura 2.3). Ao contrário dos dispositivos lançados até então, este não era conectado a uma câmera, mas a um computador. Os lançamentos desta década lideraram diversas linhas de pesquisas sobre perspectivas de imagens e até sons estéreis para deixar animações ainda mais realistas.

Embora os vários possíveis usos da VR permitissem uma revolução na ciência, ela esteve limitada por muito tempo, pois dependia do avanço de dispositivos paralelos. Dessa

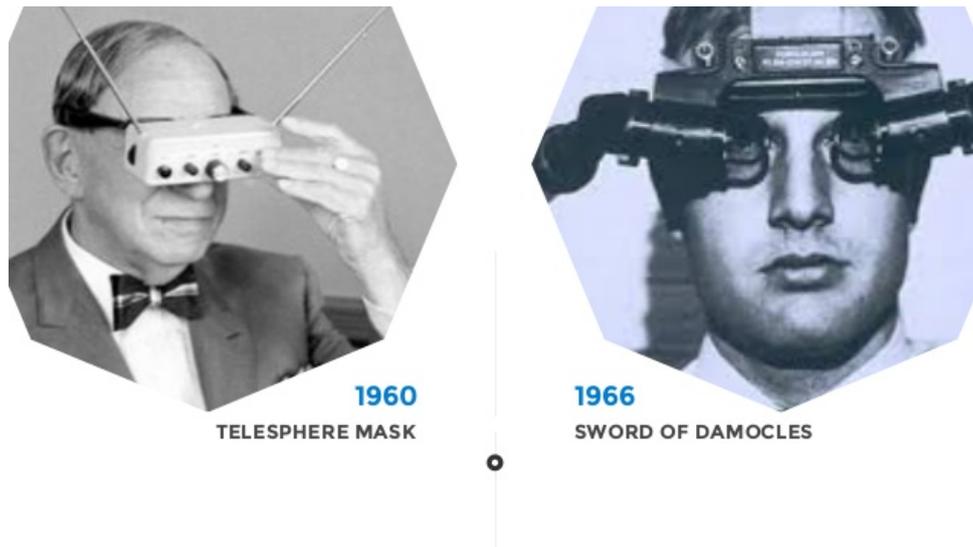


Figura 2.3: Dispositivos Telesphere Mask e Sword of Damocles (retirado de <sup>2</sup>).

forma, o interesse pela tecnologia só cresceu significativamente a partir de 2016, quando jogadores e vários cientistas introduziram ao público vários fones de ouvido comerciais de alta qualidade e relativamente baratos [3], trazendo consigo novos conceitos de imersão. Isso permitiu um efeito mais realístico e, conseqüentemente, uma melhor experiência do usuário em seus mais diversos usos. Portanto, pelo grande aumento na performance da experiência do jogador e pela viabilização prática de seu uso clínico, a VR vem ganhando muito espaço no mercado.

Enerst Adams [9] listou pelo menos três tipos de imersão em jogos: Imersão Tática, Imersão Estratégica e Imersão Narrativa. A imersão tática está ligada a atividades rápidas que demandam muita concentração. Normalmente, o jogador nesse estado tem algumas de suas atividades cerebrais desligadas para que fique basicamente olhos e mãos, em suma, reflexo ou reação. O melhor exemplo de imersão estratégica é um jogador de xadrez pensando em suas próximas jogadas. Esse tipo de imersão está relacionada ao raciocínio, à lógica e à elaboração de estratégias. De acordo com Adams, jogadores nesse tipo de imersão não se preocupam com o enredo do jogo senão apenas com as possibilidades estratégicas. A imersão narrativa em jogos, por sua vez, é bem semelhante à imersão em filmes, por exemplo. Ela está relacionada com a história e narrativa dos personagens do jogo.

Além de sua ampla aplicação em jogos, contudo, a VR também vem sendo utilizada com outros objetivos em outros ambientes totalmente diferentes. Embora a tecnologia tenha sido pensada para desenvolver ambientes 3D para jogos, uma indústria nuclear do

---

<sup>2</sup><https://www.slideshare.net/alexyoung/hack-reality-awe>

Reino Unido a utiliza para outros fins, como ajudar a esclarecer e resolver problemas de planejamento e segurança [4] através da modelagem em três dimensões, por exemplo.

Além disso, a VR ganhou grande reconhecimento ao mostrar sua eficiência no tratamento dos mais diversos tipos de doenças. Medeiros observou que, dentre outras coisas, diagnósticos de olhos com glaucoma através de VR são, pelo menos tão eficientes quanto, senão mais eficientes que, o método tradicional de detecção da doença [5].

Semelhantemente, um estudo de comparação entre a Terapia com VR (*Virtual Reality Therapy* - VRT) e a Terapia Cognitiva Comportamental (*Cognitive Behavioral Therapy* - CBT) na esquizofrenia com alucinações refratárias de tratamento mostra o quão promissora é a VRT nesse tipo de tratamento. Dellazizzo *et al.* [6] concluíram preliminarmente que VRT mostra melhorias significativas na gravidade das Alucinações Verbais Auditivas após o tratamento, ao contrário da CBT. Ao final, eles alegaram: “A VRT também produziu diminuições significativas nas crenças de que as vozes são onipotentes e malévolas, na sintomatologia psicótica, nos sintomas depressivos e no aumento da qualidade de vida.” (traduzido pelos autores)

Mohammed Alfadil [10] deu um outro uso para a VR quando publicou sobre o jogo, *House of Languages*, que busca conscientizar os educadores do uso da nova tecnologia de VR como método eficaz de aquisição de vocabulário no processo de aprendizagem. Os resultados deste estudo, no final do período experimental, indicaram que os estudantes que usavam o novo método (o uso do jogo) obtiveram maior desempenho na aquisição de vocabulário do que aqueles que usavam o método tradicional. Este estudo pode ir além dos métodos anteriores levando o estudante a melhorar o grau de aproveitamento em sala de aula.

Todavia, jogadores acostumados com essa tecnologia reagem ao efeito com menos intensidade. Um estudo liderado por Erik Geslin *et al.* [7] compara emoções em jogadores e não jogadores após uma imersão em um ambiente 3D projetado para induzir o medo. Eles concluíram, após analisar os resultados, que o nível de medo nas pessoas que se consideram não-jogadores é maior do que nos jogadores. Contudo, os jogadores ainda assim sofrem os efeitos.

Atualmente, os dispositivos de realidade virtual evoluíram muito. Empresas como Samsung, Facebook, Sony, HTC e Valve estão investindo pesado nessa tecnologia que ganhou grande notoriedade nos últimos anos. Dentre elas, o Facebook se destaca pelo lançamento de seu último HMD, o Oculus Quest 2<sup>3</sup>. O motivo do destaque é seu baixo custo, a ausência da necessidade de estar conectado a algum dispositivo, como um computador, e seu número de vendas. Esse aparelho, em poucas semanas de seu lançamento,

---

<sup>3</sup><https://www.oculus.com/quest-2/>



Figura 2.4: Dispositivo de realidade virtual HTC Vive utilizado nesse trabalho. (Retirado de <sup>7</sup>)

superou os números de venda agregado de todos os outros dispositivos dessa mesma empresa.

A oferta de dispositivos que se possui hoje em dia tem se tornado cada vez mais diversa, resultado do crescimento constante desse mercado. Já é possível encontrar aparelhos de diversos usos e custos. Existem aparelhos de uso militar, como o XTAL<sup>4</sup>, e também o StarVR<sup>5</sup>, que possui um campo de visão ultra largo: 210° contra os 100° da maioria dos dispositivos populares. O dispositivo utilizado nesse experimento é o HTC Vive (Figura 2.4).

## 2.3 Body Ownership em Realidade Virtual

O efeito de BO fora de ambientes de realidade virtual é um tanto diferente do efeito inserido em ambiente de realidade virtual. Sem a VR, alterar a associação normal entre o toque e seu correlato visual poderia resultar na percepção ilusória de um membro falso como parte do próprio corpo. No entanto, sob imersão em VR, o cenário de ilusão é ainda mais forte, podendo levar o indivíduo a uma completa substituição corporal (*full body ownership*) [11].

---

<sup>4</sup><https://vrgineers.com/xtal/>

<sup>5</sup><https://www.starvr.com/product/>

<sup>7</sup><https://time.com/4280792/htc-vive-review/>

Nesse aspecto, o estudo de Banakou *et al.* [13] mostrou que, mesmo em condições bastante distintas da realidade, existe uma forma de adaptação perceptiva e provavelmente comportamental das ilusões de propriedade do corpo que ocorrem em função do tipo de corpo virtual utilizado. O experimento mostrou a presença forte da ilusão em duas situações parecidas. Uma em que adultos possuíam corpos virtuais de crianças de quatro anos, e outra em adultos com corpo de adulto escalado para o tamanho de criança. A substituição corporal, portanto, pode resultar em sinais comportamentais no mundo virtual.

Dessa forma, a realidade virtual oferece a possibilidade única de experimentar uma representação virtual do nosso próprio corpo. Além disso, contra intuitivamente, Andrey Krekhov *et al.* [14] apontaram um grande potencial da propriedade corporal animal em jogos de VR. Eles demonstraram que a propriedade do corpo virtual também é aplicável a não-humanoides e pode até superar os avatares semelhantes a humanos, em certos casos. Ou seja, não há necessidade de utilizar avatares humanoides para que haja o efeito de propriedade corporal. Porém, neste contexto, eles sugeriram que a abordagem em primeira pessoa seja mais viável do que em terceira pessoa. Contudo, ainda há muito o que ser estudado sobre essa abordagem.

Além disso, os efeitos consequentes da ilusão repercutem também do corpo real do indivíduo. M. Slater *et al.* [12] notaram uma desaceleração nos batimentos cardíacos do voluntário em seu experimento após uma ameaça ao corpo virtual. Portanto, além de sinais comportamentais, a sensação de propriedade corporal também é percebida por sinais fisiológicos no mundo real. Complementarmente, eles afirmam que a realidade virtual imersiva também é extremamente útil para o estudo da representação e da experiência do corpo, uma vez que suporta manipulações experimentais que seriam inviáveis, com a tecnologia sendo madura o suficiente para representar os corpos humanos e seus movimentos.

No entanto, embora a coincidência entre o tato observado e o estímulo de tato sentido, ou sincronia VT, ser essencial para a ilusão de BO [27], a forte coincidência espacial dos corpos virtual e real, ou congruência VM, não é estritamente necessária para uma ilusão de propriedade de corpo inteiro. O método demonstrado por Kristopher J. Blom *et al.* [28], mostra que, em perspectiva de primeira pessoa, uma pequena rotação no corpo virtual (uma não coincidência espacial, porém mantendo-se a sincronia visual-motora) não afeta significativamente o efeito de propriedade corporal. Ou seja, a ilusão de BO em corpo inteiro não é prejudicado significativamente se a mão do avatar, por exemplo, estiver ligeiramente rotacionada, porém mantendo a sincronização dos movimentos real e virtual.

Por outro lado, embora uma estimulação que preserve a congruência VM contribua

melhor para a obtenção da ilusão, Elena Kokkinara e Mel Slater [29], perceberam que a interrupção de qualquer uma das condições, congruência VM e sincronia VT, por meio da estimulação assíncrona, contribuem igualmente para uma possível interrupção na ilusão. É, portanto, muito importante que haja uma congruência correlacional entre essas duas condições.

Muitas pesquisas sobre *Body Ownership* que têm sido feitas nos últimos tempos são para entender quais são as condições mínimas necessárias para que o fenômeno ocorra ou para aumentar sua força [15, 16, 17, 18]. Entretanto, uma vez que a ilusão se estabelece, pouco tem sido estudado sobre o que é necessário para interrompê-la [19]. Entender o ponto de interrupção da ilusão se faz necessário não só para uma melhor compreensão de nós mesmos como também para se evitar situações que causam quebras relevantes para não causar a interrupção da ilusão durante o desenvolvimento dos jogos e até mesmo no seu uso clínico para tratamento psicológicos ou de doenças em geral em que a imersão se faz necessária.

# Capítulo 3

## Problema e Experimentação

Este capítulo apresenta mais detalhes sobre o problema definido na Introdução, seguido da especificação do experimento proposto e como ele foi estruturado, além do relato sobre a etapa de implementação do ambiente virtual utilizado no experimento.

### 3.1 Detalhamento do Problema

Uma vez que a ilusão está acontecendo, não se sabe sobre a natureza da ilusão no que diz respeito ao que é necessário para mantê-la. Colocando em termos lúdicos, não se sabe se a ilusão é como uma torre de alvenaria, uma torre humana ou um meio termo entre elas em relação à sua resiliência. A torre de alvenaria possui um esforço inicial para se construir mas, depois de concluída, requer apenas atuações pontuais e raras para sua manutenção. Uma torre humana também possui um esforço inicial para ser feita, entretanto, diferentemente da torre de alvenaria, ainda é necessário um grande e contínuo esforço para que ela não desabe depois de finalizada.

A sincronia visual-tátil (*Visual-Tactile* - VT) é a sincronia entre o estímulo visual de tato, neste caso, no ambiente virtual, e o estímulo de tato propriamente dito no mundo real. A correlação entre a sincronia VT e a congruência visual-motora (*Visual-Motor* - VM) tem sempre sido estudada quando este é o assunto em questão. Como vimos no capítulo anterior, ambas contribuem fortemente para o estabelecimento da ilusão. Já para a interrupção, não se sabe a intensidade dessa contribuição.

Dessa forma, a sincronia VT é um dos componentes mais importantes para o estabelecimento da ilusão de *Body Ownership* (BO). Portanto, imagina-se que a quebra de expectativa nessa sincronia causa a interrupção da ilusão em ambientes de realidade virtual (*Virtual Reality* - VR). Porém, é perfeitamente possível que os requisitos para a manutenção da ilusão sejam diferentes do necessário para o estabelecimento da mesma.

Dessa forma, esse estudo analisa se é correto afirmar que essas assincronias (quebras de expectativa) aumentam a fragilidade da ilusão, podendo causar sua interrupção.

Neste contexto, este trabalho visa analisar se as quebras de expectativa VT causam a interrupção da ilusão e, em caso afirmativo, se essa interrupção é afetada diferentemente entre as duas condições de assincronia - Quebra de expectativa Primária (QP) e Quebra de expectativa Secundária (QS). Para essa análise, realizar-se-á um experimento em que serão convidados voluntários para serem inseridos em um ambiente de realidade virtual.

