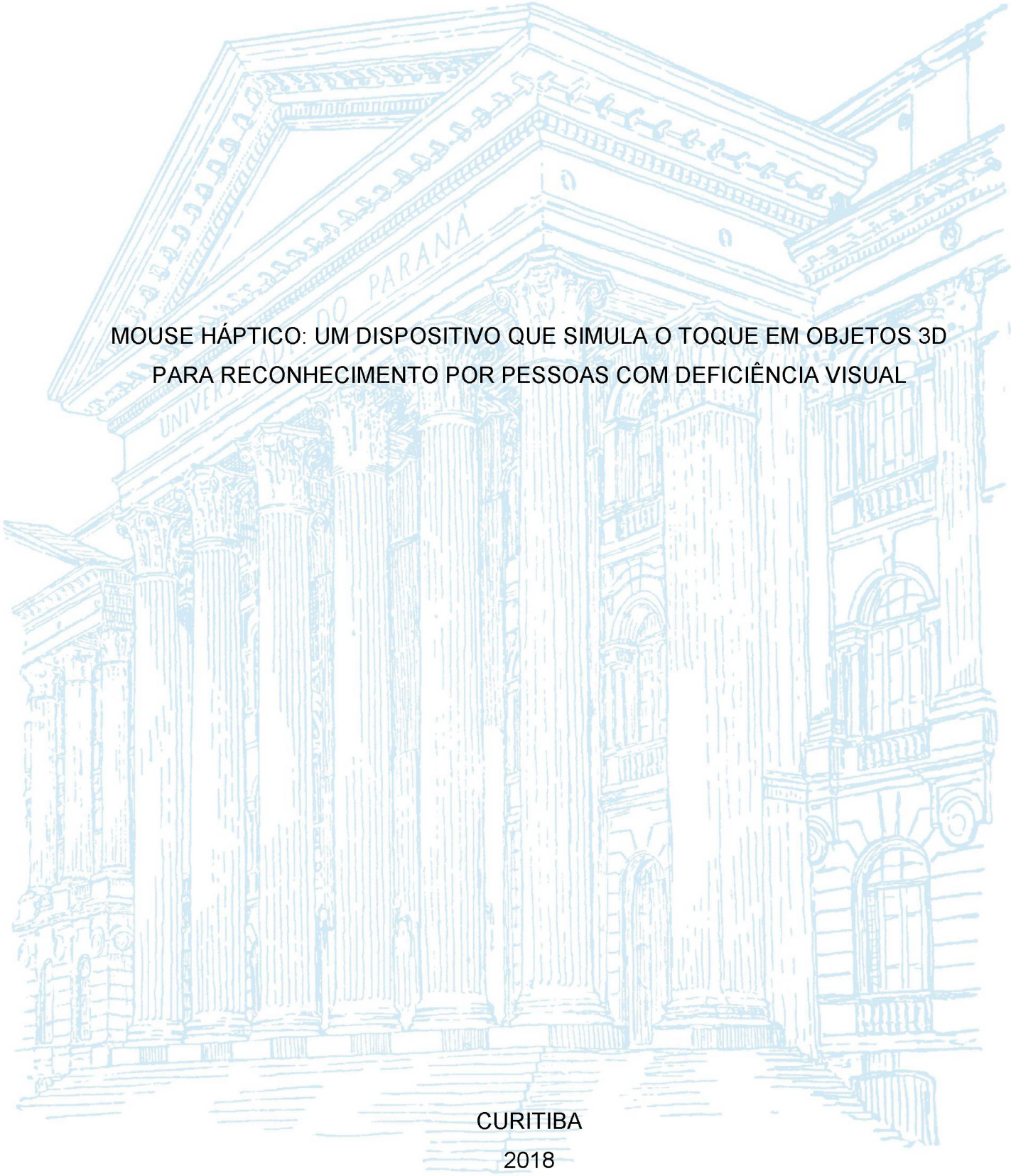
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GIOVANI BERTOLLA SAMPAIO



MOUSE HÁPTICO: UM DISPOSITIVO QUE SIMULA O TOQUE EM OBJETOS 3D PARA RECONHECIMENTO POR PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL

CURITIBA

2018

GIOVANI BERTOLLA SAMPAIO

MOUSE HÁPTICO: UM DISPOSITIVO QUE SIMULA O TOQUE EM OBJETOS 3D PARA RECONHECIMENTO POR PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Informática, Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Informática.
Orientador: Prof. Dr. Luciano Silva

CURITIBA

2018

FICHA CATALOGRÁFICA

Catalogação na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

S192m Sampaio, Giovani Bertolla
Mouse háptico: um dispositivo que simula o toque em objetos 3D para reconhecimento por pessoas com deficiência visual / Giovani Bertolla Sampaio. – Curitiba, 2018.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Informática, 2018.

Orientador: Luciano Silva .

1. Deficientes visuais. 2. Software. 3. Projeto de acessibilidade . I. Universidade Federal do Paraná. II. Silva, Luciano. III. Título.

CDD: 681

Bibliotecária: Vanusa Maciel CRB- 9/1928

APROVAÇÃO

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR SETOR DE CIENCIAS EXATAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO INFORMÁTICA

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em INFORMÁTICA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **GIOVANI BERTOLLA SAMPAIO** intitulada: **MOUSE HÁPTICO: UM DISPOSITIVO QUE SIMULA O TOQUE EM OBJETOS 3D PARA RECONHECIMENTO POR PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL.**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 05 de Outubro de 2018.

LUCIANO SILVA
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

OLGA REGINA PEREIRA BELLON
Avaliador Interno (UFPR)

CAROLINE MAZETTO MENDES
Avaliador Externo (UP)

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO - UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - Setor de Ciências Exatas - Pós-Graduação em Informática

Rua Cel. Francisco H. dos Santos, 100 - Centro Politécnico da UFPR - Curitiba - Paraná - Brasil
CEP 81531-980 - Tel: (41) 3361-3101 - E-mail: ppginf@inf.ufpr.br

DEDICATÓRIA

À minha mãe, Lucineide Bertolla Sampaio, que foi imprescindível para a conquista deste mestrado e agora assiste a este desfecho a partir de um ponto de vista superior.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por possibilitar e preparar todos os eventos para que eu concluísse esta etapa da minha evolução.

Aos meus pais, Lucineide Bertolla Sampaio e Antonio Soares Sampaio, por me educarem tão bem quanto puderam, por todo o suporte, amor, apoio, e esforço dedicado ao meu desenvolvimento.

À minha namorada Bruna Natali da Costa por estar ao meu lado nos momentos difíceis, me apoiando pessoalmente, e até auxiliando academicamente da melhor forma possível.

Aos meus amigos colegas de laboratório, Jonathan Szlachta, Fernando Eduardo Silva, Raphael Ksiaskiewcz Czovny, Flávio Henrique Silva, Antonio Paes, e Thiago Pradi. Cada um teve fundamental contribuição para o desenvolvimento do meu trabalho.

Aos meus familiares por todo o apoio pessoal e financeiro prestado, bem como o apoio aos meus pais enquanto não estive por perto.

À todos os meus amigos que mantiveram meu ânimo por meio de conversas ou jogos. Agradecimentos especiais: Andrey Carlotti Augusto, Felipe Caléfe, Nicholas Muraro, Willian Francisco do Nascimento, Alan Rodrigues, Denian Souza, Lucas Piovani, Marcelo Cassú, Murilo Vicente Corrêa, Enzo Carreri, Isac Soares, Alane Marie Lima, Daniel Maurício Pedernera Parada, Felipe Martinhuk, Renalton Cerqueira Filho, e Ricardo Lima.

Ao meu professor orientador Luciano Silva, pela idealização do projeto, pelos ensinamentos da conduta profissional, pela confiança, e pela oportunidade de desenvolvimento do projeto.

À banca avaliadora, composta por Olga Bellon, e Caroline Mazetto, que contribuiu com ótimas ideias, correções, e orientações.

À todos os professores que um dia já deram aula para mim, e principalmente àqueles que me incentivaram a seguir a carreira acadêmica, Adalberto Coutinho, Ana Paula Ribas,

Roger Santos, Hélder Leal da Costa, Diego Garrido, Luiz Eduardo Miranda, Cláudio Yamamoto, Eduardo Gonçalves, e Simone Tostes.

Ao Instituto Paranaense de Cegos (IPC) por fornecer o espaço e os profissionais para o desenvolvimento do experimento com o público alvo, que por sua vez foram muito gentis em aceitar o convite para participarem dos testes.

À Casa do Estudante Universitário (CEU), que me acolheu e fez a minha estadia em Curitiba ser possível.

À gestão passada do governo federal, que se preocupou em possibilitar pessoas de baixa renda a terem educação de alto nível gratuitamente.

À UFPR, por toda a competência, estrutura e equipamentos de qualidade, e pelo Restaurante Universitário (RU).

RESUMO

Pessoas com deficiência visual enfrentam diariamente privações de acesso em diversas ocasiões em comparação aos videntes. Isso ocorre na sala de aula ao não poder interagir com o gráfico de uma função matemática desenhada no quadro negro, ou no museu onde não é possível tocar as peças em exposição. Essas e outras limitações que prejudicam a autonomia do indivíduo com deficiência visual podem ser reduzidas com a assistência de ferramentas computacionais hápticas. Com a motivação de diminuir essa desigualdade, esta pesquisa experimental apresenta o desenvolvimento de um dispositivo que simula o toque em objetos virtuais, com o objetivo de possibilitar a essas pessoas o reconhecimento de curvas e objetos 3D. O aparelho combina o desenvolvimento de um sistema háptico (*software*) com um dispositivo semelhante a um mouse (*hardware).* O usuário verifica o formato do objeto virtual acomodando seu dedo indicador em contato com a haste do aparelho, movimentando o dispositivo sobre uma superfície. O aparelho movimenta a haste para cima ou para baixo em tempo real enquanto o usuário move o mouse, revelando o formato do objeto. Foram desenvolvidos três protótipos, sendo que cada um foi testado por diferentes grupos de usuários e modificados conforme os resultados obtidos, a fim de otimizar o sistema e o dispositivo. Foi realizado um experimento com protótipo final com a participação de alunos e professores do Instituto Paranaense de Cegos, os quais todos possuem alguma deficiência visual e em diferentes graus. Houve oito participantes, os quais tiveram o objetivo de reconhecer os objetos do ambiente virtual. Estes objetos foram impressos em 3D e apresentados previamente aos participantes. Foram utilizados objetos geométricos e funções matemáticas: semiesfera, cubo, cone, e toroide; reta, exponencial, logarítmica, e senoide. Sobre a usabilidade do dispositivo, os voluntários relataram que utilizariam o dispositivo no cotidiano, enquanto o resultado obtido sobre o reconhecimento dos objetos foi de 75% de acurácia. Com base nos dados coletados, são discutidas abordagens para otimizar o dispositivo e o sistema em trabalhos futuros.

Palavras chave: Tecnologia háptica; Tecnologia assistiva; Deficiência visual.

ABSTRACT

Visually impaired people face daily privations of access on several occasions compared to the visionaries. This occurs in the classroom by not being able to interact with the graph of a mathematical function drawn on the blackboard, or in the museum where it is not possible to touch the pieces on display. These and other limitations that impair the autonomy of the visually impaired individual can be reduced with the assistance of haptic computational tools. With the motivation to reduce this inequality, this experimental research presents the development of a device that simulates the touching of virtual objects, with the purpose of enabling these people to recognize curves and 3D objects. The device combines the development of a haptic system (software) with a device similar to a mouse (hardware). The user checks the shape of the virtual object by placing its index finger in contact with the rod of the device by moving the device on a support surface. The device moves the surface up or down in real time while the user moves the mouse, revealing the shape of the object. Three prototypes were developed, each one being tested by different groups of users and modified according to the results obtained, in order to optimize the system and the device. A final prototype experiment was carried out with the participation of students and teachers from the Instituto Paranaense de Cegos, all of whom have some visual impairment and with varying degrees. There were eight participants, who had the objective of recognizing the objects of the virtual environment. These objects were printed in 3D and previously presented to the participants. Geometric objects and mathematical functions were used: semi sphere, cube, cone, and toroid; straight line, exponential, logarithmic, and sine wave. Regarding the usability of the device, the volunteers reported that they would use the device in daily life, while the result obtained on object recognition was 75% accuracy. Based on the data collected, we discuss approaches to optimize the device and the system in future work.

Keywords: Haptic technology; Assistive technology; Visual impairment.

LISTA DE FIGURAS

1.1 Deficiências mais populares no Brasil em 2010 16

2.1 Imagem do dispositivo PHANToM da SensAble Technologies 20

4.1 Protótipo I. 28

4.2 Estrutura interna do Protótipo I. 29

4.3 Disposição dos componentes eletrônicos. 30

4.4 Representação dos quatro pontos de contatos entre os dedos e o objeto virtual. 31

4.5 Áreas de contato no formato de linhas. 31

4.6 Protótipo II. 32

4.7 Estrutura interna do Protótipo II. 33

4.8 Disposição dos componentes eletrônicos. 34

4.9 Interface exibindo os quatro pontos de contatos, alinhados horizontalmente. 35

4.10 Hastes mais curtas e com pontos físicos de referência foram desenvolvidas. 36

4.11 Representação dos pontos de contato. 36

4.12 Protótipo III. 37

4.13 Interface apresenta o ponto de contato fixado horizontalmente sobre a primeira linha de *pixel* da imagem 38

4.14 UP 3D Plus, 3D Machine One e 3D Cloner DH+, respectivamente. 39

4.15 *Screenshot* capturada durante a modelagem 3D da estrutura do Mouse Háptico. 40

4.16 Exemplo de posicionamento dos dedos durante a utilização do dispositivo. . 41

4.17 Servomotores HXT900 e HS-82MG, respectivamente. 42

4.18 Arduino Pro Mini e Arduino Nano, respectivamente. 42

4.19 Sensor óptico do modelo ADNS-5020. 43

4.20 Módulo de giroscópio modelo GY-521. 43

4.21 Diagrama dos componentes eletrônicos. 44
4.22 Exemplo da imagem de profundidade de um cubo 3D. 45
4.23 Fórmula do cálculo realizado. 46
4.24 Fluxograma do sistema desenvolvido em Python. 46
4.25 Fluxograma do sistema desenvolvido no Arduino. 47
4.26 Interface da aplicação de calibração. 48
4.27 Estimação da angulação desenvolvida pelas hastes hápticas. 49
4.28 Exemplo hastes em movimento de acordo com a interface. 49
4.29 Protótipo de teste com dois sensores ópticos. 50

5.1 Imagens de profundidade dos objetos utilizados no Experimento 1: cubo, semiesfera, toroide, e cone, respectivamente. 53
5.2 Objetos impressos em 3D para serem utilizados no Experimento 1: cone, semiesfera, cubo, e toroide, respectivamente. 54
5.3 Participante realizando uma tarefa do Experimento 1 55
5.4 Comparação entre o mapa de profundidade da semiesfera e do cone, respectivamente. 56
5.5 Matriz de confusão. 58
5.6 Modelagem 3D das hastes hápticas. 59
5.7 Exemplo da função de rotação do Mouse Háptico. 60
5.8 Modelagem do objeto 3D que representa uma curva exponencial. 61
5.9 Objetos utilizados no Experimento 2. 62
5.10 a) Modelos 3D da esfera e do cone, respectivamente. b) Mapas de profundidade de ambos. 63
5.11 Matriz de confusão (Fase 1 - Curvas). 65
5.12 Matriz de confusão (Fase 2 - Formas). 66
5.13 Matriz de confusão (Total). 67
5.14 Participantes durante o reconhecimento dos objetos. 70
5.15 Matriz de confusão dos participantes masculinos. 73
5.16 Matriz de confusão das participantes femininas. 74