**Quebra Primária** As quebras de expectativa primária (QP) são quebras de expectativa realizadas em ações nos objetivos do voluntário. Ou seja, ao realizar alguma ação consciente em que haja expectativa de estímulo tátil e este, por sua vez, não for sentido. Por exemplo, se o voluntário colocar alguma parte do corpo no caminho de um objeto sólido em movimento com o objetivo de obstruir sua passagem e não sentir o toque quando o objeto encontrar seu braço (ou parte do corpo).

**Quebra Secundária** As quebras de expectativa secundária (QS) são estímulos de tato não sentidos em ações não relacionadas com o objetivo do voluntário. Ou seja, é algo que ele espera sentir, mas não está prestando atenção. Por exemplo, se o voluntário estiver concentrado em fazer alguma ação e, inesperadamente, algum outro objeto passar pelo seu braço e, porventura, ele não o sentir.

## 3.2 Especificação do Experimento

### 3.2.1 Escopo

Se tratando da interrupção da ilusão, existem diversas questões a serem estudadas de infinitas formas possíveis. Por isso, reduziu-se o escopo para analisar apenas a interferência das quebras de expectativa na interrupção. Porém, ainda existe uma infinidade de possíveis tipos de quebras para serem abordadas.

Uma das abordagens que poderia ser estudada é a interferência de um tato diferente do esperado. Analisar se um objeto maciço e firme atingir o corpo virtual do usuário, mas ele sentir um toque macio e gelatinoso, por exemplo, pode ser considerado assincronia e avaliar se causa interrupção da ilusão ou não.

Semelhantemente, outro ponto que poderia ser analisado é se a frequência da quebra da sincronia afeta de alguma forma a volatilidade da manutenção da ilusão. Ou seja, testar se aumentar a frequência das quebras de expectativa fazem com que quebras mais fracas já sejam suficientes para a interrupção da ilusão.

Também poderia se considerar o grau da discrepância entre a expectativa e a percepção (tanto VT quanto VM). Imagina-se que quanto maior a diferença entre a expectativa e a percepção, maior a facilidade de interrupção da ilusão. No entanto, não há estudos que comprovam essa estimativa.

Além disso, poderia ser avaliada a questão da carga cognitiva ou emocional do indivíduo. Analisar se a facilidade ou dificuldade da tarefa a ser realizada (ou mais estressado/relaxado, empolgado/amedrontado o sujeito estiver) afetaria a tolerância às assincronias.

Outro ponto que poderia ser considerado é que os estímulos e suas quebras de expectativas podem ser bidirecionais. Por exemplo, ter o estímulo virtual sem a presença do real é diferente de ter estímulos reais sem a expectativa no virtual. Ou seja, testar se, ao usuário receber um estímulo de tato real sem que exista a expectativa desse mesmo estímulo no ambiente virtual, ocorre a interrupção da ilusão e o quão intenso isso precisa ser para que ela ocorra.

Portanto, para este projeto, o escopo está limitado ao estudo da interferência apenas das QP e QS da sincronia VT na ilusão de BO, como mencionado anteriormente. Além disso, se diferentes tipos de quebras (QP e QS) afetam a interrupção em intensidades diferentes. Dessa forma, será mantida a congruência VM em todo o tempo a para que não interfira na interrupção da ilusão.

### 3.2.2 Ambiente virtual

Antes que o voluntário se submeta à VR, ele será informado que a experiência consiste em um teste da interrupção de ilusão de BO e, com isso, também esse conceito será brevemente explicado. Além disso, para o controle das interrupções será solicitado que, durante todo o experimento, ele informe toda vez que perceber que saiu da ilusão através de alguma palavra-chave. De igual modo, será explicado como funcionam os controles e sua tarefa dentro do ambiente virtual. Então, durante a recepção do voluntário, o Questionário 1 é apresentado para que ele o responda. Este questionário está disponível no Apêndice C.

Para isso, foi criado um ambiente virtual em Unity3D<sup>1</sup> onde cada voluntário será estimulado com sinais visuais síncronos dos seus movimentos reais (VM) em todo tempo e sinais táteis congruentes com os sinais visuais (sincronia VT) com o objetivo de induzir a ilusão de *full body ownership* com o máximo de confiabilidade possível. Os voluntários ficarão nesse ambiente por um tempo para garantir que a ilusão esteja acontecendo de acordo com o roteiro do experimento disponível no Apêndice A.

---

<sup>1</sup><https://unity.com/pt>

Foram selecionados 33 voluntários para participar do experimento. Após o período de aclimatação, ou tutorial, cada voluntário será alocado em um grupo de testes de mesmo tamanho. O Grupo 1 será o grupo de controle, em que não ocorrerão quebras de expectativa durante toda a experiência. O Grupo 2 será o grupo em que somente ocorrerão QP. E, por fim, o Grupo 3 será o grupo em que ocorrerão somente QS. A partir de então, o voluntário responderá o Questionário 2 dentro do ambiente virtual e, então, começarão a ser introduzidas assincronias VT de acordo com cada grupo em momentos pré-definidos por, aproximadamente, dez minutos. Ao final deste período, o Questionário 3 deverá ser respondido para completar a coleta de dados. Os detalhes estão especificados no roteiro do experimento.

### 3.2.3 Resultados esperados

Caso as quebras de expectativa VT, de fato, causem interrupções da ilusão, o Grupo 1, de controle, não pode relatar muitas interrupções na ilusão, espera-se quase nenhuma interrupção. Em adição, o motivo de não haver interrupções deve ser porque os voluntários sempre estiveram na ilusão e não o contrário. Além disso, os Grupos 2 e 3 devem ter um número significativo maior de interrupções em relação ao Grupo de controle.

Semelhantemente, caso os dois tipos de quebras (QP e QS) afetem a interrupção da ilusão em intensidades diferentes, quantidade de interrupções relatadas no Grupo 2 tem que ser diferente da quantidade de interrupções do Grupo 3.

## 3.3 Implementação

O ambiente virtual desenvolvido foi adaptado e baseado no tutorial disponibilizado gratuitamente pela plataforma de cursos *online* Udacity<sup>2</sup>. Ele consiste em uma sala de um apartamento em que o voluntário estará sentado numa cadeira em frente a uma mesa de centro e com um controle em mãos. Há uma janela aberta a sua frente que entra um vento (este estímulo de tato foi realizado no mundo real) e um televisor interativo próximo, que será a guia de toda a experiência. Existem, também, vários objetos que deixam o ambiente mais vivo, tais como um rádio tocando música, um relógio fazendo tique-taque, entre outros.

Os *assets* utilizados foram obtidos tanto pelo mesmo tutorial mencionado, quanto pela seção gratuita da *asset store* da própria Unity3D, com exceção do medidor de sinais fisiológicos. Este, por sua vez, foi obtido em partes pela seção gratuita da *asset store* e

---

<sup>2</sup><https://classroom.udacity.com/courses/ud1014>

outra parte foi modelado e texturizado pela equipe de desenvolvimento desse trabalho. Além disso, a cortina e da fita do drone que também foram modelados.

O objetivo da experiência é simplesmente explorar as novas tecnologias do apartamento de acordo com as instruções automatizadas providas pelo televisor interativo. Porém, ao longo das atividades, a congruência dos estímulos que mantêm a ilusão de BO pode ser removida, de acordo com o grupo em que o voluntário está inserido.

Na Figura 3.1(e) é possível ver todo o ambiente montado para esse experimento. Uma versão em maior resolução pode ser encontrada no Apêndice D.1. Nas próximas seções discutiremos o que foi feito neste ambiente em maior detalhes. Já na Figura 3.1(a,b,c,d) estão exibidas várias capturas de telas pelo ponto de vista do voluntário em diversos momentos do experimento.

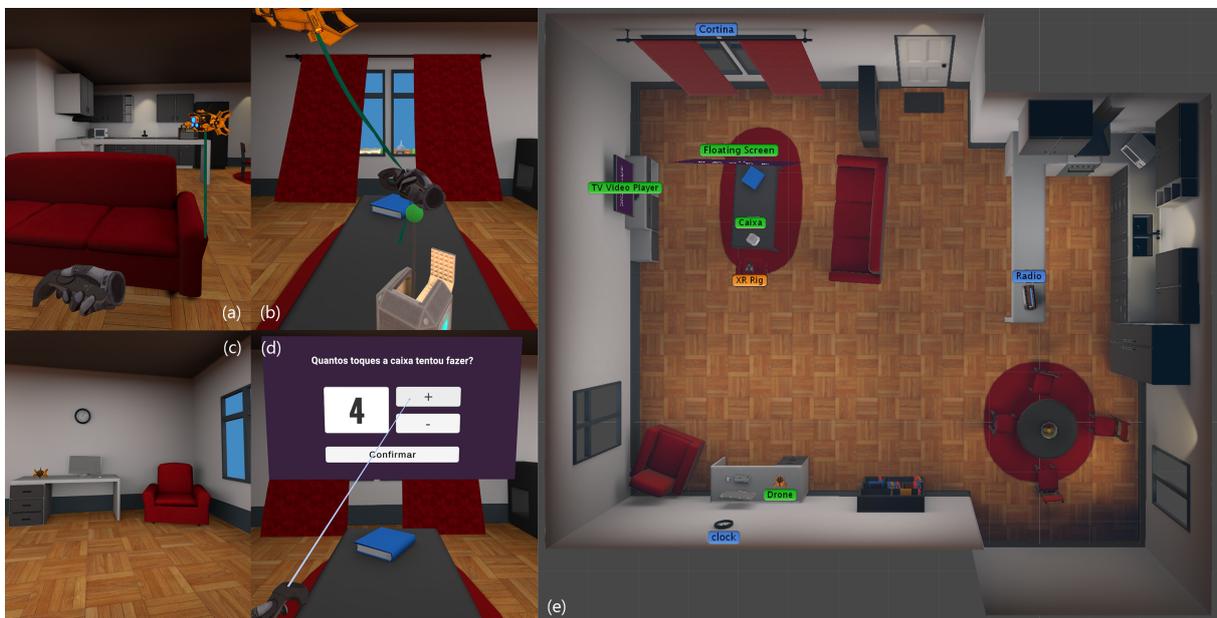


Figura 3.1: Várias capturas de tela do ambiente do experimento.

### 3.3.1 Idealização do experimento

Para testar se a QP e a QS da sincronia VT de fato interrompem a ilusão, é necessário que o voluntário esteja na ilusão. O ambiente experimental e sua experiência guiada foi desenvolvida com a intenção de gerar a ilusão de BO com alta confiabilidade. Para isso, uma fase de tutorial, ou período de aclimatação, foi implementada para garantir que o voluntário seja imerso na ilusão enquanto aprende os controles.

A princípio, ao voluntário se equipar com o dispositivo de VR, já sabendo no que consiste a ilusão de BO, ele entrará no ambiente interativo e terá que informar a cada vez que sentir que a ilusão foi quebrada. A partir de então, a televisão situada em seu campo

de visão inicial será a guia virtual para toda a experiência indicando o que ele deve fazer e como deve se portar.

### **Aclimação**

Para garantir que o voluntário esteja experienciando corretamente cada etapa, o televisor interativo apresentará o Questionário 2 (Apêndice C.2) dentro do ambiente virtual. Nesta fase, o voluntário deve se acostumar com a congruência VM e a sincronia VT, para isso, a guia pede para que o voluntário note que a janela está aberta, por exemplo, e que ele sinta a brisa entrando. Aqui, a sincronia VT na vida real é garantida pelos membros da equipe deste trabalho.

Da mesma forma, a guia também pede para que ele observe o drone sendo ativado para escanear o ambiente. Este passa pelo braço do voluntário algumas vezes com uma fita pendurada para estimular o tato. E, semelhantemente, ativar o mecanismo de aferir os sinais fisiológicos. Com isso, a ilusão de BO está instaurada [11, 27]. Ao final do período de aclimação, já com a ilusão garantida, o voluntário terá um tempo para realizar as mesmas tarefas, porém de forma aleatória (pré-definida no roteiro do experimento). Desta vez, podem haver QP ou QS de acordo com seu grupo.

Para as QPs, será removida, algumas vezes, a sincronia VT através do mecanismo para aferir os sinais fisiológicos que não corresponderá à VT quando algumas bolinhas não encostarem no braço real do voluntário. Para as QS, será removida, algumas vezes, a sincronia VT através da rota do drone que, ao passar pelo braço do voluntário sem que ele esteja concentrado nele, a fita não passará na vida real.

### **3.3.2 Televisor interativo**

A guia da experiência sempre mostrará instruções do que fazer em cada momento. Quando a instrução mudar, um *pop up* abrirá em frente ao voluntário com a nova instrução e, após alguns segundos, ele sumirá, mas continuará disponível no televisor. Desta forma, se o voluntário esquecer ou quiser ler de novo a instrução, ele pode ler no televisor, ou clicar nele para que abra o *pop up* novamente. Cada uma das telas de cada uma das instruções estão disponíveis no Apêndice B.

### **3.3.3 Personagens**

Inicialmente, foram inseridos dois avatares de corpo inteiro à cena, um homem e uma mulher. Eles foram posicionados sentados na cadeira em frente à mesa central. Esses avatares foram obtidos em um pacote gratuito disponibilizado pela *asset store* da Unity3D. No entanto, foram encontradas algumas dificuldades com os avatares de corpo inteiro.

A primeira dificuldade encontrada foi de como dinamizar e sincronizar a altura do avatar com relação à altura do voluntário. Definir a altura da câmera é uma tarefa simples, porém, redimensionar o avatar sem que ele tome proporções irreais e sem que hajam *bugs* é uma tarefa um tanto complicada que leva muito tempo.

## Rigging

Uma das técnicas de animação mais úteis para se animar recursos como modelos 3D ou desenhos 2D é chamada de *rigging animation* [30].

Para manter a congruência VM, fez-se necessária a animação do avatar para que ele não fosse um personagem estático no cenário, e com isso, optou-se pelo uso de *rigging*. Através dessa técnica, existem várias formas de se animar um modelo 3D. Dentre elas, as mais populares são o *Forward Kinematics* (FK) e *Inverse Kinematics* (IK). Além disso, também existe a animação procedural (*Procedural Animation* - PA), que vem crescendo em popularidade, apesar de sua grande dificuldade de implementação.

Ao animar com FK [31], o ângulo de cada articulação deve ser especificado e, então, sua posição rotacional (orientação), ajustada. Para criar a animação final, exige-se um planejamento bastante cuidadoso de cada movimento. Um exemplo prático é na animação de dobrar um braço. Com FK, começa do ombro, segue girando o osso do braço, então o antebraço e o osso da mão no final. Com isso, o posicionamento de cada articulação vai alterando de pai para filho. Ou seja, a posição de uma junta filha é alterada de acordo com a orientação de sua junta mãe.

Já com IK é o inverso [32]. Basta determinar a posição final da mão e a definição da rotação de cada osso anterior é automaticamente calculada até a junta final estar na posição desejada.

Na PA a animação é feita através da mudança dinâmica e em tempo de execução de parâmetros, ou um conjunto de regras (procedimento). Por causa disso, a animação procedural é mais comum em movimentos cíclicos como corrida ou caminhada quando se deseja que eles sejam responsivos a alterações não-previstas sem ter que manualmente animar para cada um desses casos. Como por exemplo, alterar a orientação e posição dos pés de um personagem dependendo da inclinação do terreno em que ele se encontra.

Os *rigs* são *scripts* que executam algoritmos de IK para permitir uma manipulação do esqueleto do modelo de uma forma mais intuitiva para o animador. Quando se adiciona *rigs* que são controlados por código, é possível sobrescrever partes de animações prévias com valores dinâmicos, realizando-se assim uma PA. Um exemplo disso é manipular todo o esqueleto de forma que a mão do avatar permaneça na mesma posição em que o controle do dispositivo de VR está no ambiente de teste.

Visando a facilidade e rapidez na obtenção de um avatar animado que respeite as posições do voluntário, decidiu-se pela utilização do pacote *animation toolkit* embutido na Unity para realizar a animação do avatar no ambiente experimental. Este pacote fornece *scripts* prontos que permitem a animação através de IK.

Além disso, como a posição da cabeça e das mãos são dinâmicas, a ligação entre os parâmetros recebidos do dispositivo e o avatar foi feita com PA. Dessa forma, os *rigs* obtidos do pacote *animation toolkit* se encarregaram de realizar, com IK, todas as rotações e angulações das articulações do avatar.

Foram feitos seis *rigs* ao total. Quatro de cada membro, um no tronco com a cabeça e um no quadril. Para os membros, utilizou-se o *rig two-bones IK* que recebe cinco *game objects*. São eles a base, o meio, a ponta, o *target* e o *hint*. Para manter o quadril sempre sentado na cadeira, utilizou-se o *rig multiposition*, impedindo que o quadril se mexa caso o voluntário mexa o tronco. Para o tronco com a cabeça utilizou-se o *rig chain* que recebe a base e o *target*. Ele faz com que a sequência de *game objects* faça uma curva suave entre si para que atinja o objetivo sem que haja uma angulação extrema e irreal no meio do corpo. A Figura 3.2 mostra um exemplo de configuração para um *rig two-bones*.

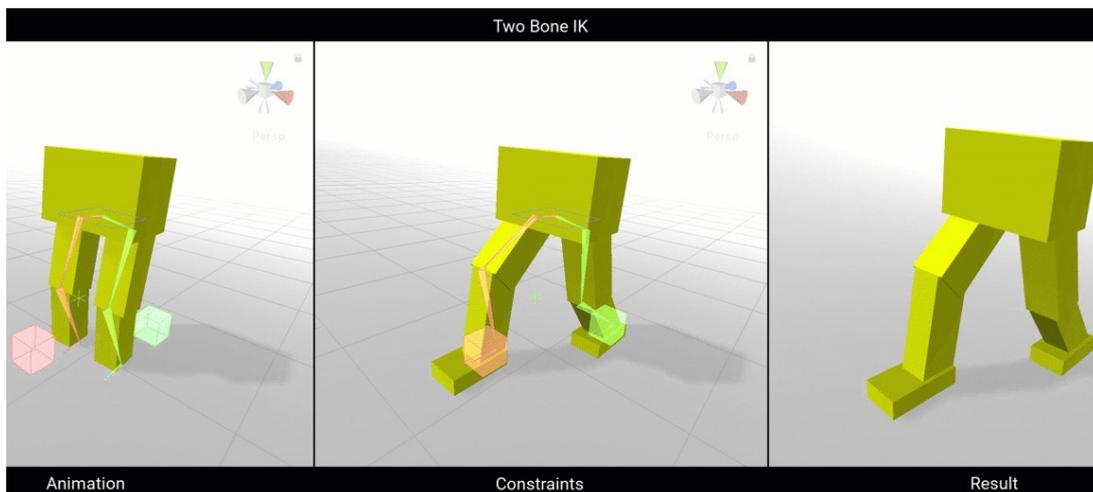


Figura 3.2: Exemplo de *rig two-bones*. (Retirado de <sup>3</sup>)

No entanto, ao finalizar o *rigging* do avatar, notou-se a presença de diversos *bugs* na animação e no avatar em si. Tais como o pulso do avatar era completamente contorcido ao sofrer uma rotação grande do pulso do voluntário, e a geometria interna da cabeça e do corpo do avatar era visível em alguns ângulos. Além da proporção do corpo estar bastante irreal. Isso poderia, involuntariamente, quebrar a congruência VM. Por esse motivo, e devido ao tempo limitado, decidiu-se pela utilização apenas de mãos com controles

<sup>3</sup>[https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.animation.rigging@1.0/manual/images/constraint\\_two\\_bone\\_ik/two\\_bone\\_ik.gif](https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.animation.rigging@1.0/manual/images/constraint_two_bone_ik/two_bone_ik.gif)

e remover o avatar. Os modelos das mãos e dos controles foram obtidas pelo pacote SteamVR. Entretanto, houve a necessidade de manualmente montar o controle, por ter vindo somente em peças separadas, e de modificar as mãos para sempre estarem segurando os controles com uma pose realística.

### 3.3.4 *Scripts*

Para se realizar o controle do que acontece no ambiente virtual em cada instante do experimento, foi implementado um sistema orientado a eventos e que usa por lógica central uma máquina de estados. Essa abordagem foi escolhida para ter uma melhor separação de responsabilidades de cada *script* desenvolvido. Todos eles foram desenvolvidos em C#.

#### **Orientação a eventos**

A implementação do sistema orientado a eventos se deu através de *scripts* que, seguindo o padrão de projeto *singleton*, tem a responsabilidade de serem gerentes sobre certos elementos. Ou seja, somente um *script* é responsável por controlar o comportamento de certo elemento. Dessa forma, o *script* que gerencia o experimento através da máquina de estados não precisa se preocupar com o funcionamento de nenhum deles, sua única preocupação é de solicitar ao gerente que determinado evento aconteça.

Todos os elementos criados que possuem um *script* gerente para o controlar são o rádio, a cortina, a televisão, a caixa, o drone e a interface gráfica de uso do voluntário.

**Rádio** O *script* gerente do rádio é responsável por reproduzir uma música aleatória da lista de músicas disponíveis. Para não ter a chance de se repetir alguma música recentemente tocada, foi implementado um *buffer* circular que armazenava o índice das N-1 últimas músicas tocadas, em que N é a quantidade de músicas disponíveis na lista para serem escolhidas. Além disso, o tamanho desse vetor é limitado entre 0 e 3 (inclusivo). Toda vez que um novo índice é gerado, esse vetor é consultado para se descobrir se aquela música foi recentemente reproduzida. A música somente é reproduzida se seu índice não for encontrada nesse *buffer*. Caso ele seja encontrado, o processo se repete até se encontrar um que não tenha sido. Ele não possui nenhum evento que algum outro *script* poderia se inscrever, mas disponibiliza publicamente as funções de ligar e desligar o rádio.

**Cortina** O *script* gerente da cortina, semelhantemente ao gerente do rádio, não possui nenhum evento para se inscrever, mas disponibiliza as funções para ligar e desligar o vento. Quando o vento está ativado, esse *script* controla as acelerações externa e aleatória (ambos sendo campos do componente *Cloth* do Unity). O valor de cada aceleração, por eixo e

por tipo, é controlada pela função

$$Intensity = \left( \frac{1 + \cos(2\pi\omega\Delta t + \pi)}{2} \right)^\gamma$$

$$Acceleration_{[tipo,eixo]} = Amplitude_{[tipo,eixo]} * Intensity$$

onde  $\Delta t$  é o tempo decorrido desde o momento que o vento foi ligado pela última vez,  $\omega$  é o inverso do período entre cada “passagem de vento” e  $\gamma$  é para determinar o quão rápido será a alteração da intensidade do vento. Um valor de  $1 < \gamma$  faz o vento se comportar como fortes rajadas regulares, enquanto um valor  $0 < \gamma < 1$  simula um vento constante que somente tem momentos curtos de calmaria. Assim como o gerente do rádio e da cortina, ele disponibiliza publicamente as funções para ligar e desligar.

**Televisão** O *script* gerente da televisão é responsável por reproduzir o vídeo que for solicitado à ele na televisão e na “tela flutuante” que fica logo à frente do voluntário, como demonstrado na Figura 3.3. A tela flutuante permanece visível somente enquanto o vídeo está reproduzindo. Cinco segundos após o vídeo terminar ela desaparece, podendo ser reexibida por 5 segundos ao se clicar na televisão. A posição da tela flutuante é fixa, porém sua orientação é sempre a média entre uma direção padrão e a direção que apontaria diretamente para a cabeça do voluntário.

Esse gerente disponibiliza as funções de reproduzir um determinado vídeo solicitado da lista, reproduzir o próximo vídeo, parar o vídeo e reexibir a tela flutuante, e disponibiliza um evento que é disparado quando o vídeo termina de ser executado.

No apêndice B se encontra imagens que contêm o texto final do que aparece em cada tela.

**Caixa** O *script* gerente da caixa é responsável por ser uma camada de abstração acima da máquina de estados interna usada pelo Unity para controle da animação. Esse *script* expõe controles sobre a abertura e fechamento da caixa, assim como da realização dos toques e permitir a inscrição em eventos como a abertura, o fechamento e a realização dos toques.

**Drone** O drone possui 3 pontos de controle: a base, observando a janela e observando o rádio. É somente quando ele viaja do ponto de controle de observação do rádio para a base que existe a chance da fita pendurada nele encostar no voluntário. O *script* gerente do drone possui somente uma função pública que é a de ordenar que o drone vá para o próximo ponto de controle. Ele também expõe dois eventos: um para quando ele chega

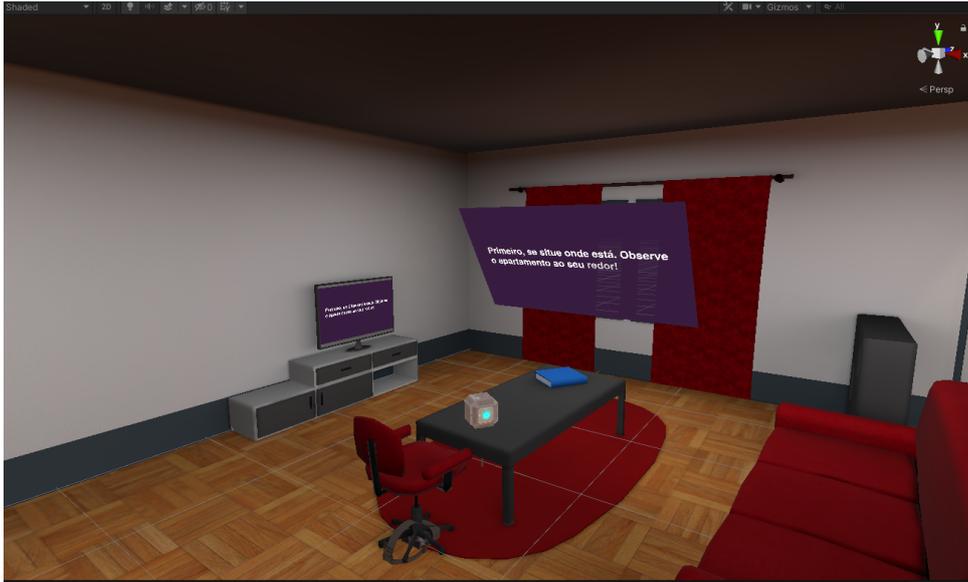


Figura 3.3: Exemplo da tela flutuante e da televisão exibindo o mesmo vídeo

no ponto de controle ao qual ele estava viajando; e, um para quando ele passa pelo ponto esperado de se haver um toque da fita na mão do voluntário.

**Interface gráfica do voluntário** Junto com a tela flutuante controlada pelo *script* gerente da televisão, existe uma interface gráfica (*User Interface*, UI) na qual o voluntário pode interagir. Nela existem telas que são questionários em que o voluntário precisa preencher, uma delas sendo para o voluntário inserir a quantidade de toques que ele contou a bolinha fazendo. O *script* gerente da UI do voluntário controla essas telas, disponibilizando funções para exibi-las ou escondê-las, além do evento que notifica quando a inserção de dados é finalizada.

### UI dos pesquisadores

Além da tela que o voluntário vê no óculos de VR, foi criada uma segunda tela com informações para os pesquisadores conduzindo o experimento (Figura 3.4). Nessa tela, pode-se enxergar o que o voluntário vê, porém com um campo de visão um pouco maior e um quadro vermelho como marcação de onde aproximadamente começa o campo de visão do voluntário. Além disso, nessa tela secundária há registros importantes para condução do experimento, tais como o tempo decorrido, o tempo para o próximo estado, uma visão de outro ângulo do ambiente e um botão de controle para iniciar o experimento de acordo com o grupo da pessoa (Grupos 1, 2 ou 3, como discutido na Seção 3.2.2), dentre outros.

## Máquina de estados

O fluxo do experimento no ambiente foi programado orientado a estados. Cada estado representa uma atividade relevante ao experimento. Como por exemplo aclimatação ao ambiente ou ensinar sobre o comportamento do drone. Isso tudo foi feito usando classes auxiliares que são usadas somente pelo *script* de gerente do experimento.

As Figuras 3.5 e 3.6 representam em forma de fluxograma como era todo o processo do experimento.

Foram criados 8 estados para controlar o andamento do experimento:

**Estado de Espera** Esse estado recebe quanto tempo deve esperar em segundos e o próximo estado para qual ir a término do tempo.

**Estado 1: Inicial** Simplesmente reproduz os primeiros vídeos de boas vindas e introdução ao experimento.

**Estado 2: Tutorial de clique na tela** É onde ocorre o tutorial de como clicar na tela da televisão. Primeiro um vídeo é exibido explicando o que deve ser feito. Se o voluntário demorar mais de 15 segundos desde o começo desse estado, são exibidas guias-laser vermelhas para indicar para onde o voluntário está apontando. Ao se clicar na televisão, o próximo estado começa. Essas guias-laser são roxas e são visíveis somente quando se estão sob um alvo válido. Somente nesse estado elas ficam vermelhas para alvos inválidos como forma de ensinar sobre esse comportamento. Foi decidido deixar essas guias-laser invisíveis no resto do jogo quando sob um alvo inválido para não causar distrações ao voluntário.