5.17 Matriz de confusão total. 75
5.18 Gráfico comparativo entre o desempenho e a idade dos participantes. Vermelho = Mulher; Azul = Homem. 77

A.1 Comprovante do Envio do Projeto. 84

LISTA DE TABELAS

2.1 Termos da Háptica 19

3.1 Comparação entre sistemas hápticos. 26

4.1 Tabela de componentes e seus respectivos valores. 40

5.1 Comparação entre os participantes que realizaram os dois experimentos, com os que participaram apenas do segundo. 68

5.2 Dados coletados pela entrevista realizada antes do experimento. 72

5.3 Dados coletados sobre a usabilidade do dispositivo. 76

LISTA DE ACRÔNIMOS

TA	Tecnologia Assistiva
TH	Tecnologia Háptica
UFPR	Universidade Federal do Paraná
IPC	Instituto Paranaense de Cegos
3D	Três Dimensões
SMS	Short Message Service (Serviço de Mensagens Curtas)
FDM	Fused Deposition Modeling (Modelagem de Deposição Fundida)
ABS	Acrylonitrile Butadiene Styrene (Acrilonitrila Butadieno Estireno)
PLA	Poly Lactic Acid (Ácido Polilático)
USB	Universal Serial Bus (Porta Serial Universal)
XML	Extensible Markup Language (Linguagem Extensível de Marcação)
DMP	Digital Motion Processor (Processador Digital de Movimento)
EaD	Ensino a Distância

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO **16**

1.1 Objetivos e Metas 17

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA **18**

2.1 Deficiência Visual 18

2.2 Tecnologia Háptica 18

2.3 Tecnologia Assistiva 20

2.4 Considerações Finais 21

3 TRABALHOS RELACIONADOS **22**

3.1 TA + TH em atividades do cotidiano 22

3.2 TA + TH na Interação Humano-Computador 24

3.3 Comparação entre ferramentas semelhantes 26

4 MATERIAIS E MÉTODOS **27**

4.1 Diretrizes do Dispositivo 27

4.2 Protótipos 28

4.2.1 Protótipo I 28

4.2.2 Protótipo II 32

4.2.3 Protótipo III 37

4.3 Desenvolvimento do *Hardware* 38

4.3.1 Estrutura 39

4.3.2 Componentes Eletrônicos 41

4.4 Funcionamento do *Software* 44

4.5 Considerações Finais 51

5 EXPERIMENTOS E RESULTADOS **52**

5.1 Experimento 1 52

5.1.1 Experimento 1 - Procedimento 54
5.1.2 Experimento 1 - Resultados 55
5.2 Experimento 2 58
5.2.1 Experimento 2 - Procedimento 63
5.2.2 Experimento 2 - Resultados 64
5.3 Experimento 3 69
5.3.1 Experimento 3 - Procedimento 71
5.3.2 Experimento 3 - Resultados 71

6 CONCLUSÃO **79**

Bibliografia **83**

A Anexos **84**
A.1 Comprovante do Envio do Projeto 84
A.2 Termo de consentimento - Instituto Paranaense de Cegos 85
A.3 Entrevistas 88

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Segundo dados coletados pelo IBGE [9] no último senso realizado no Brasil, existem cerca de 6.562.910 de pessoas com alguma deficiência visual vivendo no país, o que representa cerca de 3,5% por cento da população total. Portanto, com o intuito de promover a autonomia e a independência das pessoas que possuem algum tipo de deficiência, uma área de conhecimento interdisciplinar chamada Tecnologia Assistiva (TA) desenvolve soluções capazes de tornar possível a realização de atividades, proporcionando novas funcionalidades, o que resulta numa melhor qualidade de vida à essas pessoas.

Ainda há muito o que ser desenvolvido no âmbito da TA, mesmo para as pessoas com deficiência visual, que é a mais prevalente deficiência no país em relação às demais, como apresentado na Figura 1.1.

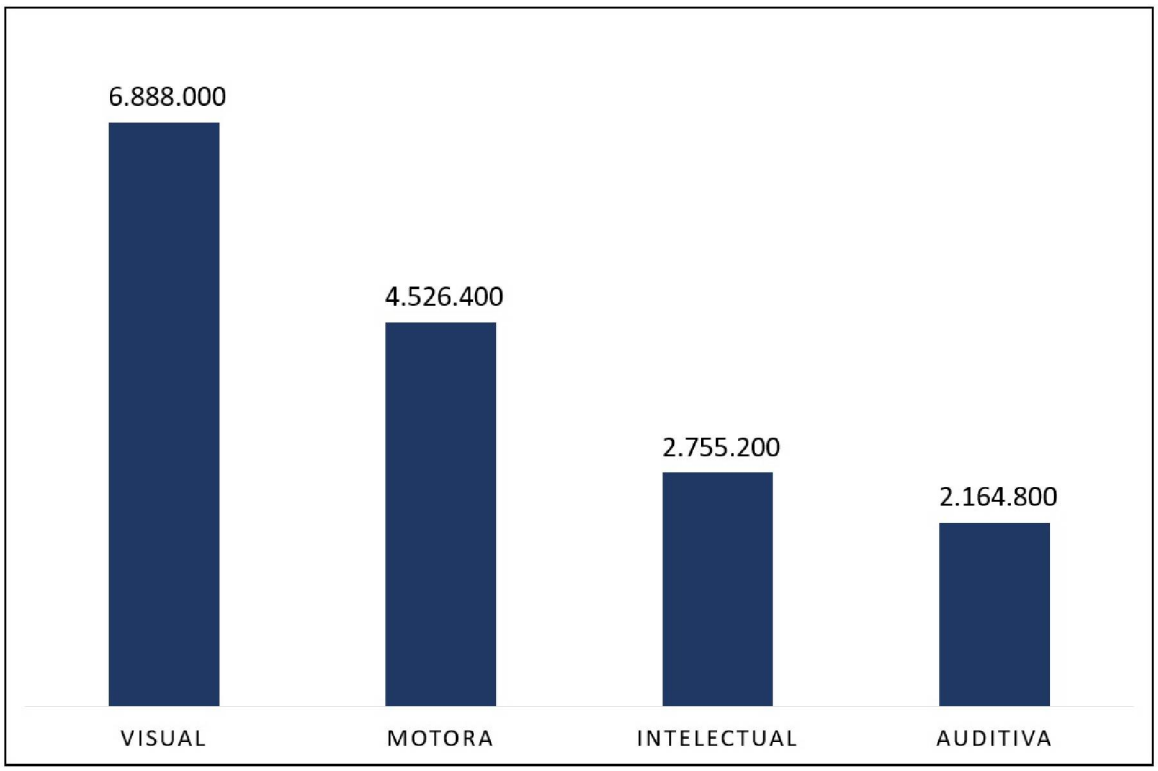


Figura 1.1: Deficiências mais populares no Brasil em 2010

.

Há uma área do conhecimento que possui um grande potencial para ser agregada a TA para criar novas soluções. A Tecnologia Háptica (TH) é uma área ainda pouco explorada na ciência, porém, a TH tem o propósito de promover uma interação cada vez mais natural entre humanos e máquinas. Assim sendo, a partir de um hardware e um algoritmo, torna-se possível criar diversas sensações captadas pelo sentido humano do tato, como simulação vibratória, fricção ou resposta com força (*force feedback*).

Sobre a fabricação de objetos e dispositivos de baixo custo, a tecnologia da impressão 3D é um recurso capaz de viabilizar este tipo de desenvolvimento, otimizando o tempo de fabricação de modelos 3D e tornando mais barato o progresso de projetos. Desse modo, o resultado é o aumento da margem de pessoas capazes de ter acesso a tais dispositivos.

1.1 Objetivos e Metas

O objetivo geral desta pesquisa foi desenvolver um dispositivo háptico de baixo custo que seja capaz de proporcionar, a indivíduos que possuem alguma deficiência visual, a simulação de toque em objetos tridimensionais virtuais, possibilitando o reconhecimento desses objetos.

Os objetivos específicos do trabalho foram: *a)* elaborar o modelo de uma estrutura física para o dispositivo; *b)* propor um esquema de *hardware* adequado a estrutura e as necessidades do sistema; *c)* desenvolver um *software* háptico para a comunicação com o dispositivo; *d)* integrar os componentes eletrônicos com a estrutura, e *software*; *e)* realizar experimentos para verificar a usabilidade do dispositivo; *f)* analisar dados e opiniões coletados durante os experimentos.

As metas do presente trabalho foram: *a)* contribuir para a ciência das áreas da tecnologia assistiva e da tecnologia háptica agregando conhecimento ao apresentar uma nova ferramenta; *b)* contribuir para a evolução da qualidade de vida das pessoas com deficiência visual; *c)* elaborar e fabricar um dispositivo capaz de possibilitar indivíduos com deficiência visual a reconhecer objetos virtuais por meio da simulação do toque.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No presente capítulo serão apresentados três tópicos que, reunidos, compreendem o tema proposto. Na Seção 2.1 são apresentados conceitos sobre a deficiência visual. Em seguida, na Seção 2.2 a Tecnologia Háptica (TH) é introduzida, enquanto a Tecnologia Assistiva (TA) é retratada na Seção 2.3. Com essas áreas apresentadas, a Seção 2.4 evidencia a intercessão entre os temas apresentados.

2.1 Deficiência Visual

As causas de uma deficiência visual podem ser diversas, podendo ser uma cegueira por infecção, um trauma pós lesão, fraca nutrição, anomalias metabólicas, má formação durante a gestação, ou até mesmo a idade avançada [8].

Com base em dados de um extenso estudo realizado em 2010 [23], a estimativa global do número de pessoas que sofrem alguma deficiência visual aproxima-se de 285 milhões, das quais 39 milhões de pessoas são completamente cegas. Nesse estudo, o autor ainda afirma que a deficiência visual é a deficiência que atinge o maior número de pessoas em escala global.

É possível notar que, majoritariamente, a deficiência visual é a que mais atinge pessoas tanto em escala nacional quanto em escala global.

2.2 Tecnologia Háptica

A tecnologia háptica pode ser compreendida como um conjunto de ferramentas, onde atuadores mecânicos aplicam forças simulando a física do ambiente virtual, pois é possível calcular essas forças em tempo real e enviar os comandos para os atuadores com o intuito de que o usuário possa sentir fisicamente o ambiente virtual [4]. Em outras palavras, um

sistema háptico é capaz de fazer com que uma pessoa, utilizando um dispositivo háptico, possa sentir o toque em uma simulação de um objeto sólido como se estivesse em frente ao próprio objeto [25].

Na tabela 2.1 são apresentados os termos e definições dos métodos que podem ser utilizados para a execução da háptica em dispositivos [21].

Tabela 2.1: Termos da Háptica

Termos	**Definição**
Háptico	Relacionado com a sensação de toque.
Proprioceptivo	Relacionado com a informação sensorial sobre o estado do corpo (incluindo cutâneo, cinestesia, e sensações vestibulares).
Vestibular	Pertencente à percepção da posição da cabeça, aceleração e desaceleração.
Cinestesia	Significa o sentimento de movimento. Relacionando-se com sensações originadas nos músculos, tendões e articulações.
Cutâneo	Pertencente à própria pele ou à pele como órgão sensorial. Inclui sensação de pressão, temperatura e dor.
Tátil	Pertinente ao sentido cutâneo, mas mais especificamente à sensação de pressão do que à temperatura ou dor.
Force Feedback ou Resposta de Força	Relacionado com a produção mecânica de informação detectada pelo sistema cinestésico humano.

A Tecnologia Háptica ainda é pouco explorada devido as limitações de *hardware* e ao custo de desenvolvimento, porém, é uma área muito promissora [11]. Com diversas aplicações da TH, os campos da indústria e da medicina já utilizam os recursos hápticos. Na indústria, encontram-se os *smartphones* apresentando a tecnologia háptica: quando o usuário mantém seu dedo pressionado sobre um ícone na tela, o aparelho emite uma vibração em resposta desse comando. Na área da medicina, existem ferramentas para treinamento médico de cirurgias [3] que utilizam dispositivos como o PHANToM da SensAble Technologies [18], que foi o primeiro dispositivo háptico a ser comercializado [29], no qual o usuário movimenta o dispositivo pelos eixos x, y e z enquanto a força dos motores internos é aplicada de acordo com o *software* (Figura 2.1).



Figura 2.1: Imagem do dispositivo PHANToM da SensAble Technologies

2.3 Tecnologia Assistiva

Objetivando possibilitar pessoas com deficiência a ter acesso aos mais diversos conteúdos de informação, a Tecnologia Assistiva propõe-se a desenvolver soluções que tornam possível a realização de atividades que anteriormente não poderiam ser executadas por tais pessoas. Outra forma de aplicação da TA é a otimização da execução de tarefas, viabilizando ao usuário uma maior habilidade de aprendizado ou trabalho, ampliando sua comunicação ou mobilidade. A meta é prover, a essas pessoas, cada vez mais o controle de seu próprio ambiente.

No Brasil, o termo de Tecnologia Assistiva foi definido em 2007 pelo Comitê de Ajudas Técnicas (CAT) da Secretaria Especial dos Direitos Humanos da Presidência da República [7]. A denominação desenvolvida para o termo da TA foi:

Tecnologia Assistiva é uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar,

que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social.

Estudos comprovam a importância da tecnologia assistiva aplicada a estudantes cegos e de baixa visão, verificando, com grande aceitação dos alunos e professores, maior autonomia e desempenho durante as aulas [1].

Usualmente, referindo-se ao campo de informação gráfica para pessoas portadoras de deficiência visual, as TA aplicadas se tratam de aplicações que transformam a informação gráfica em informação auditiva [27]. Sánchez J. *et al.* apresentam um sistema [26] onde um ambiente virtual é transformado em áudio 3D para o usuário.

2.4 Considerações Finais

Recentes avanços na tecnologia possibilitaram que os componentes utilizados na TH diminuíssem seu custo, viabilizando o desenvolvimento de aplicações assistiva e interativas para pessoas portadoras de deficiência, a fim de auxiliá-las nas atividades do cotidiano dessas pessoas.

Dispositivos hápticos tem o potencial de melhorar a orientação e movimentação dos usuários, o que contribui para a melhoria nas relações interpessoais e estimulam o aprendizado de alunos com deficiência visual.

Existe uma lacuna de informações perdidas entre ouvir a informação sobre o que é apresentado na tela e sentir o toque dessa informação. Um sistema assistivo pode informar o usuário via áudio que existe um trapézio na tela, mas sentir com o tato o formato dessa geometria pode ser uma experiência mais assertiva ao usuário. Nesse sentido a tecnologia háptica apresenta capacidade para proporcionar uma simulação de toque nos objetos virtuais 3D.

CAPÍTULO 3

TRABALHOS RELACIONADOS

Com o objetivo de investigar, catalogar e comparar ferramentas já existentes, neste capítulo é apresentada uma série de trabalhos relacionados com o propósito de prover assistência aos indivíduos com deficiência visual pela utilização de ferramentas computacionais. Logo, na Seção 3.1 estão retratadas as tecnologias assistivas que provém respostas hápticas a pessoas com deficiência visual em áreas no cotidiano como mobilidade, comunicação, e inclusão escolar. Por sua vez, a Seção 3.2 explora dispositivos hápticos que visam a interação com objetos 3D. Consequentemente, na Seção 3.3 é realizada a comparação entre essas ferramentas e os protótipos desenvolvidos ao longo do trabalho proposto.

3.1 TA + TH em atividades do cotidiano

Na área da mobilidade, visando disponibilizar mais informações sobre o ambiente para as pessoas com deficiência visual, Ramirez *et al.* [24] desenvolveram uma bengala háptica. Esta bengala é capaz de identificar um obstáculo próximo do usuário na altura de seu rosto, evitando acidentes. O dispositivo é equipado com um sonar para identificar os obstáculos, enquanto um micromotor é responsável por vibrar conforme a proximidade do objeto, alertando o usuário sobre o obstáculo encontrado.

Com o foco em pessoas com deficiência motora, o trabalho de Hadj-Abdelkader *et al.* [13] também pode ser útil a pessoas com baixa visão. O trabalho se trata de um sistema de uma cadeira de rodas apta a desviar de objetos dentro de 4 metros de distância. Controlada por um *joystick*, o sistema determina as áreas livres na direção do caminho sendo percorrido com sensores a laser. Quando um objeto é detectado, o usuário sente a resposta háptica do *joystick* e escolhe uma das opções de espaço livre calculado pelo sistema, que por sua vez se movimenta desviando do obstáculo.

Contribuindo no âmbito da comunicação, uma interface assistiva de interações interpessoais desenvolvida por Krishna *et al.* [14] apresenta uma luva equipada com 14 de motores vibratórios. Estes motores, posicionados um em cada falange dos dedos indicador, médio, anelar, mínimo, e polegar, recriam de forma simplificada as expressões universais básicas (felicidade, tristeza, surpresa, neutra, raiva, medo, e nojo).

Um dispositivo háptico desenvolvidos para pessoas com deficiência visual e auditiva foi projetado por Choudhary *et al.* [6]. O dispositivo é uma luva que se conecta com o *smartphone* do usuário via *bluetooth* e converte os textos para o braile, que é apresentado nas costas da mão por uma matriz de 3x2 composta por motores vibratórios. O dispositivo ainda possui uma matriz 3x2 de sensores de toque que ficam na palma da luva, possibilitando o usuário digitar um texto em braille que será convertido pela luva e enviado ao *smartphone.*

No campo da inclusão escolar outro dispositivo baseado luva foi proposto, onde o objetivo do sistema háptico é de orientar os usuários sobre os movimentos realizados pela mão do professor durante uma explicação que envolva gráficos, por exemplo. O sistema de Oliveira *et al.* [22] é composto por uma câmera que lê os movimentos da mão do professor enquanto o sistema gera a resposta háptica de vibração para os oito pontos de contato com a mão do usuário nas direções norte, sul, leste, oeste, nordeste, noroeste, sudeste, e sudoeste.

Um sistema háptico desenvolvido por Jenna L. *et al.* [30] propõe uma tela, com sensores de toque e atuadores vibratórios , capaz de prover a sensação de toque. O dispositivo tem a finalidade de prover assistência a alunos com deficiência visual, sendo utilizado em sala de aula para representar linhas, pontos, grades, e formas. Além do *feedback* tátil, o dispositivo conectado a um computador também oferece *feedback* auditivo sobre o conteúdo apresentado pela interface.

Vinte aplicações hápticas foram criadas por Murphy e Darrah [20] com o intuito de serem utilizadas pelo dispositivo Novint Falcon, aparelho considerado de baixo custo (cerca de $250 dólares) que provè três graus de liberdade (X, Y, Z). Essas aplicações possibilitam sensações tátil e sinestésicas para ensinar o aluno sobre matemática e ciência com temas

como volume de objetos tridimensionais e células de plantas.

3.2 TA + TH na Interação Humano-Computador

Outros dispositivos hápticos foram estudados e para a compreensão do funcionamento dos mesmos, bem como as aplicações nas quais são utilizados. Será apresentada uma breve análise sobre esses trabalhos que, de alguma forma, assemelham-se ao dispositivo proposto.

Um dispositivo háptico chamado SPIDAR-Mouse foi desenvolvido por Asai *et al.* [2] com o intuito de viabilizar a interação do usuário com objetos reais por meio de um sistema háptico. As informações de profundidade dos objetos do mundo real são captadas por um sensor Kinect. De acordo com o movimento do mouse sobre a representação virtual do objeto, o aparelho de dois graus de liberdade (X,Y) responde com simulações de colisões pelos 4 motores sob a superfície onde o mouse navega, transmitindo esses movimentos através de cabos.

Krusteva *et al.* [15] criaram um sistema háptico nomeado de Marionette, a fim de simular o toque em mapas de terreno em relevo. Com suporte a quatro dedos, suas hastes aplicam dois graus de liberdade para cada dedo, rotacionando em torno dos eixos X e Y de acordo com a curvatura do terreno virtual representado pelo ambiente virtual. Os primeiros resultados obtidos dos testes realizados apontam que a usabilidade do dispositivo é melhor aproveitada utilizando os quatro dedos em relação a experiência obtida com apenas um dedo.

No trabalho de Dima *et al.* [10] um experimento é conduzido para comparar a experiência de toque dos objetos físicos com todos os dedos, e a experiência de tocar o mesmo objeto por meio do dispositivo háptico Phantom, que oferece apenas um ponto de contato. O resultado obtido foi de que a primeira experiência foi mais eficaz, por conta do volume informação háptica obtida, já que obtêm-se mais pontos de contato.

Tsuboi *et al.* [31] desenvolveram um aparelho que simula o formato de uma esfera virtual a partir de uma matriz de micro atuadores que se movimentam ao longo do eixo Z. Estes pinos são acomodados numa placa fixada a frente do suporte, com formato de

mouse, para a mão do usuário. A superfície da placa háptica oferece espaço para que o usuário utilize até três dedos a fim de obter a resposta háptica.

Um pequeno e leve dispositivo háptico desenvolvido por Chinello *et al.* [5] é acoplado ao dedo do usuário, oferecendo dois pontos de contatos, sendo duas plataformas que respondem aos motores acoplados na parte traseira do dedo. O dispositivo provê três graus de liberdade para o usuário explorar a superfície do objeto simulado.

Oferecendo seis graus de liberdade (X, Y, Z, e rotação em torno de cada um desses eixos) e 12 pontos de contatos dispostos pela mão do usuário, o trabalho de Martinez *et al.* [17] apresenta um dispositivo háptico em forma de uma luva. O sistema é capaz de obter a posição e a orientação da luva para comparar com a posição do objeto virtual estipulando com que frequência vibratória os atuadores realizam a resposta háptica ao usuário.

O trabalho de Suzuki *et al.* [28] apresenta um dispositivo háptico de um grau de liberdade com seu formato sendo baseado em um mouse, com finalidade de prover a percepção da superfície de objetos 3D virtuais. A placa onde o dedo indicador é apoiado se movimenta ao longo do eixo Z para prover a sensação de relevo dos objetos.

Um sistema háptico para interação com objetos 3D em um ambiente virtual foi desenvolvido por Lopes *et al.* [16], de modo que estímulos elétricos criam uma contra força que faz com que o usuário respeite os limites dos objetos e do ambiente virtual. Quatro pares de eletrodos atuam nos pulsos, bíceps, tríceps, e ombros para gerar a sensação de toque nos objetos virtuais macios ou rígidos.

Com o objetivo de interagir com objetos de um ambiente virtual, Frati e Prattichizzo [12] criaram um sistema háptico que utiliza um sistema de rastreamento da mão para projetar a mão do usuário para o ambiente virtual. Um sensor Kinect é utilizado para realizar o rastreamento da mão, que por sua vez é acomodada com dois atuadores no dedo indicador, e no polegar, que pressionam os dedos conforme o movimento exercido pelos dedos em direção ao objeto virtual.

3.3 Comparação entre ferramentas semelhantes

Nesta seção, será apresentada a comparação entre as ferramentas avaliadas (tabela 3.1), e as versões desenvolvidas no presente trabalho (Protótipo I, e Protótipo II, e Protótipo III).

Tabela 3.1: Comparação entre sistemas hápticos.

	Pontos de Contato	Graus de Liberdade	Método Háptico	Acurácia
Asai	1	2	*Force Feedback*	20%
Krusteva	4	2	Tátil	~80%
Tsuboi	3	3	Tátil	N/A
Chinello	1	3	Tátil	~75%
Martinez	12	6	Tátil	65%
Suzuki	1	1	Tátil	N/A
Lopes	16	6	Cinestésico	N/A
Frati e Prattichizzo	2	6	*Force Feedback*	N/A
Protótipo I	4	3	*Force Feedback*	42,50%
Protótipo II	4	4	*Force Feedback*	88,75%
Protótipo III	1	2	*Force Feedback*	75%

Indivíduos com deficiência visual frequentemente utilizam múltiplos dedos para tocar a superfície dos objetos. Experimentos conduzidos por Morash *et al.* [19] mostram que as pessoas com deficiência visual completam tarefas hápticas mais rapidamente utilizando múltiplos dedos. O estudo ainda indica que pessoas cegas são mais beneficiadas comparado a pessoas com baixa visão. Esses dados reforçam que um dispositivo háptico 3D com múltiplos pontos de contato (*multi-finger*) pode ser mais adequado e vantajoso para esse grupo de pessoas.

Usando um dispositivo que possa ser manuseado como um mouse, o usuário pode descansar o braço sobre a superfície de trabalho, o que não ocorre com o Geomagic Phantom, por exemplo, que pode causar fadiga muscular devido à falta de apoio para o braço. Além disso, o formato tanto físico quanto da usabilidade do mouse já é amplamente difundido entre os usuários de computadores, evitando que o usuário tenha que se adaptar a um novo modelo de interação com o computador.

CAPÍTULO 4

MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta quatro divisões, sendo que na Seção 4.1 são definidas e elencadas as características que o dispositivo deve ter para ser desenvolvido. Na seção 4.2 os três protótipos produzidos são apresentados, enquanto nas seções 4.3 e 4.4, são retratados os processos de elaboração do *hardware* e do *software*, respectivamente. Para finalizar o capítulo, a Seção 4.5 relata as considerações finais sobre a ferramenta proposta.

4.1 Diretrizes do Dispositivo

Com o intuito de desenvolver um dispositivo de baixo custo, a prototipação das peças desenhadas para o Mouse Háptico, foi realizada pelo processo de impressão 3D.

O design do dispositivo é semelhante ao de um mouse convencional, conferindo menor tempo de adaptação do usuário com o formato da ferramenta proposta, já que o mouse é um periférico muito popular.

Como citado ao final da seção anterior (subseção 3.3), o número de dedos utilizados para o reconhecimento de objetos interfere diretamente no resultado da experiência que o usuário tem. Portanto, o dispositivo foi desenvolvido com suporte háptico para quatro dedos: indicador, médio, anelar, e mínimo; liberando o polegar para movimentação e apoio no dispositivo.

Para a comunicação entre o dispositivo e o computador, foi utilizado o Arduino, sendo um dispositivo de baixo custo, prático, e compatível com uma grande variedade de componentes eletrônicos e sistemas.

4.2 Protótipos

Na presente seção serão apresentados os protótipos desenvolvidos ao longo do projeto, apontando quais características compõem *hardware*, *software*, e abordagem háptica. O Protótipo I será apresentado em 4.2.1, o Protótipo II apresentado em 4.2.2, e o Protótipo III em 4.2.3. Após apresentados os protótipos, a maneira de como se dá o funcionamento dessas características, serão discriminadas a partir da seção 4.3.

4.2.1 Protótipo I

Nesta subseção serão apontadas as características do *hardware*, *software*, e da abordagem háptica utilizada no Protótipo I, ilustrado na Figura 4.1.

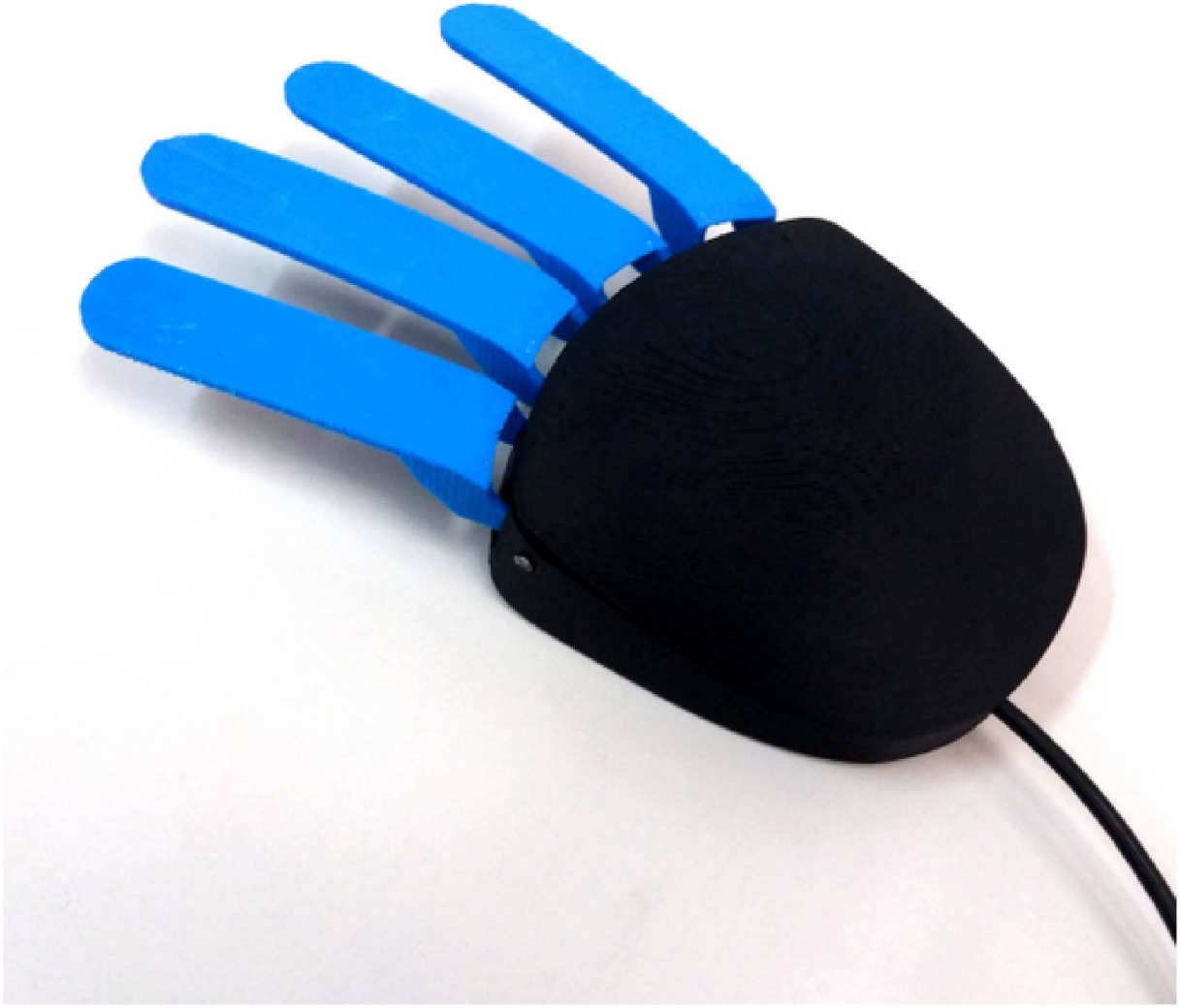


Figura 4.1: Protótipo I.

- *Hardware:* O *hardware* é considerado toda a parte física do dispositivo, desde a estrutura do corpo (Figura 4.2) até os componentes eletrônicos.