**Estado 3: Explicação sobre drone** Informa sobre a existência do drone e que ele fará rondas regulares pelo apartamento. Também aproveita para ligar o vento no momento que o drone é ligado, como forma de disfarçar o som do ventilador sendo ligado na vida real.

**Estado 4: Tutorial sobre a caixa** Responsável por expor ao voluntário informações sobre o dispositivo que se encontra à sua frente (“Dispositivo inovador de aferição de sinais psicofisiológicos”, a “caixa na sua frente”). Também demonstra como ela se movimenta e expõe como é o comportamento esperado do voluntário ao interagir com a caixa. Ao mesmo tempo que realiza isso, autoriza drone a ir se movimentando aos poucos até se chegar na posição pronta para a próxima etapa.

**Estado 5: Teste de toque** Nesse estado, realiza uma simulação do que vai acontecer durante todo o experimento já solicitando a participação ativa do voluntário. Enquanto a caixa realiza os toques, autoriza o drone a ir para a base, causando a fita pendurada nele tocar a mão do voluntário enquanto interagem com a caixa como solicitado.

**Estado 6: Questionário** Exibe as perguntas do questionários projetadas para serem realizadas durante o experimento e espera elas serem preenchidas. Assim que o voluntário termina de preencher o formulário, esse estado registra as respostas e exibe um último vídeo.

**Estado 7: Experimento** Esse é o maior estado de todos. Sua única responsabilidade é ordenar que o drone vá para o ponto de controle seguinte e que a caixa realize uma quantidade pré-determinada de toques com uma frequência também pré-estabelecida. Toda vez que a caixa encerra sua execução, é exibida uma UI para o voluntário inserir quantos toques foram realizados.

Esse estado foi implementado seguindo uma lógica de percorrimento de vetor. Existem vários vetores de mesmo tamanho que representam toda a informação daquela execução. As informações são: quanto tempo (em segundos) o drone deve esperar antes de começar a próxima ronda, quanto tempo a caixa deve esperar, quantos toques e qual intervalo entre eles a caixa deve fazer no próximo teste e se deve haver uma QP ou QS proposital nessa próxima execução da caixa ou passagem do drone.

Toda vez que a UI da quantidade de toques é finalizada, o estado agenda a abertura da caixa, as execuções dos toques, o fechamento da caixa e a exibição da UI. Se no momento em que esse agendamento for realizado o drone já tiver finalizado sua ronda e pousado na base, o tempo da próxima decolagem também é agendado.

Devido à forma que foi implementado, os tempos de execução de cada caixa e o tempo de ronda do drone, foram estabelecidos: 6 execuções de caixa onde se ocorre QPs para voluntários do Grupo 2; e, 3 rondas do drone onde se ocorrem as Qs para voluntários do Grupo 3.

### 3.3.5 Registros

Para auxiliar a análise de dados que é feita após a realização dos experimentos, foi-se implementado um *script* chamado de *Logger*. Assim que o programa era iniciado, esse *script* procura pela pasta de logs. Se ela não existir, cria uma. Encontrando essa pasta de logs, ele gera um nome-candidato para o arquivo de logs dessa execução seguindo o padrão *YYYY-MM-DD\_N.csv* (começando com  $N = 0$ ) e verifica se já existe algum arquivo como esse nome. Se já existir dito arquivo, ele incrementa o valor de  $N$  e tenta

novamente. Esse processo é repetido até não se encontrar nenhum arquivo com o nome-candidato. Assim que essa condição é atingida, um arquivo com esse nome é gerado, o *Logger* é iniciado e o resto do programa é executado.

Ao final da execução do programa, o *Logger* termina de escrever tudo que por acaso ainda esteja pendente, fecha o arquivo e permite o resto do programa se encerrar.

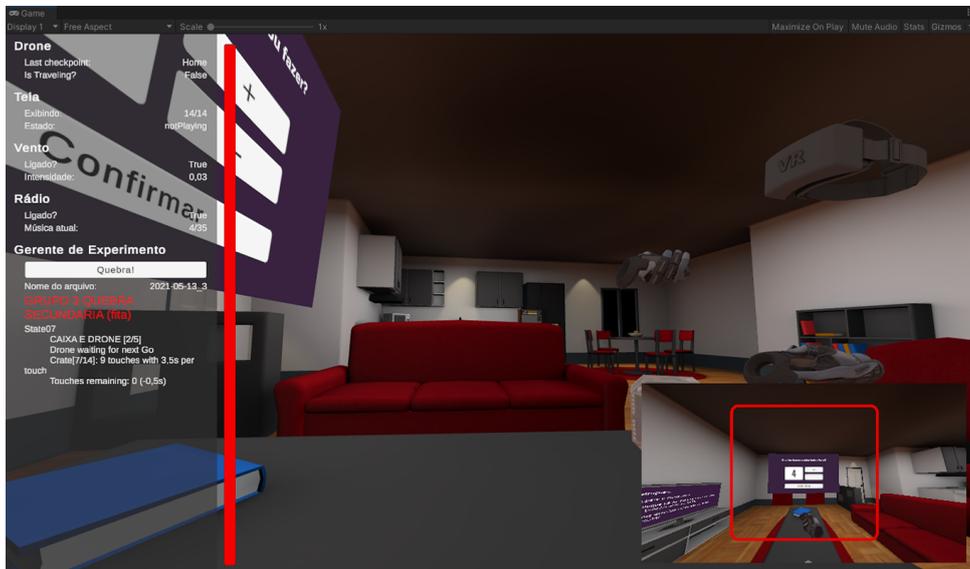
Assim que o *Logger* inicia ou finaliza, ele também registra esses momentos. Ao final ele imprime quanto tempo levou entre esses dois momentos. Esse *script* expõe somente uma função, chamada *Log*, que recebe uma string com o que deve ser adicionado ao arquivo de logs. Nessa função, se é obtido o *timestamp* no fuso horário local e a informação recebida é concatenada à string representante do timestamp, e então é adicionada como uma nova linha ao final do arquivo.

Em diversos momentos, vários *scripts* usam essa classe para se registrar informações importantes ou potencialmente relevantes. Por exemplo, o gerente de experimento usa o *Logger* para registrar as respostas dadas pelo voluntário nas UI de questionário e quantidade de toques, além de registrar, ao final do experimento, um relatório final com informações como quantas quebras foram reportadas. Outras informações logadas por outros *scripts* são, por exemplo, quando um toque da bolinha acontece ou quando o vento é ligado.

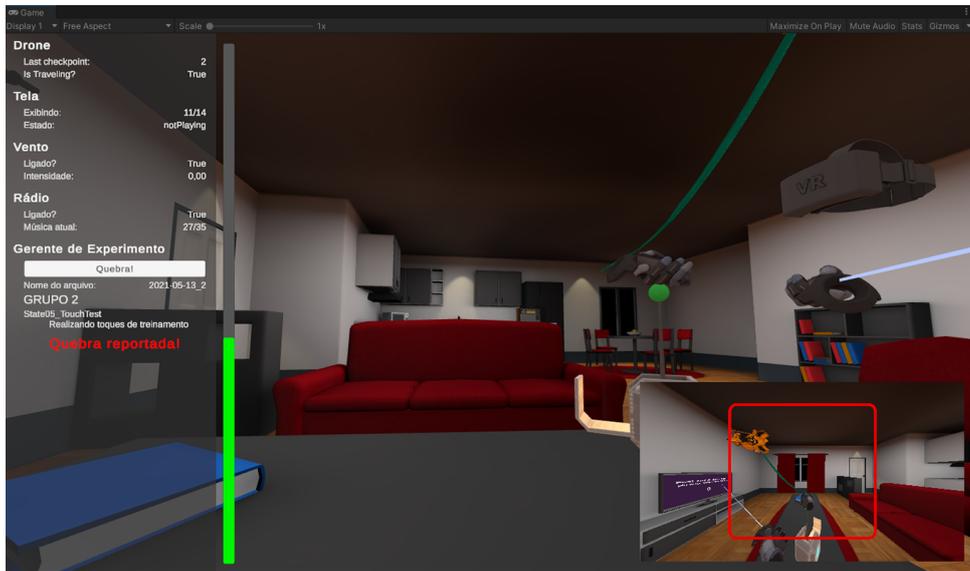
Foi escolhido o formato de arquivo *.csv* devido a diversos motivos. Dentre eles:

- Formato aceito por diversos editores de texto e planilhas;
- Formato fácil de ser trabalhado por ser texto puro;
- Mesmo formato já utilizado pelo Google Forms, que é onde a outra metade dos dados foram coletados; e,
- Permite uma formatação básica sem aumento relevante de custo computacional ou de desenvolvimento, permitindo uma segmentação mais semântica da informação registrada.

Esses registros foram projetados para facilitar a análise dos dados e perceber padrões nas interrupções da ilusão para saber se elas estavam acontecendo nos momentos esperados, além de se armazenar outras possíveis informações relevantes.



(a)



(b)

Figura 3.4: Duas capturas de telas da visão dos pesquisadores em momentos diferentes do experimento

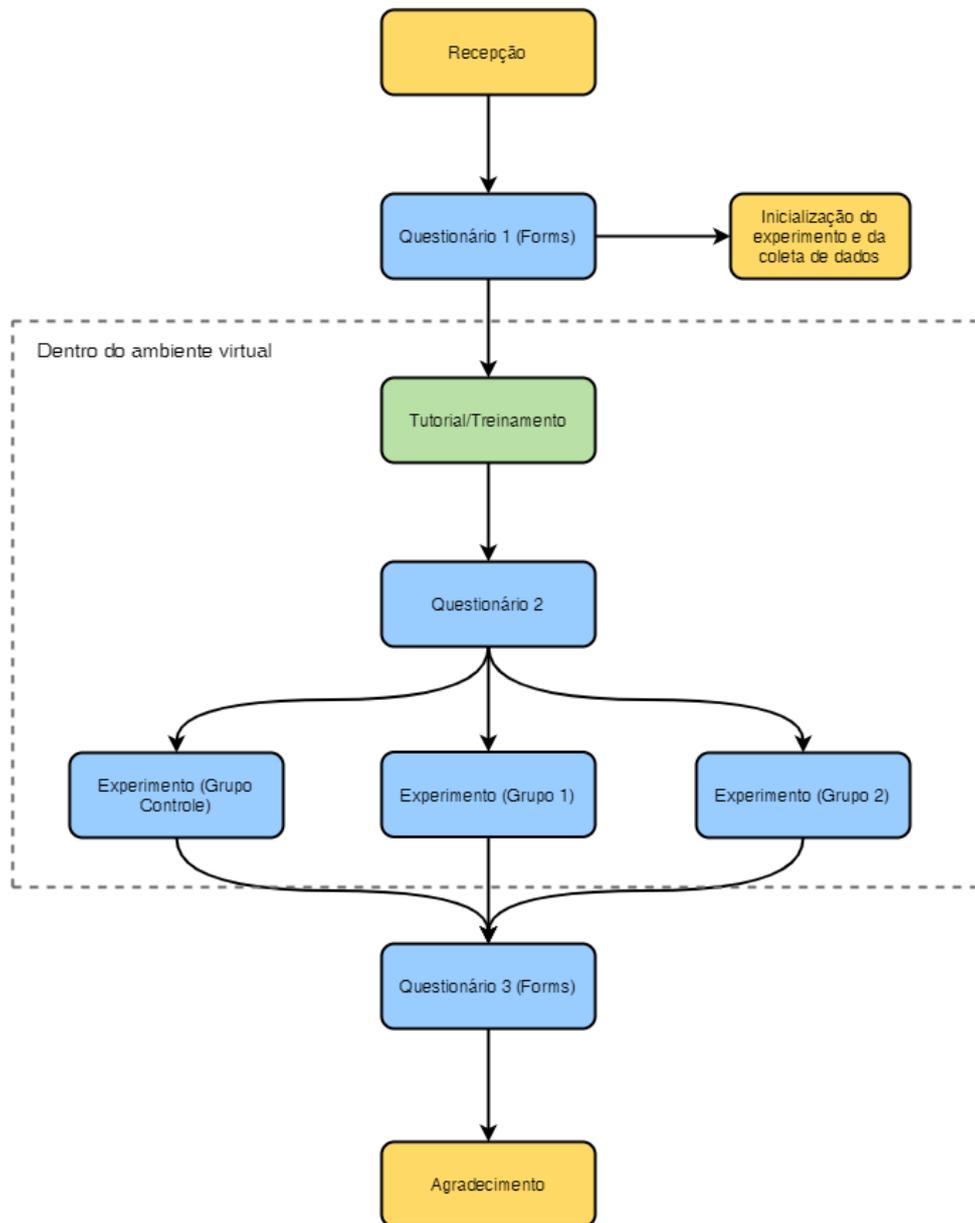


Figura 3.5: Fluxograma de todo o experimento

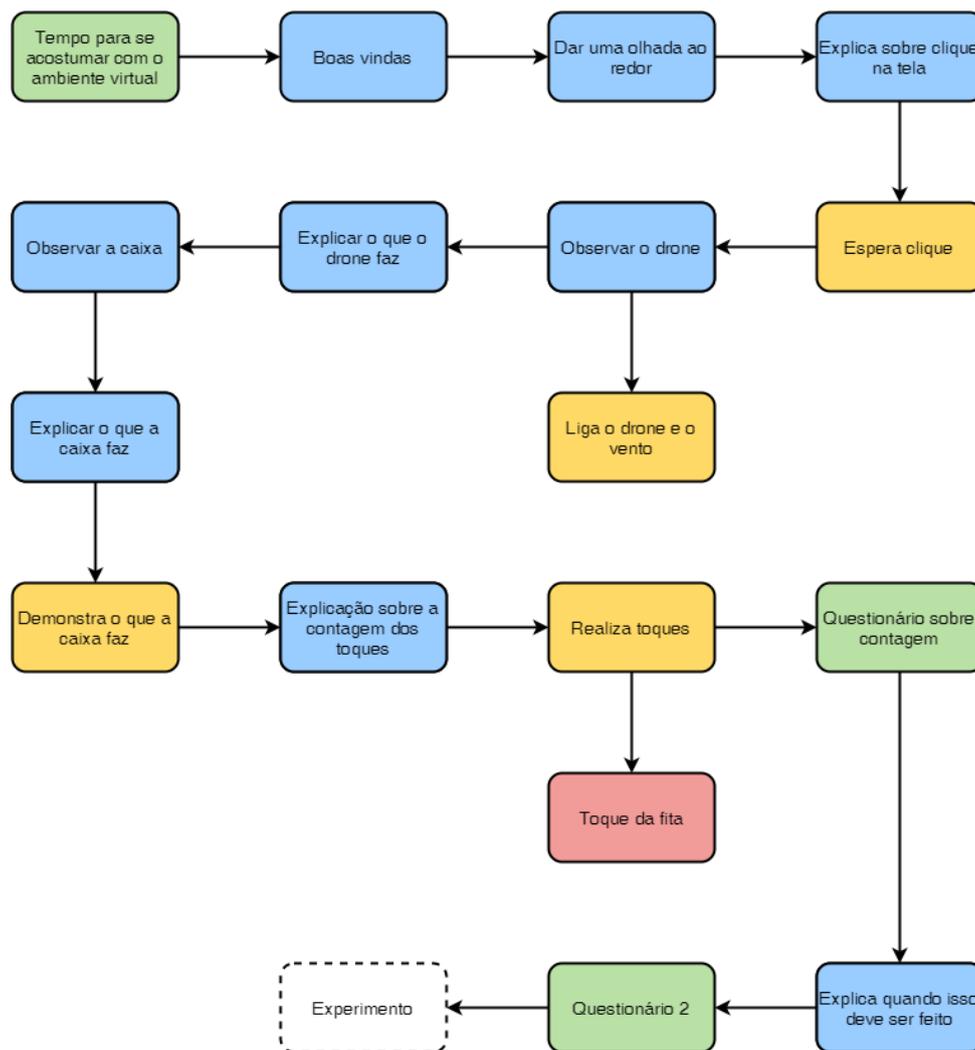


Figura 3.6: Fluxograma do tutorial

# Capítulo 4

## Análise de Dados e Resultados

### 4.1 Testes Piloto

Após a finalização de toda a parte de implementação, foram realizados alguns testes para detectar possíveis problemas, *bugs* e dificuldades de execução do experimento. Esses testes seguiram exatamente o mesmo roteiro dos testes oficiais (Apêndice A). Seus resultados mostraram alguns problemas como:

1. A organização do equipamento de VR estava mal posicionada, pois em alguns momentos os controles perdiam o rastreamento e, com isso, tomavam posições aleatórias. Para corrigir isso, o centro do ambiente foi alterado e re-calibrado para que não haja interferências no rastreamento do controle. Além disso, o monitor para controle de quem conduz o experimento estava distante e, portanto, foi aproximado para os testes oficiais.
2. A interface para a pessoa que conduz o experimento estava incompleta e, por isso, foi sentida uma grande dificuldade em manter a sincronia dos estímulos durante o experimento. Para corrigir isso, primeiramente, alterou-se o ângulo da câmera extra. Então, acrescentou-se uma barra estilo de carregamento que representa o movimento exato da bolinha. Além disso, foram inseridas informações como quantos toques a bolinha fará em cada vez que a caixa abrir e quanto tempo leva entre cada toque, qual toque deverá haver interrupção (tanto da bolinha quando da fita do drone de acordo com o grupo que o voluntário está inserido), se o drone passará junto com os toques da bolinha, a possibilidade de registrar o momento da interrupção com qualquer botão do teclado, o nome do arquivo gerado contendo os dados coletados e o tempo para a próxima passada do drone e para a próxima abertura da caixa.

## 4.2 Dados Coletados

Ao final de todas as correções necessárias percebidas através dos testes-piloto, foi dado início à coleta de dados. Ao total foram 33 participantes, sendo 28 dados válidos no final. Os dados descartados decorreram dos testes-piloto e de que alguns voluntários não entenderam perfeitamente sua tarefa e, por isso, não experienciaram de forma correta. O experimento não requer prévio conhecimento ou experiência com a tecnologia ou com os conceitos abordados e nem alguma faixa etária específica. Além dos pesquisadores, era permitida a presença de somente um voluntário por vez e sem acompanhantes (Figura 4.1).



Figura 4.1: Imagem capturada durante o experimento com um voluntário.

Ninguém relatou ter muita familiaridade com VR ou com a ilusão de BO, apenas 3% relataram experiência relevante com VR e 15% com BO, 6% relataram média experiência com VR e 3% com BO, 27% dos voluntários apontaram pouca experiência com VR e 15% com BO. Os que relataram nenhuma familiaridade com VR e com a ilusão de BO foram aproximadamente 63,6% e 66,6% respectivamente, de acordo com o gráfico abaixo (Figura 4.2).

Dentre os voluntários, 14 são do público feminino (42,4%) e 19, masculino (57,6%). Ao total, 22 apresentaram nenhum nível de nervosismo (66,6%) e 26 nenhum nível de insegurança (78,78%), 8 pessoas relataram um baixo nível de nervosismo (24,2%) e 7, de insegurança (21,2%). Já os que apresentaram nível médio de nervosismo somam 3 (9%).

## Experiência com VR e familiaridade com a ilusão de BO

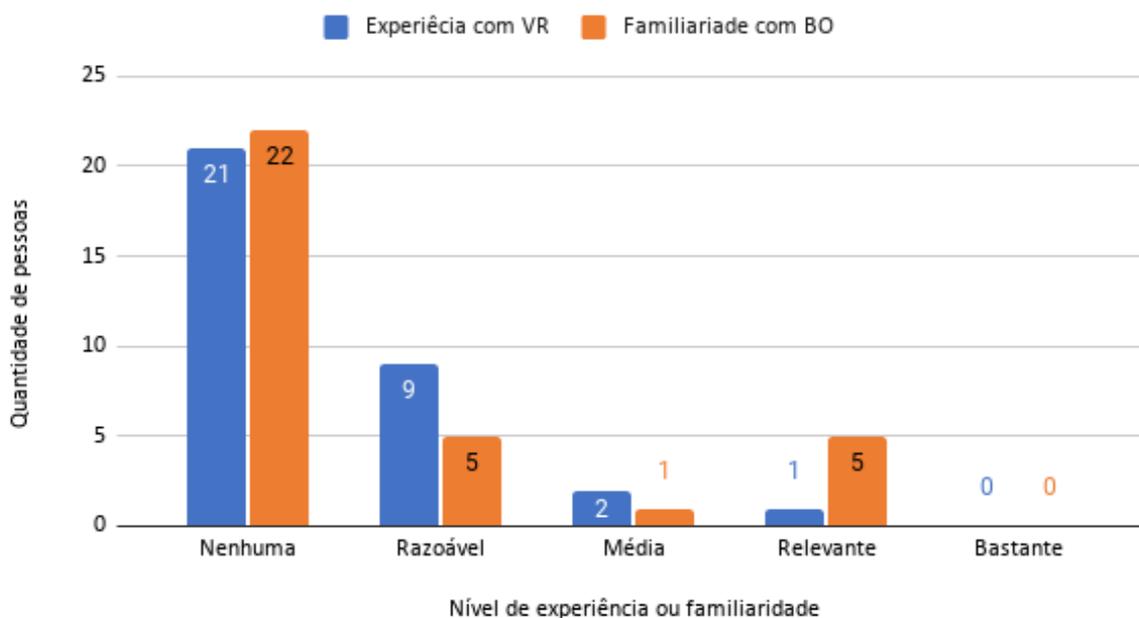


Figura 4.2: Histograma da experiência prévia dos voluntários

Para os níveis médio de insegurança, alto e extremo de nervosismo e insegurança, nenhum número foi contabilizado (0%).

Em relação à faixa etária dos participantes, a média de idade dos voluntários é 27, com um desvio padrão de 12. Sendo a idade mínima 13 anos e a máxima 56 anos, seguindo a distribuição exibida no gráfico na Figura 4.3.

### 4.3 Análise dos Dados

Após o encerramento da coleta dos dados, foram agregados, computados e gerados gráficos das respostas aos questionários para uma melhor compreensão da experiência dos voluntários. Os dados agregados a esses gráficos contêm as perguntas relacionadas à congruência VM (Figura 4.4), sincronia VT e algumas perguntas extras de controle.

Além delas, também foi feito o mesmo procedimento de criação de gráficos para as perguntas sobre o experimento propriamente dito. Essas perguntas, que foram feitas somente ao final de todo o experimento, são relacionadas às interrupções da ilusão propriamente ditas. Podendo ir desde perguntas sobre imersão até percepção sobre o que pode ter causado a interrupção.

Várias informações puderam ser obtidas somente pela visualização da distribuição das respostas nessa forma de gráficos. Contudo, essas observações mais claras e outras que

## Idade Histograma

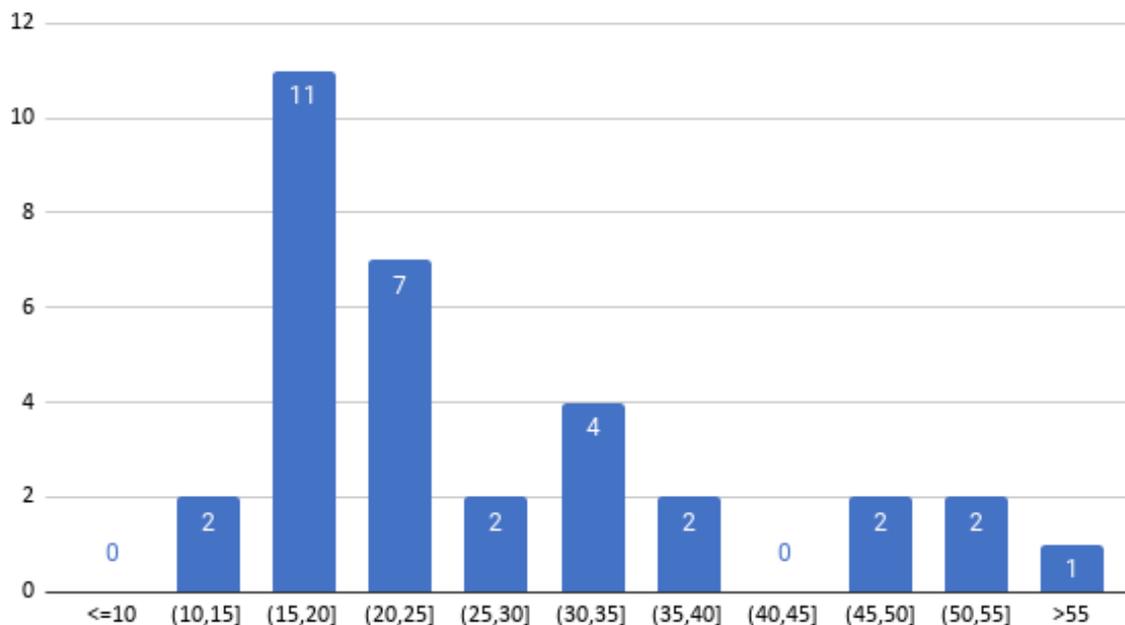


Figura 4.3: Histograma da idade dos voluntários

precisam de um olhar mais cauteloso e de uma análise mais profunda, observando vários pontos simultaneamente, serão discutidas na Seção 4.4.

Para uma melhor compreensão da causa das interrupções da ilusão, foi feita uma comparação entre os momentos que foram reportadas interrupções da ilusão pelo voluntário e o os momentos em que já se esperava esse reporte. Nessa comparação foram considerados apenas os voluntários que reportaram pelo menos uma interrupção. Essa decisão foi tomada com o objetivo de simplificar e observar os casos onde a interrupção realmente acontecia.

No gráfico na Figura 4.5, “Deveria reportar” são pontos em que se esperava que uma interrupção ocorresse, mas que não foi reportada (inclusiva para os voluntários que não reportaram em nenhum momento); “Reportou errado” são pontos em que interrupções não eram esperadas, mas que foram reportadas; e “Reportou certo” são pontos em que uma interrupção era esperada e que de fato aconteceu.

O quadro na Figura 4.6 mostra os momentos em que foram reportadas as interrupções da ilusão e os momentos em que houveram a quebra de expectativa. O tempo está em função da quantidade de caixas ativas, ou seja, a quantidade de estímulos VT primários, através das bolinhas. Os estímulos VT secundários são sempre ao mesmo tempo dos primários e as QS são em momentos em que o estímulo primário se mantém congruente e vice-versa. Assim como o gráfico na Figura 4.5, nota-se com clareza a grande presença

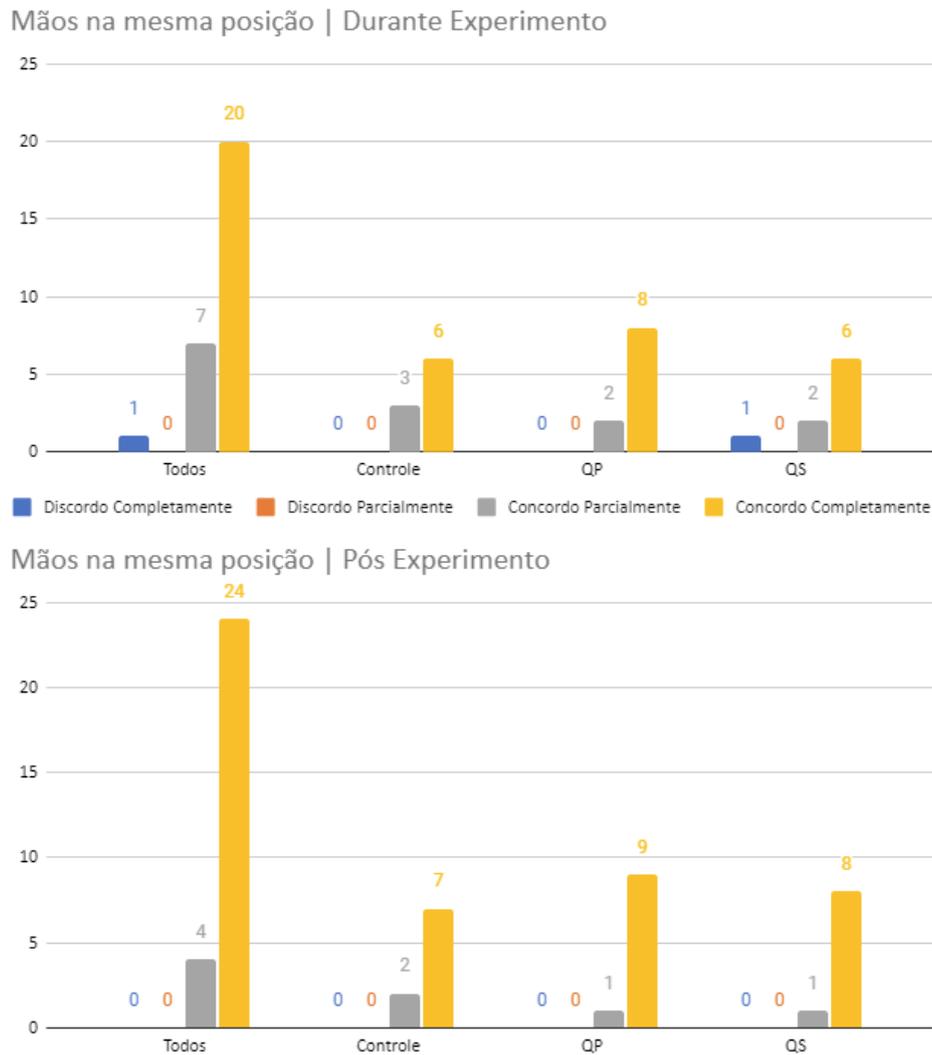


Figura 4.4: Respostas sobre a percepção quanto a congruência VM.

de reportes em momentos que não houve quebra.

Através do Quadro na Figura 4.6, é possível perceber que, para o Grupo 1, em que houve QP, aconteceu apenas 1 reporte de interrupção da ilusão em momento em que não era esperado (teste nº 11). No entanto, houveram diversos outros momentos em que foi introduzida QP, mas os voluntários não reportaram interrupção da ilusão.

## 4.4 Resultados

Foram coletados dados fisiológicos de todos os voluntários durante o experimento pelo dispositivo Empatica E4<sup>1</sup>. Este dispositivo é utilizado para a visualização e transmissão

<sup>1</sup><https://www.empatica.com/en-eu/research/e4/>

### Características dos Reportes

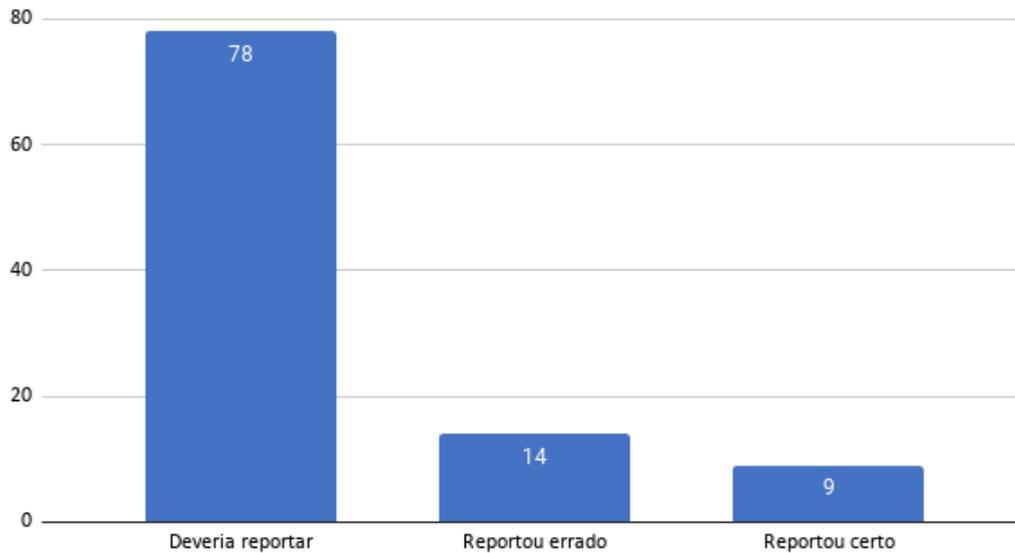


Figura 4.5: Características dos reportes encontrados no relatório dos voluntários.

de dados fisiológicos em tempo real. O E4 é um dispositivo vestível que permite aos pesquisadores conduzirem análises e visualizações aprofundadas.

De acordo com M. Slater *et al.* [12], há alterações nos sinais fisiológicos do indivíduo sob efeito da ilusão de BO quando ameaçado por algum objeto virtual. No entanto, o objetivo desse trabalho se limita a analisar os impactos das quebras de expectativa. Portanto, esses dados foram salvos, mas não foram utilizados.

Os dados coletados pelo pulso de cada um dos voluntários e posteriormente salvos são:

- Temperatura da pele
- Atividade eletrodérmica
- Alteração no volume sanguíneo através de fotopleletismografia (PPG, do inglês *photoplethysmograph*)
- Movimento em 3 direções através de um acelerômetro
- Intervalo interbatidas (tempo entre cada batida do coração, obtido pelo fotopleletismógrafo)
- Ritmo cardíaco médio (também obtido pelo fotopleletismógrafo)

Teste	Evento	Tipo do evento	Reportes por grupo		
			QP	QS	Controle
1	Caixa	QP		1	
2	Caixa	Normal		1	
3	Caixa	Normal		1	
4	Caixa + Drone	Normal		1	
5	Caixa	QP		1	
6	Caixa	QP		1	
7	Caixa	Normal			1
8	Caixa + Drone	QS		1	
9	Caixa	Normal		1	
10	Caixa	QP	1	1	
11	Caixa + Drone	Normal	1		
12	Caixa	QP		2	
13	Caixa + Drone	QS		1	
14	Caixa + Drone	QS		1	
15	Caixa	QP	2		

Figura 4.6: Momento em que foram reportadas interrupções da ilusão e momento em que houve quebra de expectativa.

#### 4.4.1 Robustez dos questionários

Antes de qualquer outra análise, deve-se considerar que algumas respostas aos questionários (Apêndice C) apresentaram contradições e inconsistências. Isso provavelmente se deve ao fato de o voluntário não ter compreendido completamente sua tarefa, ou os conceitos ou, a pergunta que foi feita, ou ainda a desejabilidade social.

De acordo com o gráfico na Figura 4.7, percebe-se que o voluntário de exemplo (pertencente ao Grupo de controle) estava sob efeito da ilusão durante o experimento por suas respostas aos questionários. Suas respostas foram os valores 4 (concordo totalmente) para as perguntas na fase de tutorial “No geral, senti que minhas mãos estavam nas mesmas posições que eu via as mãos virtuais estarem.” e “Os movimentos das mãos virtuais eram causadas pelas minhas próprias mãos.” e, para as mesmas perguntas, ao final do experimento, respondeu 4 (concordo totalmente) e 3 (concordo parcialmente), respectivamente. Esse padrão de resposta indica que há congruência VM. Para a pergunta “No geral, senti que as mãos virtuais eram minhas próprias mãos.”, respondeu 3 (concordo parcialmente) em ambos momentos: aclimatação e após o experimento. Já para as perguntas “No geral, eu senti que as mãos virtuais pertenciam a outra pessoa.” e “Eu senti como se eu tivesse

mais de duas mãos.”, as repostas desse voluntário foi 1 (discordo totalmente) tanto na fase de tutorial, quanto no pós experimento.

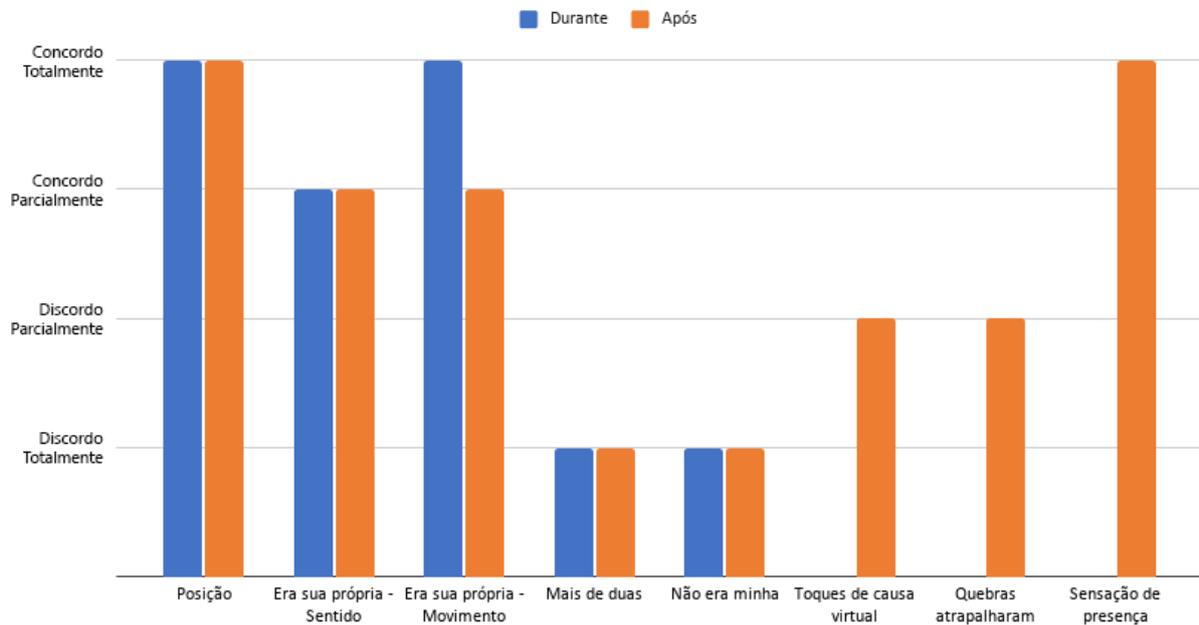


Figura 4.7: Resposta indicadora de que estava sob efeito da ilusão

No entanto, mesmo com estas respostas, esse mesmo voluntário respondeu ao final do experimento 4 (concordo totalmente) para a pergunta “Eu senti como se eu realmente estivesse naquele ambiente.”, ele reportou uma única interrupção no final e respondeu “Eu raramente sentia que o corpo virtual era o meu corpo” para a pergunta “Por que você acredita que teve poucas quebras da ilusão?”. O que torna incoerentes suas respostas. Isso leva a acreditar que o voluntário não compreendeu o que é a ilusão ou o que é a interrupção dela; ou, por distração ou por falta de compreensão da pergunta, respondeu errado ao questionário; ou ainda, respondeu dessa forma devido a acreditar que essa era a resposta que gostaríamos de ver.

Este comportamento foi observado em vários outros voluntários ao longo da fase de testes. Diversas vezes os voluntários perguntavam, durante o experimento, o que deveriam fazer e tinham dúvidas do que deveriam reportar. No entanto, quanto à distração, tornou-se claro quando um voluntário começou a responder o questionário incoerentemente, porém, percebeu seu erro e voltou para alterar. Além disso, um voluntário comentou no questionário que se sentiu distraído.

Uma possível explicação para isso é que a explicação da ilusão pode não ter sido suficiente. Ou, o voluntário estava distraído no momento em que recebeu essas novas informações. Ou ainda, a quantidade e a densidade de novas informações o deixou sobrecarregado, fazendo com que ele não entendesse completamente o que foi perguntado.

Ao final da realização de cada experimento, alguns voluntários fizeram comentários relevantes em relação ao que está sendo estudado. Contudo, devido ao formulário criado, não existia um campo para que vários desses comentários fossem registrados. Por exemplo, se um voluntário não reportar nenhuma interrupção ao longo do experimento, não há campos para que ele discorra o porquê de ele achar que não houve, ou apenas relatar como se sentiu. Esses comentários foram feitos de forma informal e, muitos deles, foram de grande importância.

#### 4.4.2 Design da atividade

Outras observações foram feitas durante as realizações dos experimentos que necessitariam de um *redesign* da atividade, e principalmente do tutorial, para serem totalmente resolvidas.

Mesmo com explicações claras da atividade que deveria ser realizada no exato instante, raramente o voluntário seguia as instruções corretamente logo na primeira execução do teste. Todas as atividades foram afetadas por isso com intensidades diferentes e poderiam ser, parcialmente, mitigadas com uma explicação mais extensa antes da realização do experimento.

Em outros casos, o comportamento padrão do voluntário com certas atividades, mesmo seguindo as instruções corretamente, prejudicava o experimento. Por exemplo, alguns não se importavam em não ter a bolinha em seu campo de visão enquanto os toques eram realizados, se apoiando exclusivamente no tato e audição. Isso prejudica o experimento porque ambos os elementos necessários para o estabelecimento da ilusão possuem um componente visual: congruência visual-motora e sincronia visual-tátil.

#### 4.4.3 Sincronia de estímulos VT

A dificuldade de manter uma boa sincronia VT prejudicou a qualidade dos experimentos. Os voluntários com maior número de quebras indevidas são em relação às bolinhas e, em geral, pessoas envolvidas com música ou com um bom senso rítmico. Dessa forma, a maioria dos toques reais que não foram perfeitamente sincronizados com o toque no ambiente virtual influenciaram a interrupção da ilusão para esse público específico. O ideal é que o ambiente virtual seja sincronizado com o real, podendo ser através de um rastreador no objeto que faça a tradução espacial para o ambiente virtual.

A quantidade de reportes em momentos em que não se esperava e a quantidade de comentários no questionário final sobre a assincronia da bolinha ter atrapalhado a experiência demonstraram que faz diferença uma boa sincronia VT para a resiliência da ilusão de BO.

Devido a isso, os dados coletados com o Grupo 3 (QS) possui um ruído indesejado e grande demais para se poder traçar alguma conclusão significativa e confiável. De fato, observando os gráficos, poderia se concluir que voluntários desse grupo tiveram uma menor estabilidade da ilusão, com quebras constantes causadas por qualquer incongruência e assincronia.

#### 4.4.4 Impacto das QPs

A presença de QP, apesar de atrapalhar parcialmente a experiência, não causou tanta interrupção da ilusão quanto esperado. As interrupções da ilusão nos momentos em que houveram QP foram reportados conforme o gráfico da Figura 4.8, porém esses reportes não aconteceram em todos os momentos de QP.

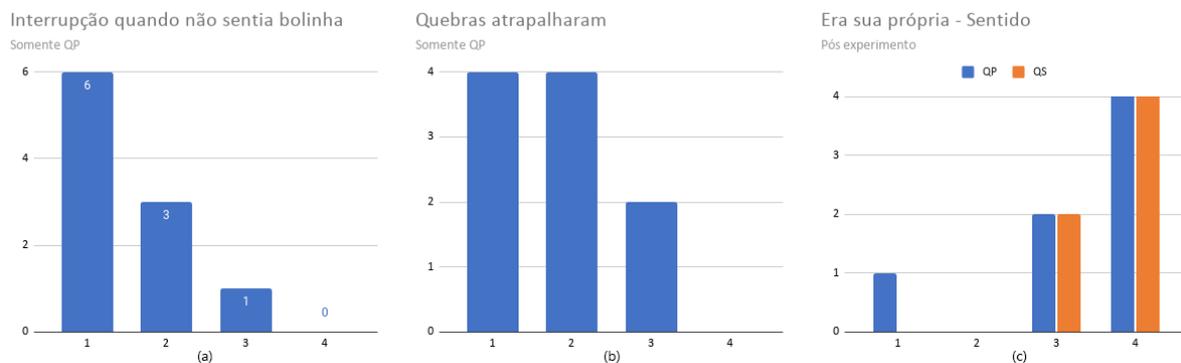


Figura 4.8: Gráficos que indicam uma baixa importância de QP para a interrupção da ilusão

Se QP realmente afetasse a interrupção da ilusão de BO como esperado, a quantidade de interrupções da ilusão pela bolinha deveriam ser maiores (Figura 4.8(a) deveria ser o inverso do observado) e a sensação de que as mãos virtuais eram as próprias mãos deveria ser prejudicada (Figura 4.8(c)). Já o quanto as QPs afetam a experiência (Figura 4.8(b)) está mais alto de todos os outros grupos. O que significa que, mesmo que haja uma QP e a ilusão continua existindo, isso não se passa despercebido e estraga a experiência e a sensação de presença (Figura 4.9).