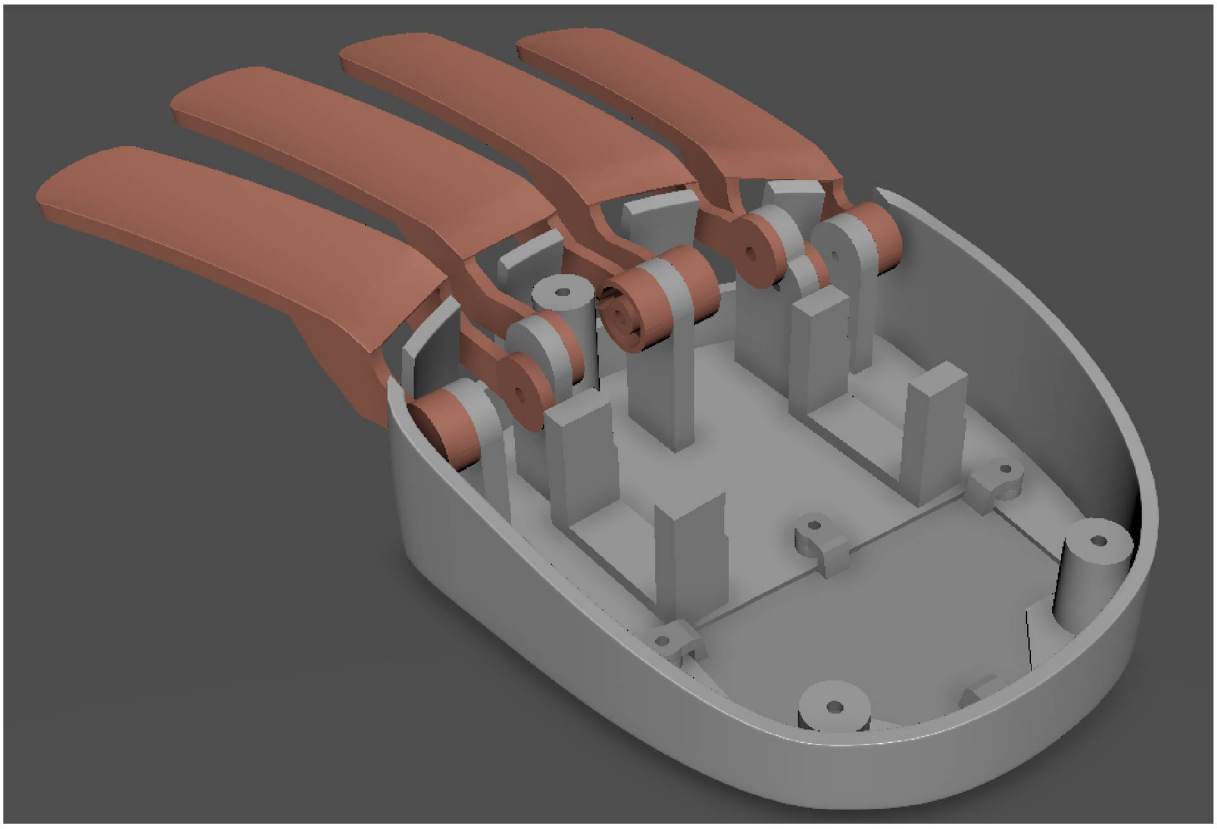


Figura 4.2: Estrutura interna do Protótipo I.

A estrutura foi impressa em 3D de modo que suportasse:

- 4 Servomotores HXT900.
- 1 Arduino Pro Mini.
- 1 Sensor óptico ADNS-5020.
- 4 Hastes longas.

Estes componentes estão integrados a estrutura na Figura 4.3 a seguir.

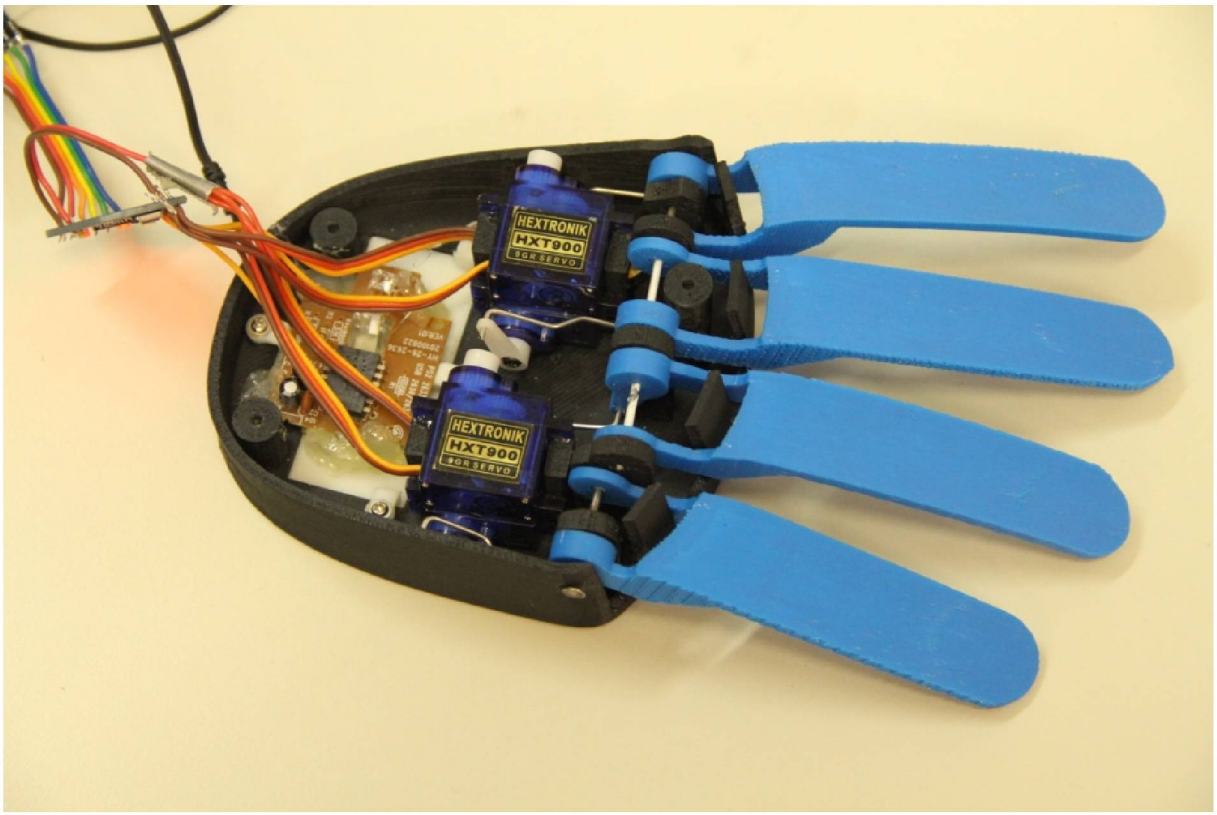


Figura 4.3: Disposição dos componentes eletrônicos.

- *Software:* Durante a execução do *software* o usuário tem liberdade de movimentação pelos eixos X e Y para navegar pelo ambiente virtual.

  A *interface* desse ambiente virtual apresenta o mapa de profundidade do objeto 3D, e os pontos que referenciam o contato físico simulado.

  Os pontos virtuais de referência aos dedos físicos, foram definidos por uma média de uma mão masculina e uma mão feminina, o que gerou os quatro pontos apresentados na Figura 4.4.

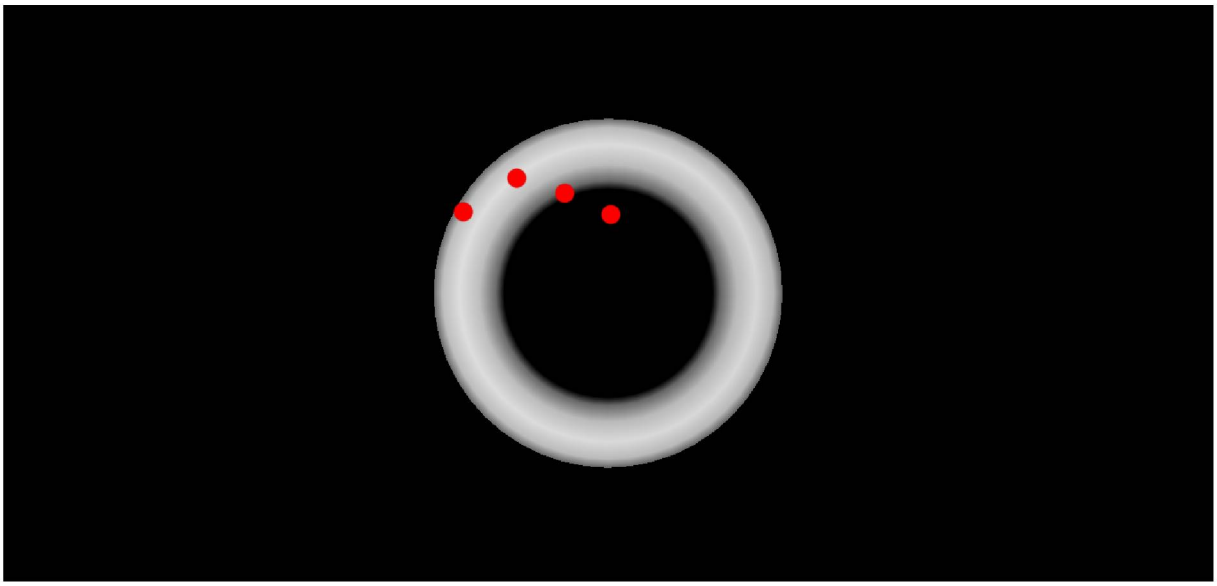


Figura 4.4: Representação dos quatro pontos de contatos entre os dedos e o objeto virtual.

- *Abordagem háptica:* O usuário pode navegar livremente pelo plano 2D criado por X e Y para encontrar as informações do eixo Z que representa o objeto apresentado pelo *software*, resultando em 3 graus de liberdade ao Protótipo I.

  Após testes realizados (seção 5.1), foi observado que por conta do formato das hastes, a resposta háptica não foi objetiva o suficiente aos participantes, pois enquanto o sistema (ilustrado na Figura 4.4 pela interface) gera o *feedback* de quatro pontos, o usuário do aparelho sente o toque no formato de uma linha (Figura 4.5).

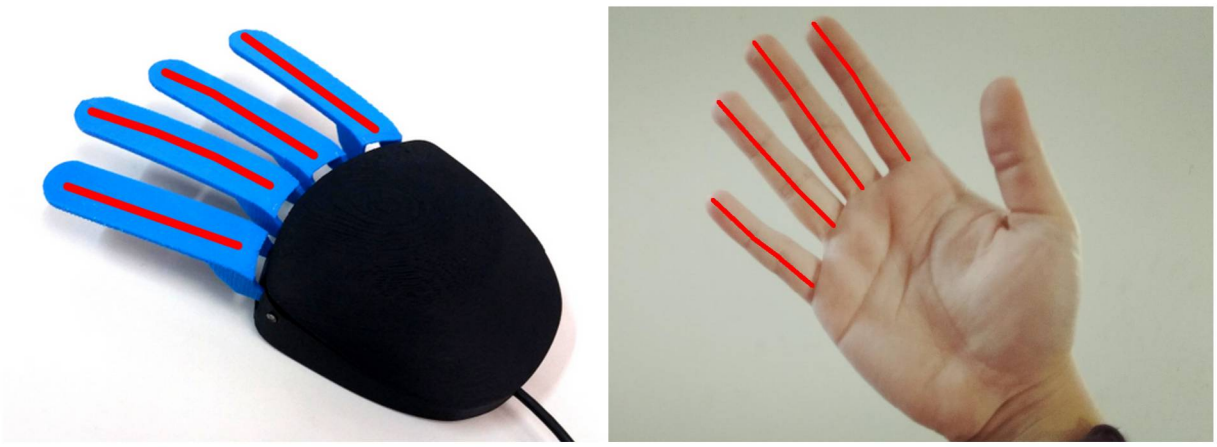


Figura 4.5: Áreas de contato no formato de linhas.

Mesmo que os usuários fossem orientados a apoiar apenas as pontas dos dedos sobre

as hastes, ainda haveria uma diferença de percepção entre uma pessoa e outra, já que não há uma referência física nas hastes para que o usuário o faça.

Para que todos os usuários tenham a mesma resposta háptica, e podendo referenciar um ponto físico com um ponto virtual (em vez de referenciar uma linha física, com um ponto virtual), o Protótipo II (Seção 4.2.2) foi desenvolvido com base nisso e em outros dados coletados durante o Experimento 1 apresentado na seção 5.1.

4.2.2 Protótipo II

Em seguida, as particularidades de *hardware*, *software*, e da abordagem háptica do Protótipo II (Figura 4.6) serão apresentadas.

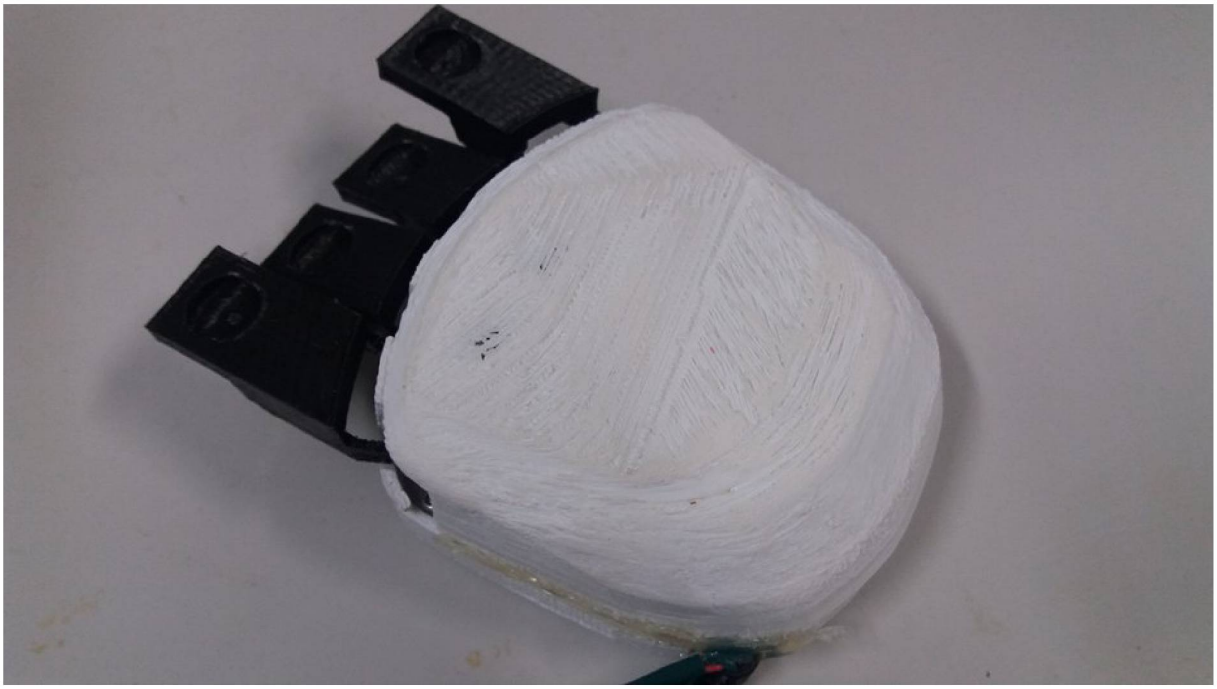


Figura 4.6: Protótipo II.

- *Hardware:* A estrutura desse protótipo (Figura4.7) tem um modelo mais complexo em relação ao do Protótipo I, pois acomoda outros componentes.

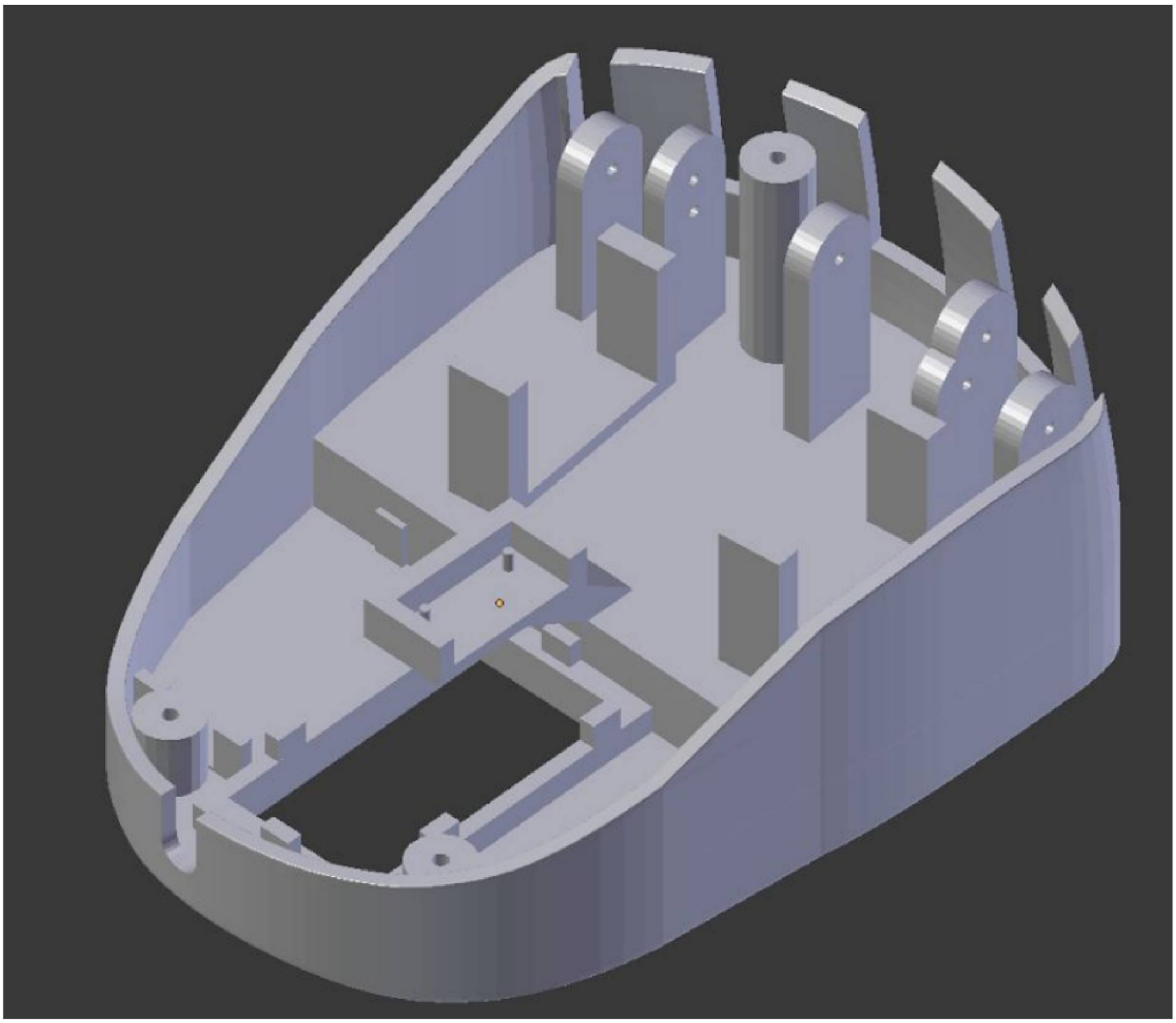


Figura 4.7: Estrutura interna do Protótipo II.

Os componentes que compõem o Protótipo II, são:

- 4 servomotores HS-82MG.
- 1 Arduino Nano.
- 1 Sensor óptico ADNS-5020.
- 4 Hastes curtas.
- 1 Sensor giroscópio MPU-6050.

Os componentes mencionados podem ser observados na Figura 4.8.

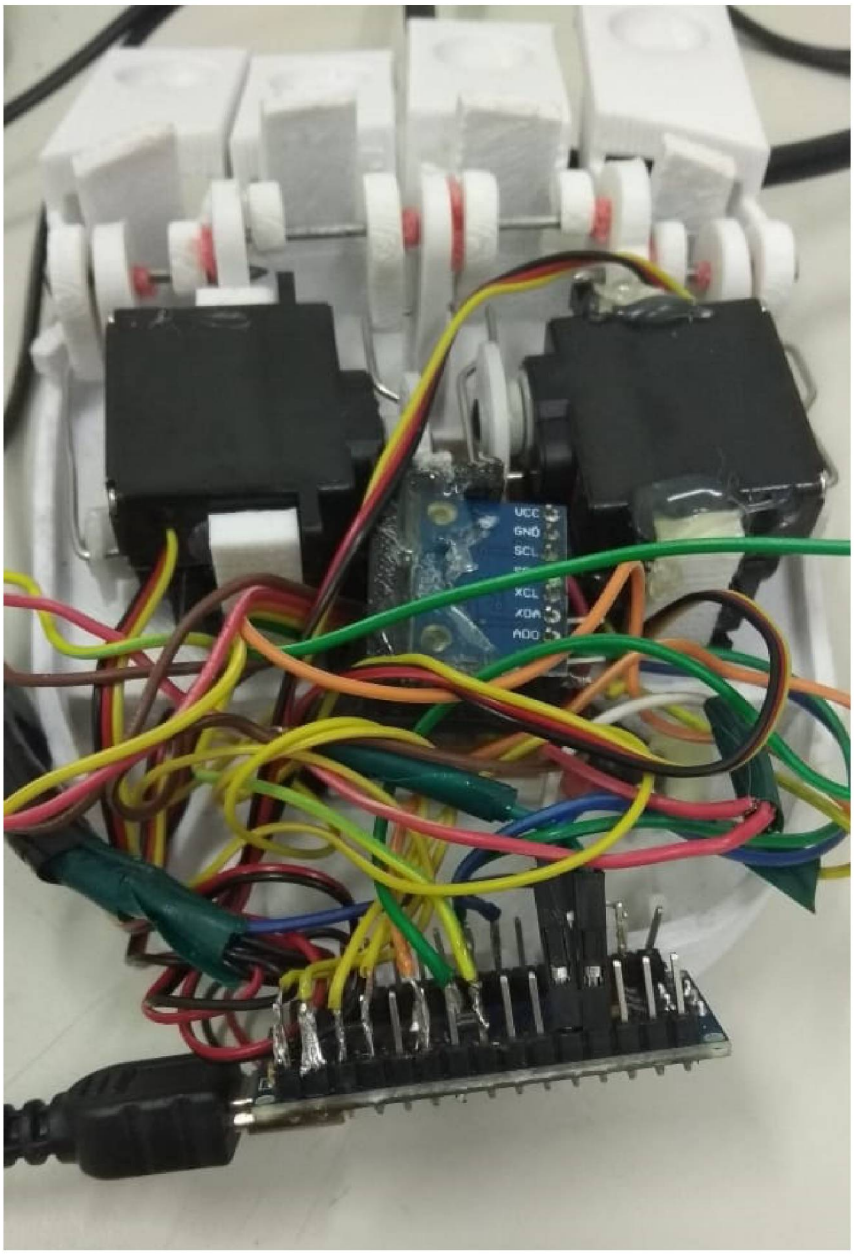


Figura 4.8: Disposição dos componentes eletrônicos.

- *Software:* Em conjunto com a nova abordagem háptica apresentada no próximo item, os pontos virtuais de referência aos dedos físicos apresentam-se alinhados ao longo do eixo Y (Figura 4.9).

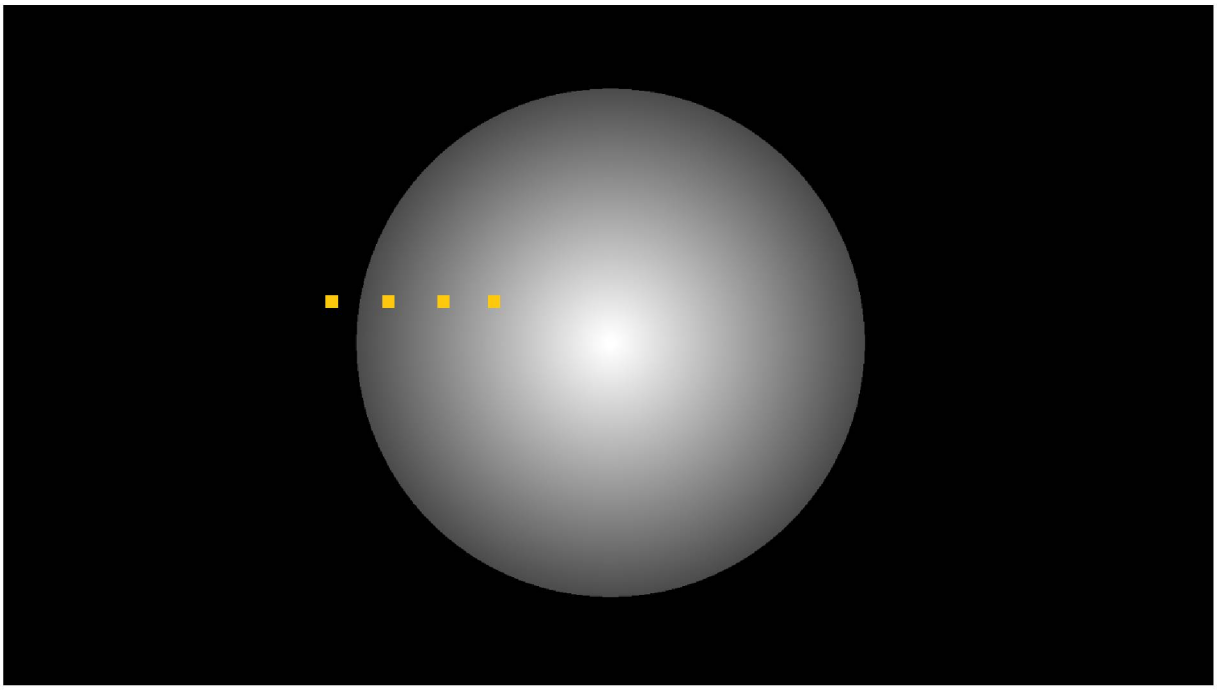


Figura 4.9: Interface exibindo os quatro pontos de contatos, alinhados horizontalmente.

Mantendo a liberdade pelos eixos X e Y, um sistema de rotação ao eixo Z foi integrado, verificando o quarto grau de liberdade ao Protótipo II.

- *Abordagem háptica:* Um novo modelo de haste háptica foi implementado (Figura 4.10) na tentativa de gerar experiências hápticas semelhantes entre usuários com diversos tamanhos de dedos.

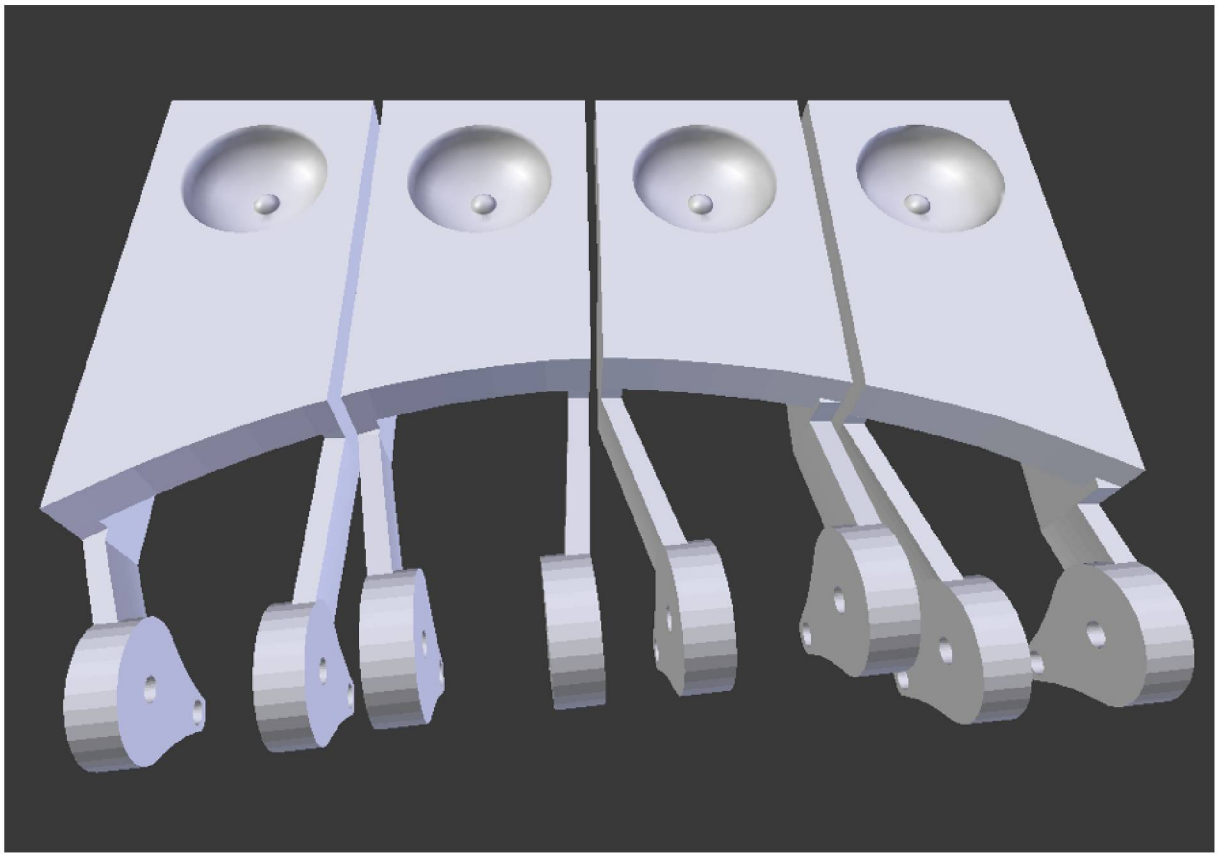


Figura 4.10: Hastes mais curtas e com pontos físicos de referência foram desenvolvidas.

O presente modelo possui uma concavidade com um ponto em proeminência, dessa forma esses pontos passam a ser os correspondentes aos representados pelo sistema (Figura 4.11).

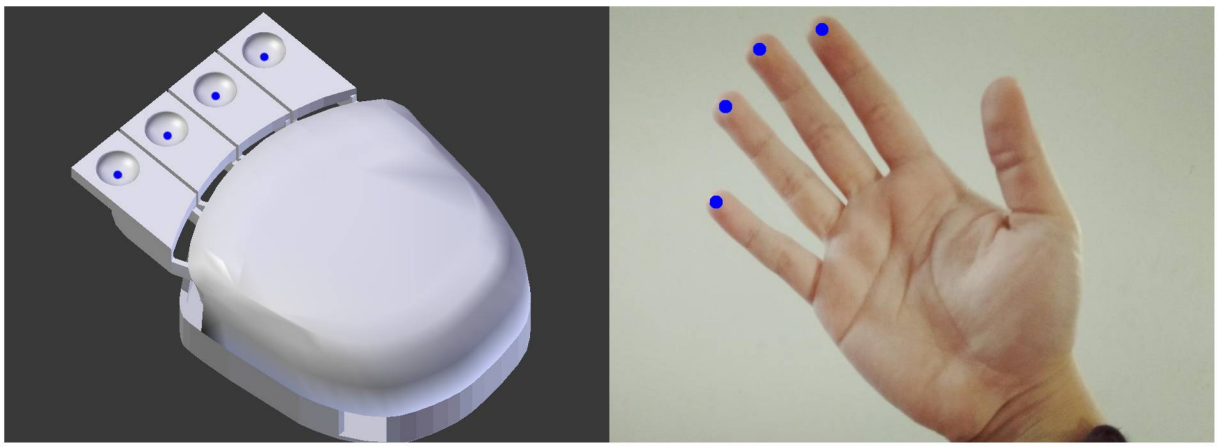


Figura 4.11: Representação dos pontos de contato.