#### 4.4.5 Resiliência da ilusão

Um dos comentários registrados de um dos voluntários foi:

“Quando eu não sentia a bolinha, a ilusão não sumia. Eu percebia como se o objeto virtual se tornou imaterial, mas a mão continuava sendo minha. A diferença estava no objeto, não na minha mão.”

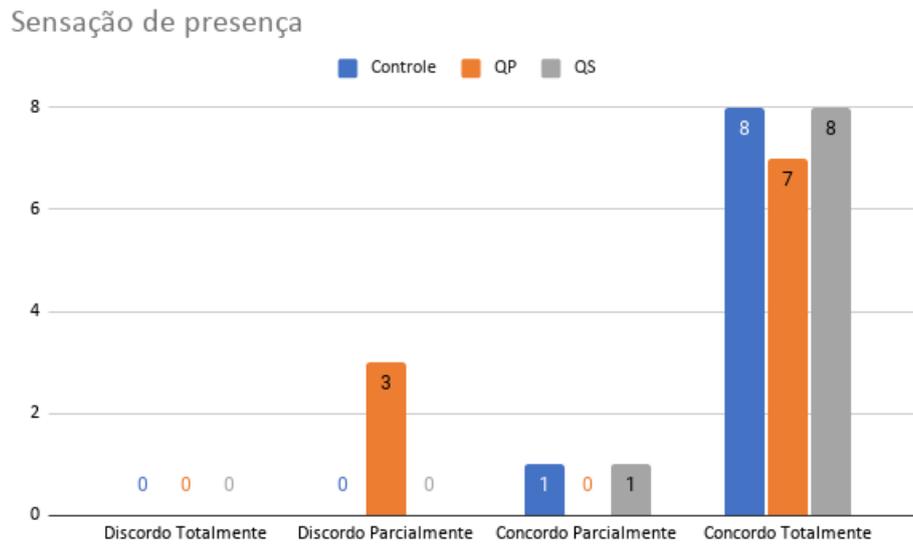


Figura 4.9: Sensação de presença auto-reportada pelos voluntários.

Ao considerar esse comentário, o ponto anterior, os dados obtidos e outros comentários similares, conclui-se que a ilusão aparenta ser um fenômeno robusto. Ao que tudo indica, a ilusão de BO em VR é resistente a quebras de expectativa ao ponto de se conjecturar que acontece um descarte ou racionalização alternativa do que está se experienciando para lidar com a discrepância entre os estímulos sensoriais recebidos e os estímulos sensoriais esperados. Como, por exemplo, no caso desse experimento, houve a racionalização de que a bolinha virtual se tornou intangível e que essa era a interpretação desejada pelos pesquisadores ou pelo ambiente virtual em si.

# Capítulo 5

## Conclusões

Para otimizar a experiência e os resultados de terapias, tratamentos e dos vários outros usos da realidade virtual, é necessário que haja uma experiência imersiva mais consistente. Dessa forma, entender o ponto de interrupção da ilusão de BO é fundamental para evitar situações que poderiam causar sua interrupção durante cada um destas situações. Portanto, esse trabalho testou, através de um experimento, se a quebra da expectativa de um estímulo síncrono e real de tato causa a interrupção da ilusão de propriedade corporal em ambientes de realidade virtual e, se a natureza da quebra de expectativa é relevante para interrupção da ilusão.

Ao longo do estudo inicial do que é necessário para se interromper a ilusão de propriedade corporal (BO) em um ambiente de realidade virtual (VR), notou-se comportamentos bastante diferentes do esperado. Mantendo a congruência visual-motora (VM) constante e injetando quebras de expectativas pontuais relacionadas à sincronia visual-tátil (VT), foram avaliados dois tipos específicos de quebras e o impacto delas na tentativa de se interromper a ilusão.

Após todo o processo de análise dos dados, percebe-se que as a primeira situação analisada foi confirmada, diferentemente da segunda. No entanto, apesar de que as quebras de expectativa na sincronia VT causam a interrupção da ilusão de BO, essas quebras não são tão significativas quanto se esperava. Ou seja, a ilusão estabelecida foi resiliente o suficiente para suportar as quebras sem ser, no geral, interrompida, validando o que foi concluído por M. Slater e A. Maselli [33], sem a necessidade usar um avatar de corpo inteiro como utilizado no experimento deles. Tal ocorrido demonstra que a ilusão pode ser mais resiliente do que inicialmente esperado.

Mesmo diante de alguns efeitos colaterais prejudiciais aos resultados advindos do projeto do experimento, é possível descartar assincronias VT de natureza igual aos testados nessa pesquisa.

## 5.1 Trabalhos Futuros

Para um próximo experimento, uma solução possível para contornar o problema de o voluntário não compreender com facilidade suas tarefas, mesmo com a intensa repetição das instruções, sugere-se um tutorial que guie o voluntário passo a passo, de modo que somente seja possível seguir para o passo seguinte caso o atual seja completado corretamente e de forma confiável. Outro recurso que também poderia ser utilizado são guias visuais na repetição das instruções.

Adicionalmente, uma melhor arquitetura para o código que facilite alteração dos tempos do decorrimto dos eventos e uma melhor sincronia, independente da agilidade do voluntário, beneficiaria o experimento por permitir um processo mais iterativo e mais simplificado para remoção de bugs.

Como a ilusão necessita de quebras de expectativa de estímulos visual-táteis e visual-motores, faz-se necessário manter o voluntário suscetível a estímulos visuais. Portanto, como alguns voluntários não se importaram em observar a bolinha tocando em seu braço, uma solução para manter o estímulo visual ativo é fazer com que o elemento dentro do ambiente que estimula o tato venha de cima ou dos lados, de modo a evitar a oclusão do objeto pela mão do voluntário. Outra solução seria reprojeter o experimento levando em conta essas novas informações e o conhecimento sobre os comportamentos observados dos voluntários.

Algumas possíveis abordagens para futuros trabalhos são:

- Utilizar os dados fisiológicos para tentar prever as interrupções. Ou seja, analisar se há padrões nesses dados e se é possível saber onde vão ocorrer interrupções da ilusão sem que o voluntário reporte, apenas com os dados coletados.
- Testar se a interferência de um tato diferente do esperado afeta a ilusão. Por exemplo, analisar se um objeto macio e firme atingir o corpo virtual do usuário, mas ele sentir um toque macio e gelatinoso, por exemplo, pode ser considerado assincronia e avaliar se causa interrupção da ilusão ou não;
- A frequência da quebra da sincronia afeta de alguma forma a volatilidade da manutenção da ilusão? Testar se aumentar a frequência das quebras de expectativa fazem com que quebras mais fracas já sejam suficientes para a interrupção da ilusão;
- Avaliar se a carga cognitiva ou emocional do indivíduo tem algum impacto na resiliência da ilusão. A facilidade ou dificuldade da tarefa a ser realizada (ou o nível de estresse ou relaxamento, de empolgação ou medo do sujeito) pode afetar a tolerância às assincronias.

- Os estímulos e suas quebras de expectativas podem ser bidirecionais. Por exemplo, ter o estímulo virtual sem a presença do real é diferente de ter estímulos reais sem a expectativa no virtual. Ou seja, também é uma abordagem válida testar se ocorre a interrupção da ilusão ao usuário receber um estímulo de tato real sem que exista a expectativa desse mesmo estímulo no ambiente virtual.

# Referências

- [1] Lowood, Henry E.: *virtual reality (vr)*, Maio, 2015. <https://academic-eb-britannica.ez54.periodicos.capes.gov.br/levels/collegiate/article/virtual-reality/1382>. 1, 7
- [2] Sutherland, Ivan Edward: *A head-mounted three dimensional display*. Em *Proceedings of the December 9-11, 1968, Fall Joint Computer Conference, Part I*, AFIPS '68 (Fall, part I), página 757–764, New York, NY, USA, 1968. Association for Computing Machinery, ISBN 9781450378994. <https://www.computer.org/csdl/pds/api/csdl/proceedings/download-article/120mNx965BX/pdf>. 1, 7
- [3] Matthews, David: *Virtual-reality applications give science a new dimension*, Abril, 2018. <https://www.nature.com/articles/d41586-018-04997-2>. 1, 8
- [4] Dalrymple, Will: *The uses of virtual reality: technology originally intended to develop 3d environments for video games has been turned to an advantage in the uk nuclear industry, in which a mockup of a facility can help clarify and resolve planning and security issues*. *Nuclear Engineering International*, 57(700):26. <https://link.gale.com/apps/doc/A310256471/AONE?u=capes&sid=AONE&xid=a2e912b8>. 1, 9
- [5] Medeiros, Felipe A: *More than a video game: virtual reality and its uses in glaucoma*. *Review of Optometry*, 154(4):S4, Abril, 2017. <https://link.gale.com/apps/doc/A493636538/AONE?u=capes&sid=AONE&xid=e7a5e58b>. 1, 9
- [6] Dellazizzo, Laura e Potvin, Stéphane e O'Connor Kieron e Dumais Alexandre: *S58. a randomized controlled trial comparing virtual reality therapy to cognitive behavioral therapy in schizophrenia with treatment refractory hallucinations: Preliminary results*. *Schizophrenia Bulletin*, 44(suppl\_1), 2018. <https://doi-org.ez54.periodicos.capes.gov.br/10.1093/schbul/sby018.845>. 1, 9
- [7] Geslin, Erik e Bouchard, Stephane e Richir Simon: *Gamers' versus non-gamers' emotional response in virtual reality*. *Journal of CyberTherapy and Rehabilitation*, 4(4), 2011. <https://link.gale.com/apps/doc/A321336267/AONE?u=capes&sid=AONE&xid=769c493f>. 1, 9
- [8] Schuemie, Martijn J. e van der Straaten, Peter e Krijn Merel e van der Mas0t Charles A.P.G.: *Research on presence in virtual reality: A survey*. *CyberPsychology & Behavior*, 4(2):183–201, 2001. <https://doi.org/10.1089/109493101300117884>, PMID: 11710246. 1, 7

- [9] Gamasutra, Ernest Adams: *Postmodernism and the three types of immersion*, Julho, 2004. [http://designersnotebook.com/Columns/063\\_Postmodernism/063\\_postmodernism.htm](http://designersnotebook.com/Columns/063_Postmodernism/063_postmodernism.htm). 1, 8
- [10] Alfadil, Mohammed: *Effectiveness of virtual reality game in foreign language vocabulary acquisition*. Computers Education, 153:103893, 2020. 1, 9
- [11] Bergström, Ilias e Kilteni, Konstantina e Slater Mel: *First-person perspective virtual body posture influences stress: A virtual reality body ownership study*. Plos One, 11(2), 2016. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0148060>. 1, 10, 18
- [12] Slater, Mel e Spanlang, Bernhard e Sanchez Vives Maria V. e Blanke Olaf: *First person experience of body transfer in virtual reality*. PLoS ONE, 5(5), 2010. <http://search-ebscohost-com.ez54.periodicos.capes.gov.br/login.aspx?direct=true&db=aph&AN=52682152&lang=pt-br&site=ehost-live>. 1, 11, 35
- [13] Banakou, Domna e Groten, Raphaela e Slater Mel: *Illusory ownership of a virtual child body causes overestimation of object sizes and implicit attitude changes*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 110(31):12846–12851, 2013, ISSN 0027-8424. <https://www.pnas.org/content/110/31/12846>. 1, 11
- [14] Jens Krüger, Andrey Krekhov e Sebastian Cmentowski e: *The illusion of animal body ownership and its potential for virtual reality games*, 2019. <https://arxiv.org/abs/1907.05220>. 1, 11
- [15] Xiong, Peikun e Sun, Chen e Cai Dongsheng: *"synchronize" to vr body: Full body illusion in vr space*. Em Peytavie, Adrien e Carles Bosch (editores): *EG 2017 - Short Papers*. The Eurographics Association, 2017. 1, 12
- [16] Tsakiris, Manos e Carpenter, Lewis e James Dafydd e Fotopoulou Aikaterini: *Hands only illusion: multisensory integration elicits sense of ownership for body parts but not for non-corporeal objects*. Experimental brain research, 204(3):343 – 352, 2010, ISSN 1432-1106. <http://search-ebscohost-com.ez54.periodicos.capes.gov.br/login.aspx?direct=true&db=mdc&AN=19820918&lang=pt-br&site=ehost-live>. 1, 12
- [17] Engelen, Tahnée e Watson, Rebecca e Pavani Francesco e de Gelder Beatrice: *Affective vocalizations influence body ownership as measured in the rubber hand illusion*. PLOS ONE, 12(10):1–11, Outubro, 2017. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0186009>. 1, 12
- [18] Jong, Jutta R. e Keizer, Anouk e Engel Manja M. e Dijkerman H. Chris de: *Does affective touch influence the virtual reality full body illusion?* Experimental Brain Research, 235(6):1781–1791, Junho, 2017, ISSN 1432-1106. <https://doi.org/10.1007/s00221-017-4912-9>. 1, 12
- [19] Preston, Catherine: *The role of distance from the body and distance from the real hand in ownership and disownership during the rubber hand illusion*. Acta Psychologica, 142(2):177–183, 2013, ISSN 0001-6918. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000169181200203X>. 2, 12