4.2.3 Protótipo III

Com uma abordagem mais enxuta do Protótipo II, esta versão (exibida na Figura 4.12) tem uma proposta háptica mais objetiva. Suas características de *hardware*, *software*, e abordagem háptica são apresentadas a seguir.

Figura 4.12: Protótipo III.

- *Hardware:* Este protótipo, utilizou a mesma estrutura do Protótipo II, porém, os componentes foram reduzidos. Os módulos utilizados foram:
  - 1 Servomotor HS-82MG.
  - 1 Arduino Nano
  - 1 Sensor óptico ADNS-5020.
  - 1 Haste curta.
- *Software:* Como pode ser observado na Figura 4.13, a interface apresenta o próprio objeto 3D no centro da tela; seu mapa de profundidade, distribuído em uma linha

de *pixel* no topo na tela; em conjunto com o ponto de referência virtual em relação ao ponto de contato físico, que é limitado a percorrer apenas pelo eixo Y em que se encontra o mapa de profundidade.

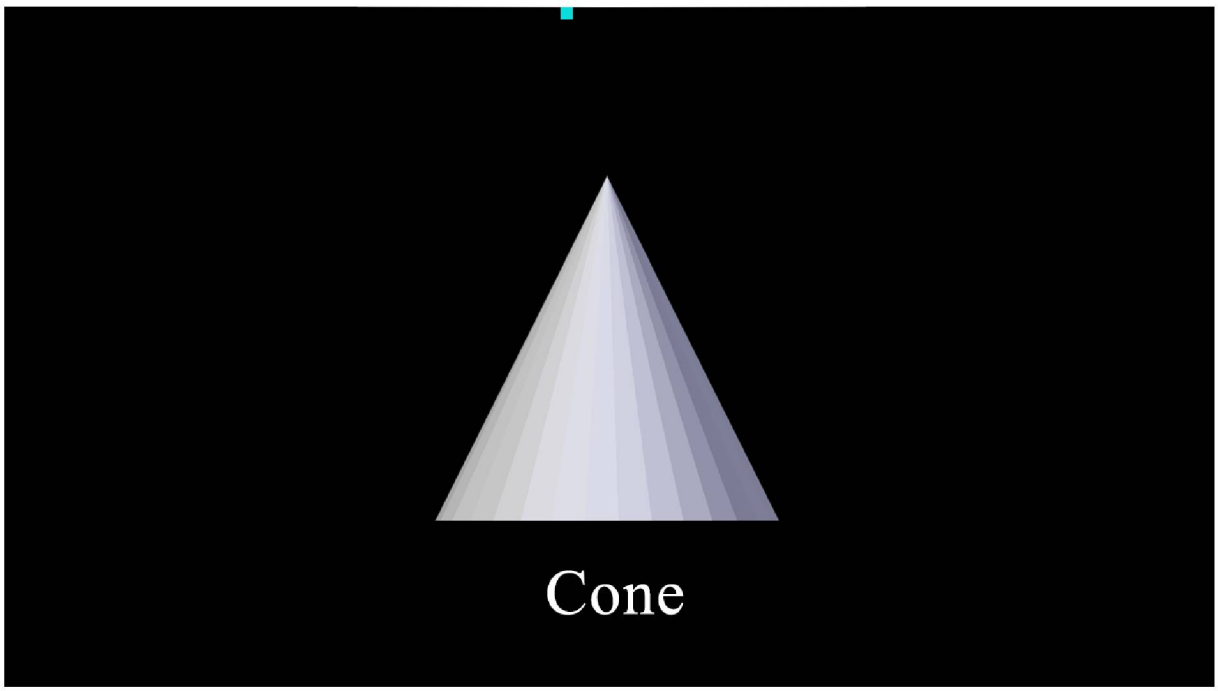


Figura 4.13: Interface apresenta o ponto de contato fixado horizontalmente sobre a primeira linha de *pixel* da imagem

- *Abordagem háptica:* Evitando que o usuário se perca durante a navegação pelo ambiente virtual (como pôde ser observado durante o experimento relatado na seção 5.2), o Protótipo III aborda a movimentação fixa ao longo do eixo Y. Dessa forma, o usuário é forçado a percorrer o centro do objeto de um lado ao outro, obtendo a forma 2D (Y,Z) de um objeto ou gráfico.

  Sem o sistema de rotação integrado, e com a utilização de uma haste háptica predeterminada a percorrer apenas o eixo Y, o Protótipo passa a ter dois graus de liberdade.

4.3 Desenvolvimento do *Hardware*

Nesta seção, serão apresentados o desenvolvimento da prototipação da estrutura do dispositivo em 4.2.1, e do esquema dos componentes eletrônicos em 4.2.2.

4.3.1 Estrutura

Para a prototipação das peças projetadas, foram utilizadas as seguintes impressoras: UP 3D Plus, 3D Machine One e 3D Cloner DH+ (Figura 4.14), disponíveis no laboratório de pesquisa do grupo IMAGO. Todos esses dispositivos funcionam com a tecnologia FDM (*Fused Deposition Modeling*, Modelagem de Deposição Fundida, em português), que é caracterizada pela deposição de material em camadas, utilizando geralmente plásticos, como ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene* (Acrilonitrila Butadieno Estireno)) e PLA (*Poly Lactic Acid*, (Ácido Polilático)). Cada uma dessas impressoras possui propriedades diferentes, sendo adequadas para situações distintas.

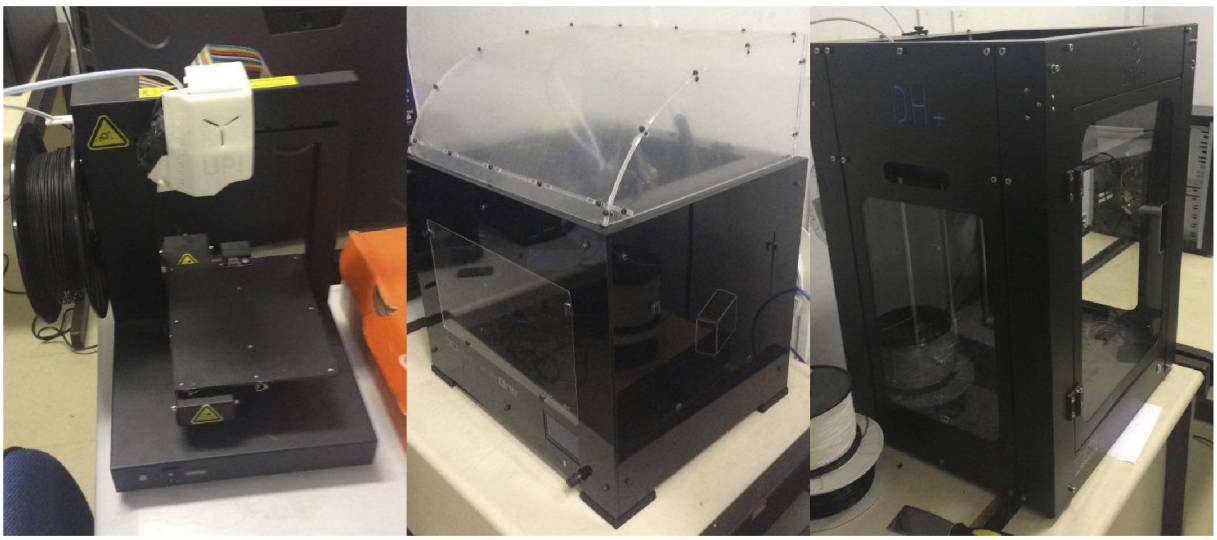


Figura 4.14: UP 3D Plus, 3D Machine One e 3D Cloner DH+, respectivamente.

A fim de verificar a viabilidade da fabricação do dispositivo, e para alcançar seu objetivo de ser um aparelho de baixo custo, foi realizado um levantamento dos materiais e componentes utilizados no projeto. Sendo assim, a tabela 4.1 apresentada a seguir relaciona os materiais necessários para replicar o mouse na forma do Protótipo III, e seus respectivos custos.

Tabela 4.1: Tabela de componentes e seus respectivos valores.

Material / Componente	**Quantidade**	**Valor**
Filamento ABS	115 Gramas	R$15,64
Sensor Óptico ADNS-5020	1	R$28,90
Giroscópio MPU-6050	1	R$12,90
Arduino Nano	1	R$24,90
Servomotor HS-82MG	4	R$143,20
Arame de Aço Harmônico	1	R$5,50
Fonte 5V	1	R$7,90
TOTAL	-	R$238,94

O custo total dos materiais utilizados para uma réplica do Mouse Háptico vale em torno de R$238,94. Apesar de não ser um valor tão baixo, ainda é muito inferior a outros dispositivos hápticos presentes no mercado, como o popular PHANToM da SensAble Technologies que custa em torno de $1,000.00 dólares.

O *design* das peças foi projetado no *software* Blender. Uma *screenshot* (Figura 4.15) aplicada durante o desenvolvimento de uma peça apresenta a *interface* do *software* utilizado.

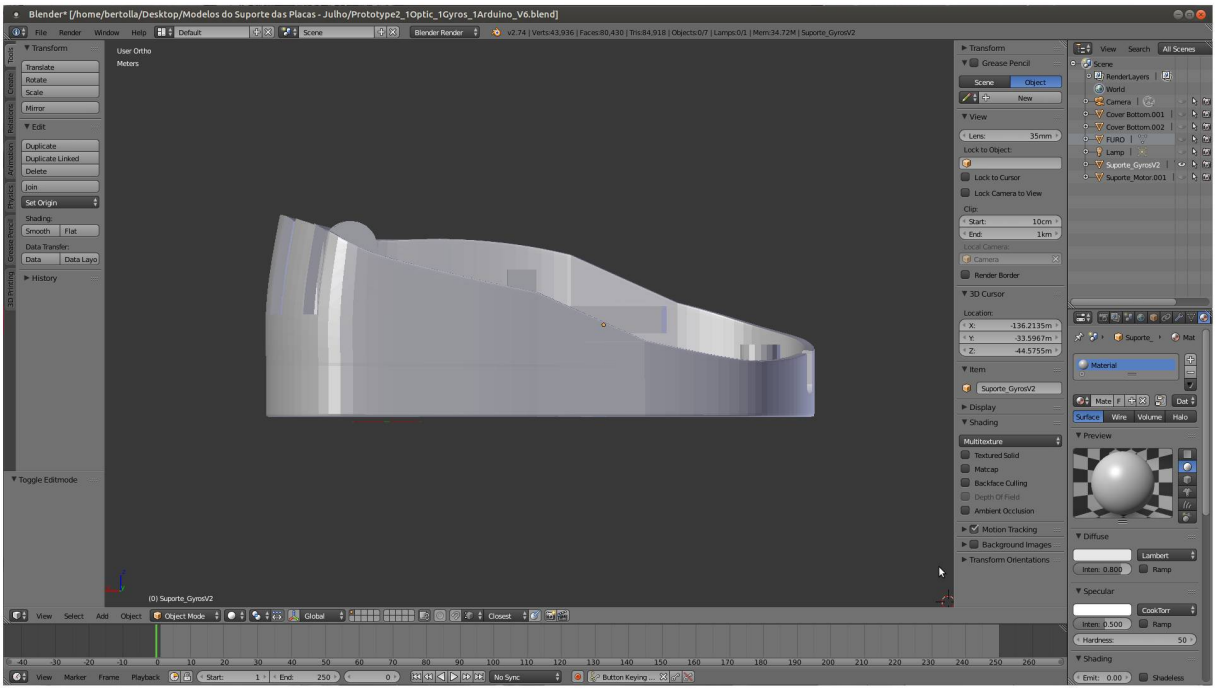


Figura 4.15: *Screenshot* capturada durante a modelagem 3D da estrutura do Mouse Háptico.

Buscando uma boa ergonomia e adaptabilidade do mouse háptico, considerando a

diversidade de usuários, a princípio (Protótipo I) a modelagem das hastes dos dedos e da base palmar utilizou como referência dois modelos de mão escaneadas (um feminino e outro masculino). O polegar permanece em posição de repouso e não é movimentado, enquanto os outros dedos têm as hastes hápticas como apoio (Figura 4.16).

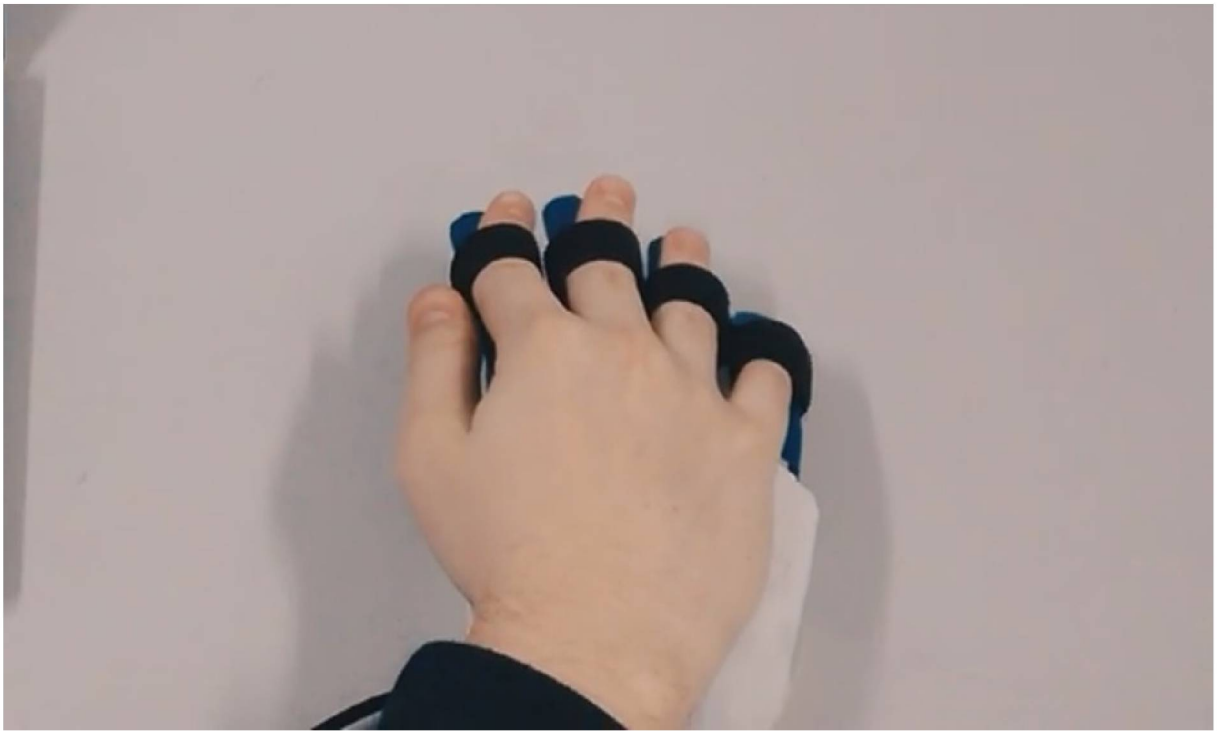


Figura 4.16: Exemplo de posicionamento dos dedos durante a utilização do dispositivo.