- [20] James, William: *The Principles of Psychology*, volume ns-16. American Association for the Advancement of Science, 10 de Outubro, 1890. <https://science.sciencemag.org/content/ns-16/401/207.2>. 4
- [21] Gallagher, Shaun: *Philosophical conceptions of the self: implications for cognitive science*. Trends in Cognitive Sciences, 4(1):14 – 21, 2000, ISSN 1364-6613. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364661399014175>. 4
- [22] Botvinick, Matthew e Cohen, Jonathan: *Rubber hands ‘feel’ touch that eyes see*. Nature, 391(6669):756–756, Fevereiro, 1998. <https://www.nature.com/articles/35784#citeas>. 4
- [23] Ehrsson, H. Henrik e Holmes, Nicholas P. e Passingham Richard E.: *Touching a rubber hand: Feeling of body ownership is associated with activity in multisensory brain areas*. Journal of Neuroscience, 25(45):10564–10573, Novembro, 2005. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1395356/>. 5
- [24] Ehrsson, H. Henrik e Spence, Charles e Passingham Richard E.: *That's my hand! activity in premotor cortex reflects feeling of ownership of a limb*. Science, 305(5685):875–877, Agosto, 2004. <https://go-gale.ez54.periodicos.capes.gov.br/ps/i.do?p=AONE&u=capes&id=GALE|A120974864&v=2.1&it=r&sid=AONE&asid=c2b5f08a>. 6
- [25] Jon Driver, Francesco Pavani e Charles Spence e: *Visual capture of touch: Out-of-the-body experiences with rubber gloves*. Psychological Science, 11(5):353–359, 2000. [http://wexler.free.fr/library/files/pavani%20\(2000\)%20visual%20capture%20of%20touch.%20out-of-the-body%20experiences%20with%20rubber%20gloves.pdf](http://wexler.free.fr/library/files/pavani%20(2000)%20visual%20capture%20of%20touch.%20out-of-the-body%20experiences%20with%20rubber%20gloves.pdf), PMID: 11228904. 6
- [26] Woodford, Chris: *What is virtual reality? - a simple introduction*, Junho, 2020. <https://www.explainthatstuff.com/virtualreality.html>. 7
- [27] Bekrater-Bodmann, Robin e Foell, Jens e Diers Martin e Kamping Sandra e Rance Mariela e Kirsch Pinar e Trojan Jörg e Fuchs Xaver e Bach Felix e Çakmak Hüseyin Kemal e et al.: *The importance of synchrony and temporal order of visual and tactile input for illusory limb ownership experiences – an fmri study applying virtual reality*. PLoS ONE, 9(1), Janeiro, 2014. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3909015/>. 11, 18
- [28] Blom, Kristopher J e Arroyo-Palacios, Jorge e Slater Mel: *Rotating the self out of the body preserves a full virtual body ownership illusion – almost*. 2014. <https://core.ac.uk/reader/219541861>. 11
- [29] Kokkinara, Elena e Slater, Mel: *Measuring the effects through time of the influence of visuomotor and visuotactile synchronous stimulation on a virtual body ownership illusion*. Perception, 43(1):43–58, 2014. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1068/p7545>. 12

- [30] Baran, Ilya e Popović, Jovan: *Automatic rigging and animation of 3d characters*. ACM Trans. Graph., 26(3):72–es, Julho, 2007, ISSN 0730-0301. <https://doi-org.ez54.periodicos.capes.gov.br/10.1145/1276377.1276467>. 19
- [31] Bhatti, Zeeshan e Shah, Asadullah e Shahidi F e Karbasi M: *Forward and inverse kinematics seamless matching using jacobian*. Sindh University Research Journal (Science Series), 45:387–392, Agosto, 2013. [https://www.researchgate.net/publication/257947637\\_Forward\\_and\\_Inverse\\_Kinematics\\_Seamless\\_Matching\\_Using\\_Jacobian](https://www.researchgate.net/publication/257947637_Forward_and_Inverse_Kinematics_Seamless_Matching_Using_Jacobian). 19
- [32] Rubio, José De Jesús e Aquino, Víctor e Figueroa Maricela: *Inverse kinematics of a mobile robot*. Neural Computing and Applications, 23(1):187–194, 2012, ISSN 0941-0643. <http://search-ebSCOhost-com.ez54.periodicos.capes.gov.br/login.aspx?direct=true&db=iih&AN=88349574&lang=pt-br&site=ehost-live>. 19
- [33] Maselli, Antonella e Slater, Mel: *The building blocks of the full body ownership illusion*. Frontiers in Human Neuroscience, 7:83, 2013, ISSN 1662-5161. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fnhum.2013.00083>. 41

# Apêndice A

## Roteiro do Experimento

### Antes do voluntário chegar:

Posicionar a cadeira e o ventilador de acordo com a cena virtual.

Preparar a fita e a bolinha.

Higienizar todos os equipamentos e superfícies que possam haver contato do voluntário com álcool em gel 70%.

### Quando o voluntário chegar:

*“Primeiramente, peço que leia e assine este termo de consentimento autorizando a coleta e uso dos seus dados fisiológicos. Todo dado coletado será anônimo e privado. Após concordar com o termo de consentimento, tem um questionário a ser respondido. Leia as instruções com atenção.”*

- Explicar que é um teste de uma ilusão em VR.
- Explicar o que é *body ownership*.
- Pedir para que avise quando a ilusão for interrompida.

*“Este experimento consiste em estudar uma das ilusões que o nosso cérebro está suscetível, a ilusão de *body ownership*. Serão realizados estímulos visuais, auditivos e táteis para induzi-lo à ilusão. Quando você entrar no ambiente virtual, você verá um par de mãos segurando controles iguais aos que você estará segurando na vida real, com isso, seu cérebro tende a pensar que aquelas são suas mãos de verdade. Obviamente, conscientemente, você sabe que não são, mas, instintivamente, você sente que são e, se acontecer alguma coisa com elas, você vai sentir, você vai ter reflexo de tirar sua mão de perigo, por exemplo. Esta é a ilusão de *body ownership*. Portanto, peço que avise em voz alta toda vez que sentir que essa ilusão é interrompida, ou seja, quando você sente que as mãos são*

*suas e, por qualquer motivo, elas deixaram de ser e são simplesmente um avatar virtual e, por exemplo, se tacarem fogo você não vai sentir porque é tudo virtual. Por favor, avise em voz alta, por exemplo: ‘Agora!’ ou ‘Saí da ilusão!’. Entendido?”*

- Explicar o objetivo dele e como deverá se portar durante a experiência.
- Instalar aparelhos de medição dos sinais fisiológicos.
- Iniciar coleta dos dados fisiológicos.

*“Agora você entrará no ambiente virtual. Lá você vai estar em um apartamento em que você terá que testar as novas tecnologias. Não se preocupe porque vai ter uma assistente virtual, a televisão, que vai te instruir sobre o que fazer e como fazer. Mas já te adianto que uma das tecnologias é uma caixa que estará na mesa à sua frente. De tempos em tempos ela vai abrir e vai sair uma bolinha de dentro dela e ficar fazendo movimentos verticais subindo e descendo. Essa caixa vai medir seus sinais psicofisiológicos, portanto, seu objetivo é colocar o braço por cima dela, da bolinha, para que ela encoste em você e conte quantos toques serão realizados. Concentre-se em contar os toques.”*

- Colocar dispositivo HMD no voluntário e iniciar a experiência.

O jogo inicia com o jogador sentado em um local do apartamento com visão da janela.

A televisão está ligada e começa a dar um tutorial do que fazer.

O fluxo do experimento está detalhado nos fluxogramas do Apêndice ??.

#### **Após a Tela 4:**

- Ligar vento.

#### **Após a Tela 8:**

- Ficar atento à sincronia do toque da bolinha.

#### **Após a contagem da Tela 11:**

- Realizar toques síncronos com a bolinha.
- Passar a fita do drone.

O tutorial termina e começa a fase de teste.

A caixa abrirá para realizar os toques da bolinha 15 vezes e o drone passará sincronicamente com os toques da caixa 5 vezes.

#### **Para o Grupo 2, Quebras Primárias:**

- Quebras nas caixas 1, 4, 6, 9, 14, 15.
- Toque do drone nas caixas 5, 7, 10, 13, 14.

*OBS: ficar atento aos reportes de interrupção para registrar no registro de eventos.*

**Para o Grupo 3, Quebras Secundárias:**

- Toque da fita nas caixas 5, 10.
- Quebra da fita nas caixas 7, 13, 14.

*OBS: ficar atento aos reportes de interrupção para registrar no registro de eventos*

**Ao finalizar o experimento**

- Inserir dados da coleta no formulário do questionário.
- Remover equipamento do voluntário (HMD e pulseira).
- Encerrar coleta dos dados fisiológicos.

*“Muito obrigado! Agora, para finalizar, peço que preencha mais este outro questionário sobre como foi toda essa experiência para você.”*

Ao fim do questionário, agradecer e despedi-lo.

# Apêndice B

## Telas de Instrução

**Olá, voluntário nº 946.345! Obrigado por participar do nosso programa de testes de produtos inovadores™.**

**Em breve vamos começar nossa sessão de teste.**

Figura B.1: Tela 1

**Primeiro, se situe onde está. Observe o apartamento ao seu redor! Escute a música...**

Figura B.2: Tela 2

**Caso deseje rever alguma instrução aqui, basta clicá-la na TV. Tente agora! Aponte o controle para TV e pressione o gatilho.**



Figura B.3: Tela 3

**Muito bem!**  
**Agora olhe para trás e observe o drone amarelo em cima da mesa. Ele deve estar ligando agora.**

Figura B.4: Tela 4

**De tempos em tempos ele irá  
percorrer o ambiente, checando  
automaticamente se está tudo ok.**

Figura B.5: Tela 5

**Na sua frente você deve estar vendo  
uma caixa. Ela é o dispositivo que  
você se voluntariou para testar. Essa  
caixa é um protótipo que estamos  
usando para testar uma técnica  
inovadora de medida psicofisiológica.**

Figura B.6: Tela 6

**Através dela, conseguimos descobrir  
seus batimentos cardíacos, estado  
emocional e até atividade cerebral...  
Teoricamente.**

Figura B.7: Tela 7

**Você está aqui hoje para nos ajudar a  
calibrar o motor de movimento da  
ponta sensora. É essa bolinha verde.  
Esse é o movimento que ela faz.**

Figura B.8: Tela 8

**Para ajudar no teste, nós precisamos que toda vez que ela saia você posicione as costas da sua mão logo acima da bolinha, sem enconstar nela.**

Figura B.9: Tela 9

**Seu objetivo é contar quantas vezes ela vai levantar essa bolinha para enconstar em você. Não se preocupe, esse procedimento é extremamente seguro.**

Figura B.10: Tela 10

**Pronto? Se posicione e se prepare  
para contar. Vamos começar em:**

**0**

Figura B.11: Tela 11

**Muito bem! Seu trabalho é fazer isso  
toda vez que a caixa abrir.**

**Se prepare que agora vamos começar  
pra valer!**

Figura B.12: Tela 12

**Só responder o próximo questionário  
que depois poderemos começar.**

**Para cada afirmação, indique o  
quanto você concorda ou discorda  
com ela.**

Figura B.13: Tela 13

**Instruções:**

- Espere a caixa abrir
- Coloque as costas das mãos por cima da bolinha sem encostar
- Conte quantas vezes ela vai tentar encostar

Figura B.14: Tela 14

# Apêndice C

## Questionários

### C.1 Questionário 1

1. Li e concordo com o termo de consentimento.
2. Qual é o seu sexo biológico?
  - (a) Masculino.
  - (b) Feminino.
  - (c) Prefiro não dizer.
3. Qual seu nível de experiência com realidade virtual?

*Escala de Likert de 5 pontos e âncoras “Nenhuma experiência” e “Uso regularmente”.*
4. Qual seu nível de nervosismo nesse momento?

*Escala de Likert de 5 pontos e âncoras “Inexistente” e “Extremo”.*
5. Qual seu nível de insegurança nesse momento?

*Escala de Likert de 5 pontos e âncoras “Inexistente” e “Extremo”.*
6. Compreendi as instruções.

### C.2 Questionário 2

Todas as perguntas desse questionário tem por resposta uma escala de Likert de 4 pontos com âncoras “Discordo Totalmente” e “Concordo Totalmente”.

1. No geral, senti que minhas mãos estavam nas mesmas posições em que eu via as mãos virtuais estarem.

2. No geral, senti que as mãos virtuais eram minhas próprias mãos.
3. Os movimentos das mãos virtuais foram causados pelos meus movimentos.
4. Senti como se eu tivesse mais de 2 (duas) mãos.
5. No geral, senti que as mãos virtuais pertenciam a outra pessoa.

### C.3 Questionário 3

Todas as perguntas desse questionário, exceto onde explicitado, tem por resposta uma escala de Likert de 4 pontos com âncoras “Discordo Totalmente” e “Concordo Totalmente”.

1. O quão familiar você é com a ilusão de propriedade corporal?  
*Escala de Likert de 5 pontos e âncoras “Nem um pouco familiar” e “Extremamente familiar”.*
2. No geral, senti que minhas mãos estavam nas mesmas posições em que eu via as mãos virtuais estarem.
3. No geral, senti que as mãos virtuais eram minhas próprias mãos.
4. Os movimentos das mãos virtuais foram causados pelos meus movimentos.
5. Tive a sensação que os toques que eu senti foram causados pelos objetos virtuais.
6. Senti que as mãos virtuais não eram mais o personagem quando não senti as bolinhas.  
*Somente para o grupo 1 - QP.*
7. Senti que as mãos virtuais não eram mais as minhas quando não senti a fita do drone.  
*Somente para o grupo 2 - QS.*
8. Senti como se eu tivesse mais de 2 (duas) mãos.
9. No geral, senti que as mãos virtuais pertenciam a outra pessoa.
10. As interrupções da ilusão atrapalharam minha experiência.
11. Senti como se eu realmente estivesse naquele ambiente.
12. Porque você acredita que houve nenhuma/poucas interrupção(ões) da ilusão?  
*Somente para quem reportou nenhuma ou poucas interrupções da ilusão.*
  - (a) Eu raramente sentia que corpo virtual era o meu.

- (b) Eu quase sempre sentia que corpo virtual era o meu.
- (c) Eu esquecia de avisar.
- (d) Outro:

13. O que você acredita que pode ter sido a causa das interrupções das ilusões?

*Texto discursivo livre somente para quem reportou pelo menos 1 (uma) interrupção da ilusão.*

14. O que você achou da sensação de estar em um ambiente virtual e sentir que o corpo virtual era o seu?

*Texto discursivo livre somente para quem em algum momento esteve sob efeito da ilusão, ou seja, reportou muitas interrupções ou não respondeu com a alternativa 12a.*

## Apêndice D

### Layout do Ambiente do Experimento



Figura D.1: Layout do ambiente do experimento. *XR Rig* é a localização do voluntário.