4.3.2 Componentes Eletrônicos

Os servomotores utilizados no Protótipo I foram do modelo HXT900, e barras de fixação de aço harmônico conectaram os motores com as hastes hápticas, transmitindo o movimento. Após testes (seção 5.1), notou-se a necessidade de aprimorar os componentes eletrônicos devido à instabilidade de movimentação que esses motores apresentaram. Portanto, para garantir melhor estabilidade e rotação mais suave dos motores, foram obtidos os modelos HS-82MG. Servomotores HXT900 e HS-82MG ilustram a Figura 4.17.

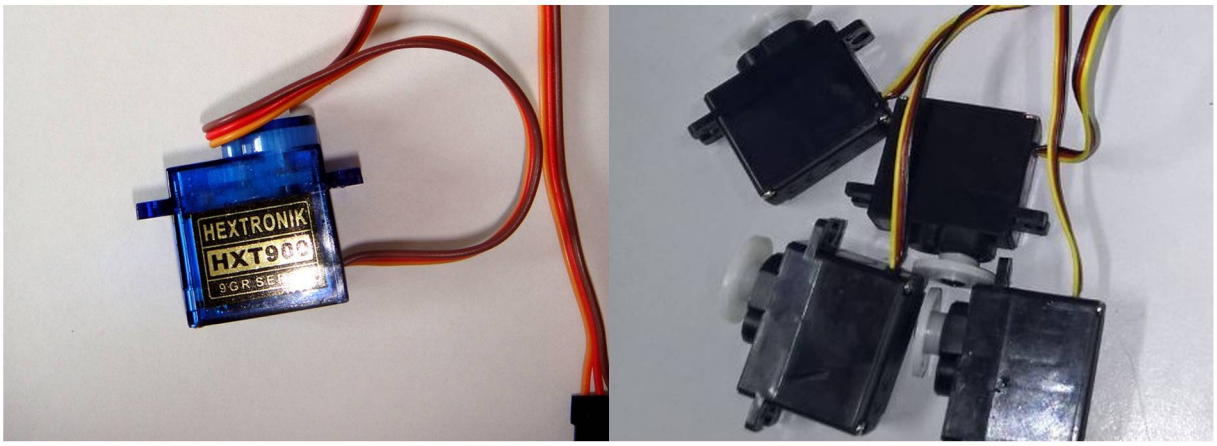


Figura 4.17: Servomotores HXT900 e HS-82MG, respectivamente.

Na primeira versão do aparelho, o módulo que controlou a comunicação entre os componentes e o sistema foi um Arduino Pro Mini. Para melhorar a comunicação entre o sistema e os componentes, foi utilizado o Arduino Nano nas versões II e III do dispositivo, diminuindo o tempo de resposta dos componentes e aumentando a capacidade de comportar novos módulos que estavam por vir. A taxa de atualização do algoritmo no Arduino Nano é de aproximadamente 100Hz, um valor adequado para a usabilidade do usuário sem que ocorram travamentos, obtendo-se boa fluidez. Ambos os controladores são apresentados na Figura 4.18.

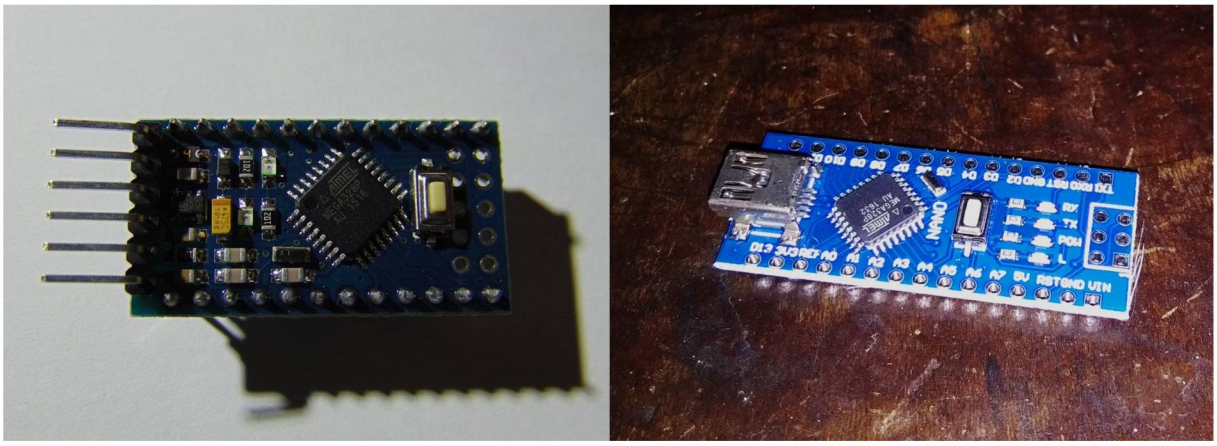


Figura 4.18: Arduino Pro Mini e Arduino Nano, respectivamente.

A detecção de movimento é dada por um sensor óptico de um mouse, o qual foi desmontado e teve seus componentes internos acoplados em uma placa especialmente projetada. Os sensores ópticos utilizados, foram os sensores do modelo ADNS-5020 (Figura 4.19).

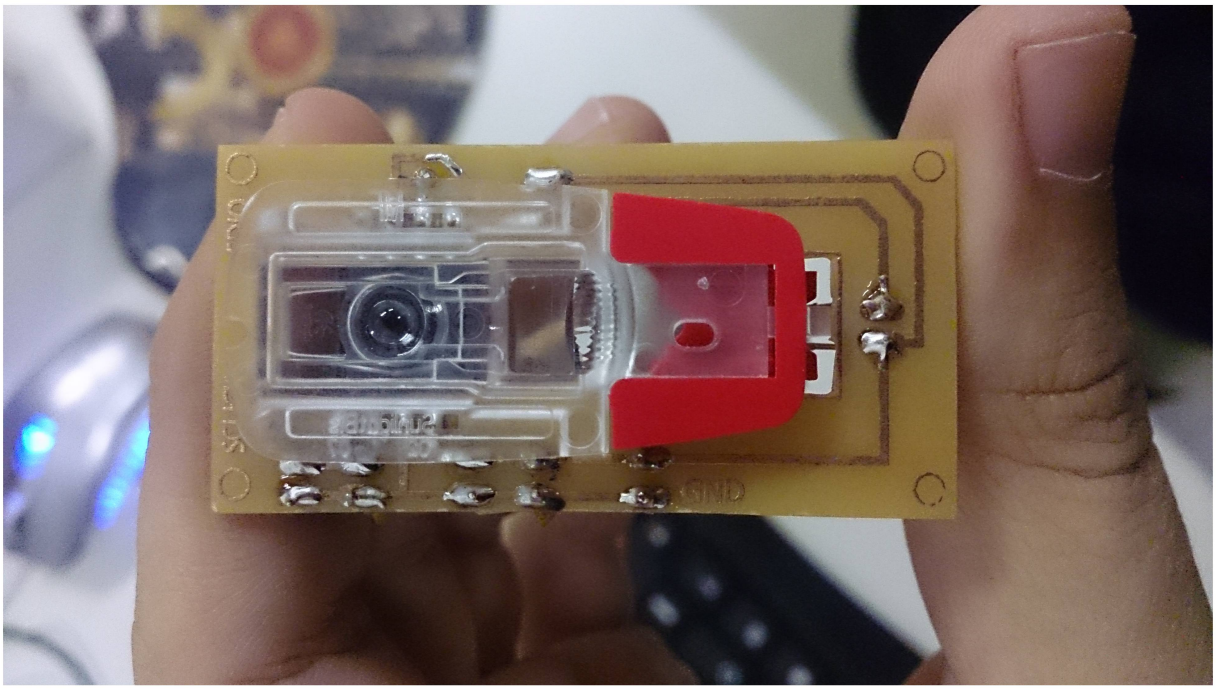


Figura 4.19: Sensor óptico do modelo ADNS-5020.

Módulos de giroscópio do modelo GY-521 (Figura 4.20) também foram adquiridos para a implementação do sistema de rotação em torno do eixo Z utilizado na segunda versão do protótipo.

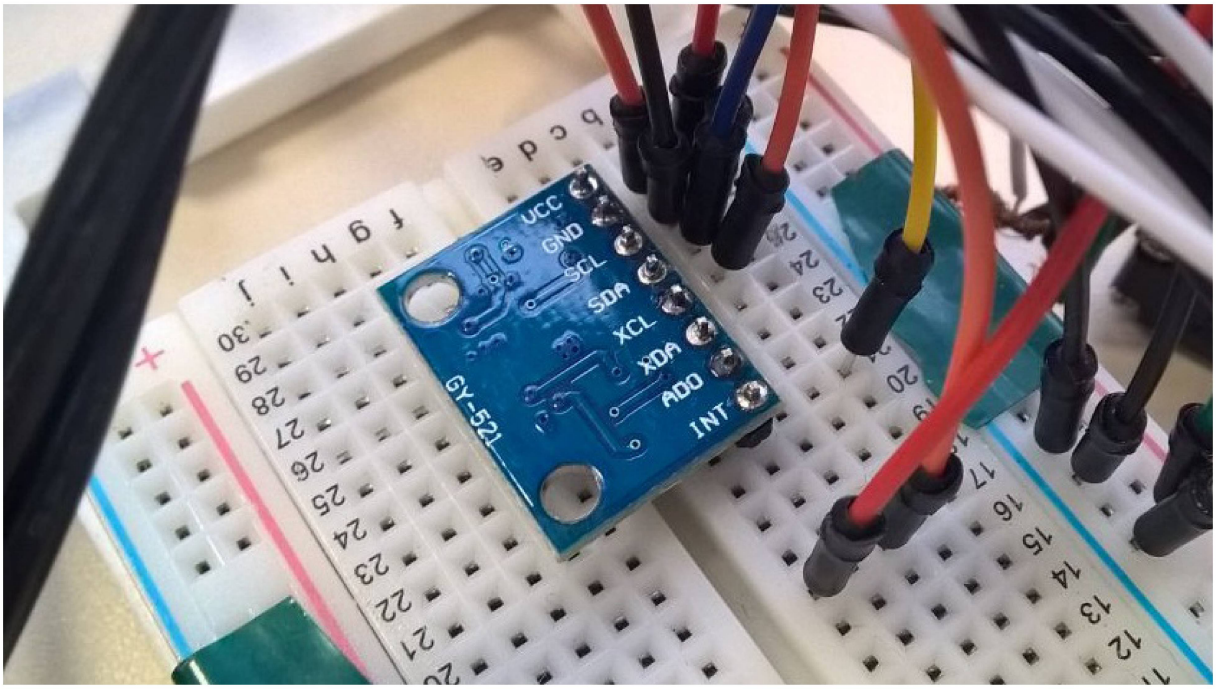


Figura 4.20: Módulo de giroscópio modelo GY-521.

Após a leitura da movimentação do mouse realizada pelo usuário, a partir do sensor

óptico e do giroscópio, o Arduino envia esses dados para o sistema, que por sua vez processa essa informação e retorna ao Arduino, que endereça uma nova posição para cada um dos motores, transferindo o movimento mecânico para as hastes hápticas. Em seguida, é exibido o diagrama eletrônico dos componentes utilizados (Figura 4.21).

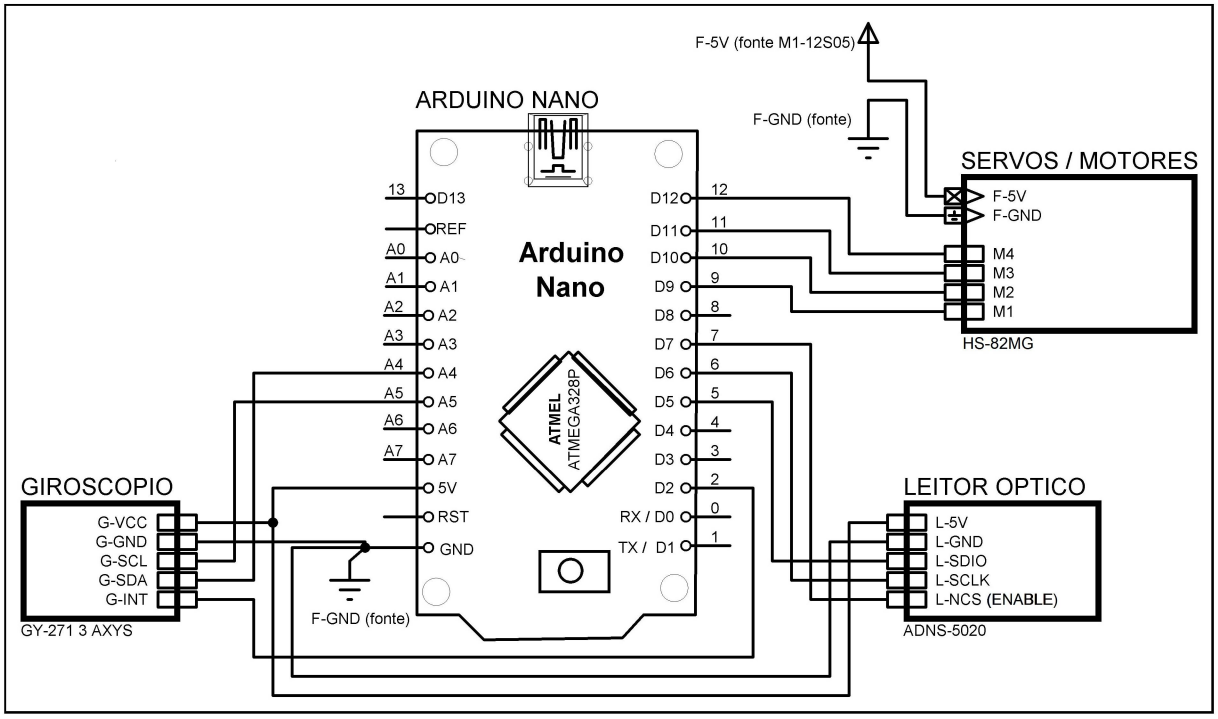


Figura 4.21: Diagrama dos componentes eletrônicos.

4.4 Funcionamento do *Software*

O *software* do mouse háptico é dividido em dois grupos: o primeiro, feito em Python é responsável pela renderização háptica. O segundo, é o software do Arduino, que controla os motores e é responsável por obter dados de posicionamento e enviá-los à aplicação Python.

A aplicação Python consiste em um código projetado com Pygame e possui duas *threads*, uma responsável por obter as coordenadas e rotação do mouse háptico, e outra que cuida da renderização háptica, da atualização de imagens na tela, e do envio da rotação de cada dedo para os motores. Uma imagem de profundidade (Figura 4.22) é apresentada na tela e a imagem representa as distâncias do ponto de vista na tela até o objeto. Quanto mais próximo do branco (255), mais próximo o objeto está da referência,

consequentemente quanto mais longe, a cor tenderá para o preto (0).

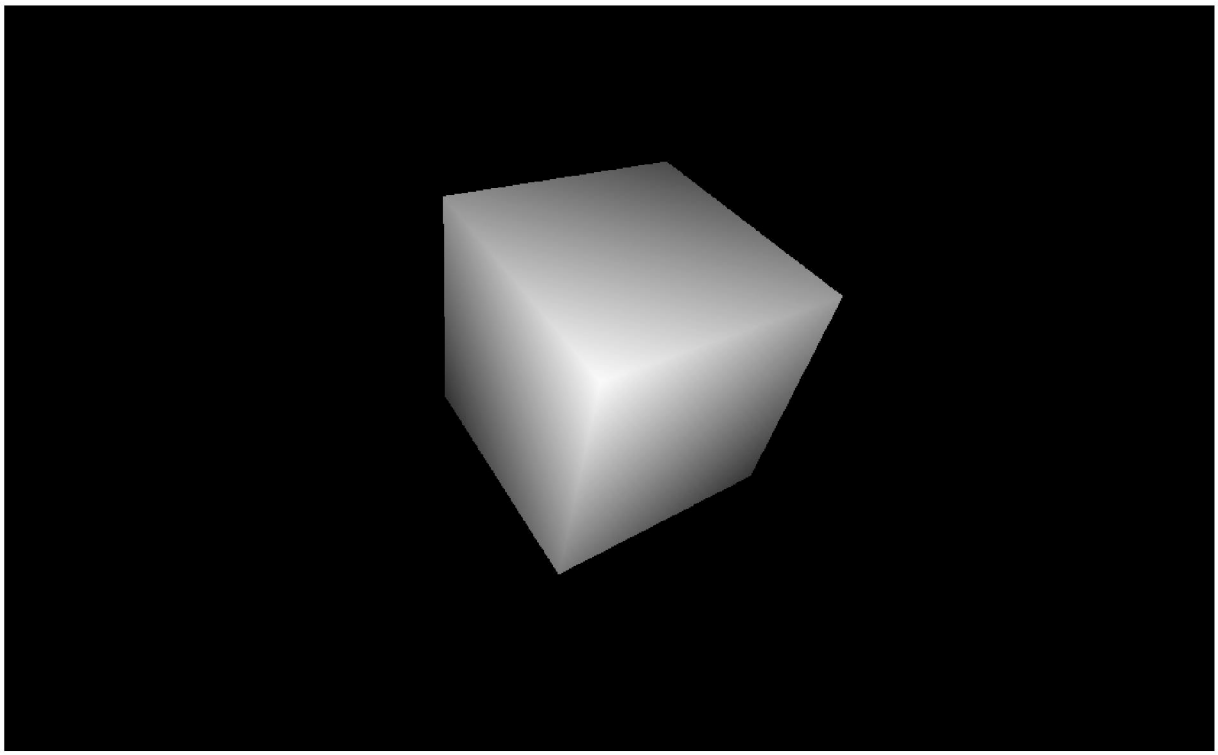


Figura 4.22: Exemplo da imagem de profundidade de um cubo 3D.

Além de exibir o mapa de profundidade (*depth map*), a aplicação indica na tela quatro pontos que são os vetores que representam a posição dos dedos. Esses vetores são posicionados de acordo com o ponteiro do mouse. Obtendo-se os tons em cada ponto mapeia-se uma relação entre a escala da cor (0-255) e um ângulo que será enviado ao Arduino para movimentar os motores servo. A comunicação entre a aplicação Python e o Arduino ocorre via protocolo serial USB.

A aplicação obtém por meio do sensor óptico uma única posição (X,Y) do mouse. Para cada um dos dedos, calcula-se a sua posição relativa ao sensor óptico baseado nos parâmetros *offsetX* e *offsetY* (presentes no arquivo de configuração da calibração do dispositivo). Obtêm-se um valor Pi de 0 a 255 da imagem de profundidade e calcula-se a medida do ângulo de rotação do θi motor utilizando os parâmetros de configuração definidos na calibração:

$$\theta_i = \begin{cases} \phi_{max_i} - \left[\left(1 - \frac{p_i - 128}{127}\right) * (\phi_{max_i} - \phi_{min_i}) * (1 - c_i)\right] & p_i \geq 128 \\ \frac{p_i}{128} * c_i * (\phi_{max_i} - \phi_{min_i}) + \phi_{min_i} & caso\,contrário \end{cases} \quad \text{para i = \{1,2,3,4\}} \qquad (1)$$

Figura 4.23: Fórmula do cálculo realizado.

Tal que ϕ *min* e ϕ *max* definem respectivamente os ângulos máximo e mínimo de rotação da haste e c define o valor da posição de repouso. Assim, a Equação 1 é uma interpolação não-linear a qual garante que a posição de repouso ocorra no valor de profundidade mediano. O ângulo de rotação é então enviado para o Arduino, que movimenta a haste pela ativação do motor. Para evitar concorrência de dados, operações de entrada e saída, tais como obtenção da posição do mouse e controle dos motores, são realizadas em processo paralelo (Figuras 4.24 e 4.25).

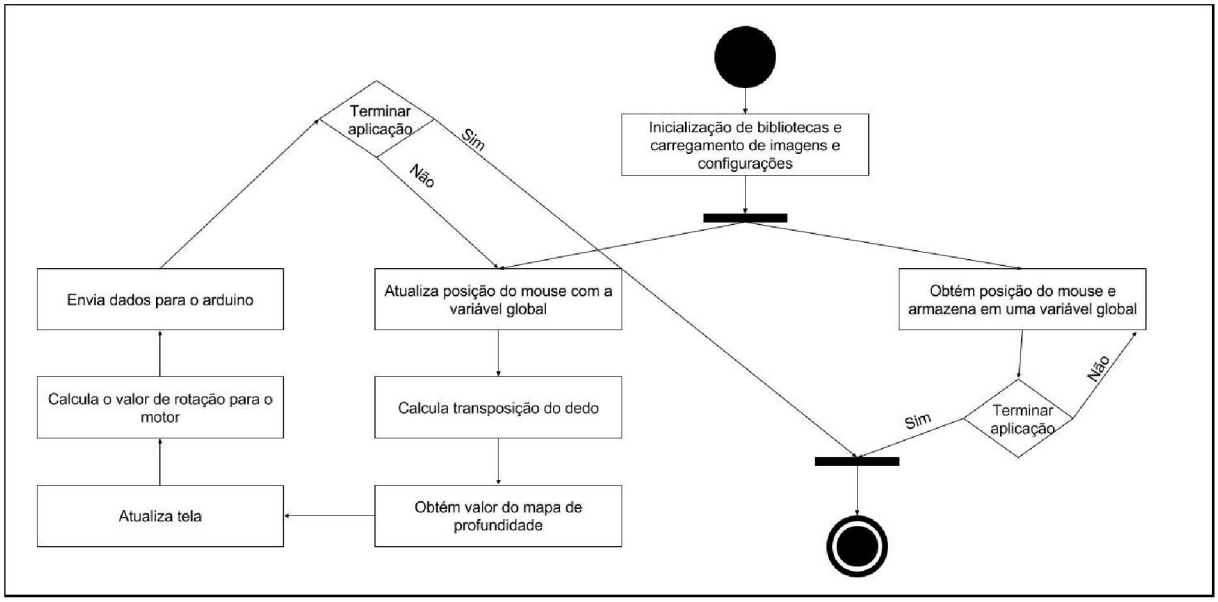


Figura 4.24: Fluxograma do sistema desenvolvido em Python.

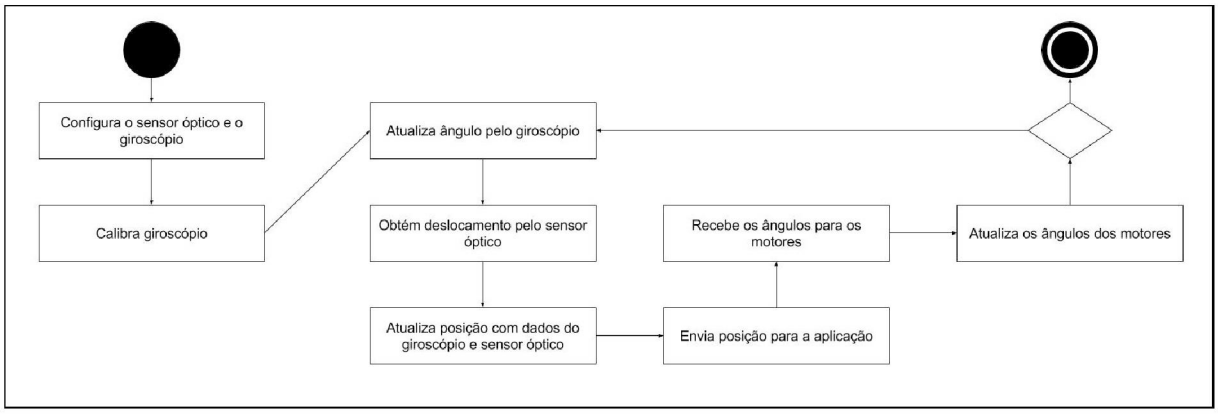


Figura 4.25: Fluxograma do sistema desenvolvido no Arduino.

Existe também uma interface de calibração do mouse (Figura 4.26) feita em Python e Qt. Os dados de configuração do mouse háptico são armazenados em um documento XML, citado anteriormente. Esses dados representam: *offsetX* e *offsetY* que são vetores dos dedos, *rotMin* e *rotMax* que indicam a variabilidade do ângulo de rotação para cada servo, *center* que mostra qual valor do ângulo será o centro (para o tom de cinza 128), de forma a ficar mais confortável ao usuário, e *scale* que modifica escala dos vetores dos dedos, distanciando-os ou aproximando-os. A interface de calibração permite alterar os valores de centro e escala conforme a preferência do usuário. Os controles de alteração são feitos por *sliders*. Conforme os *sliders* de centro são movimentados as hastes do mouse háptico também são movimentadas.

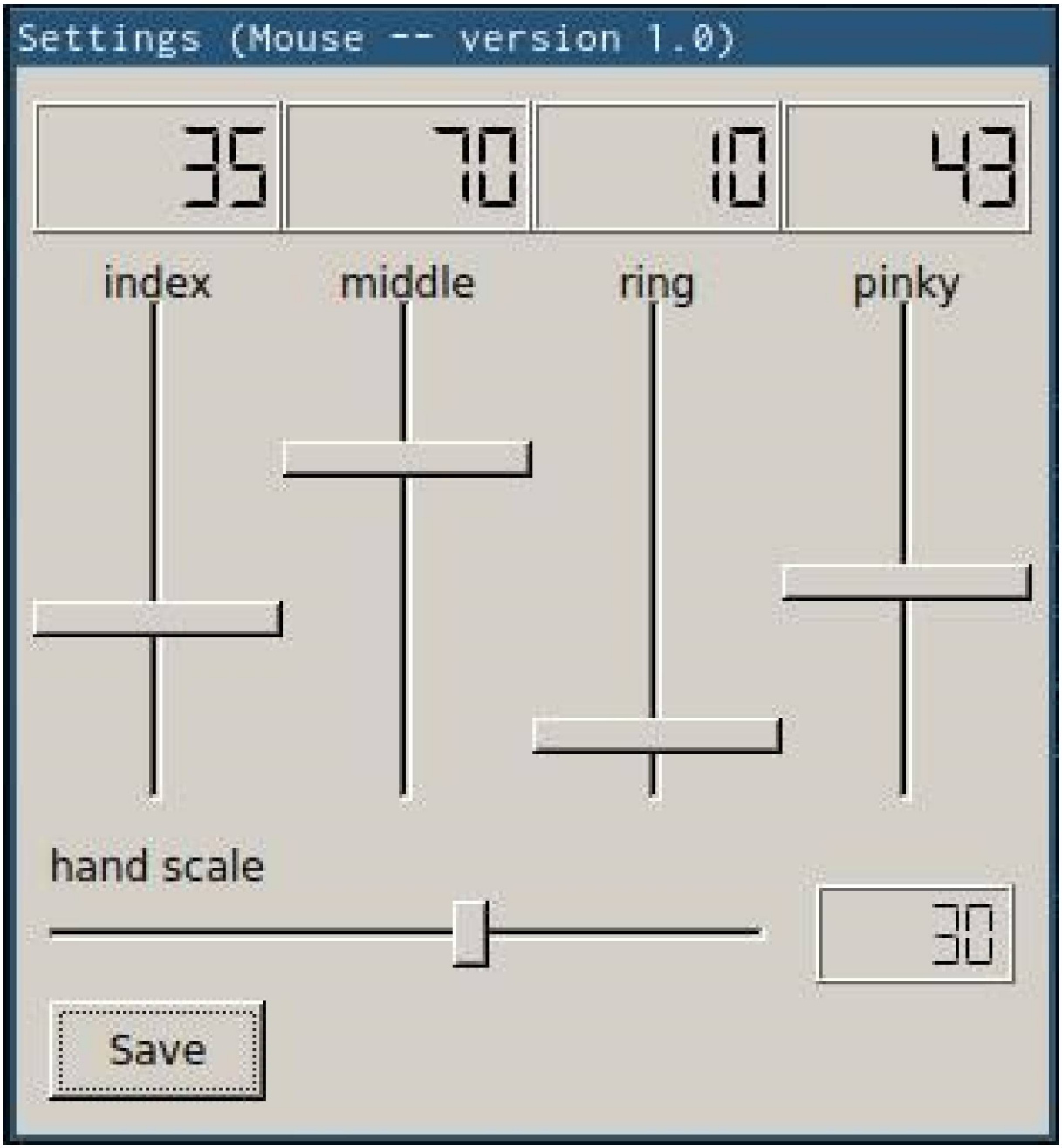


Figura 4.26: Interface da aplicação de calibração.

O ângulo de rotação do motor varia num ângulo de aproximadamente 35° (Figura 4.27), utilizando os parâmetros de configuração definidos na calibração.

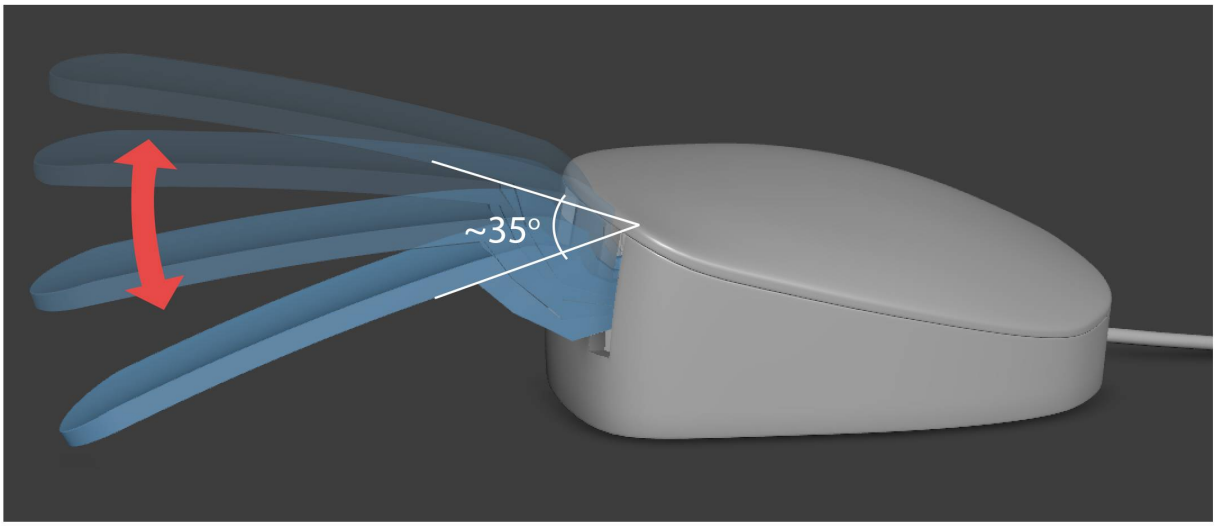


Figura 4.27: Estimação da angulação desenvolvida pelas hastes hápticas.

Para representar os movimentos das hastes, a Figura 4.28 mostra como o ângulo das hastes podem variar. Passando pelos pontos: máximo, médio, e mínimo; que são representados, respectivamente, por: preto, cinza, e branco.

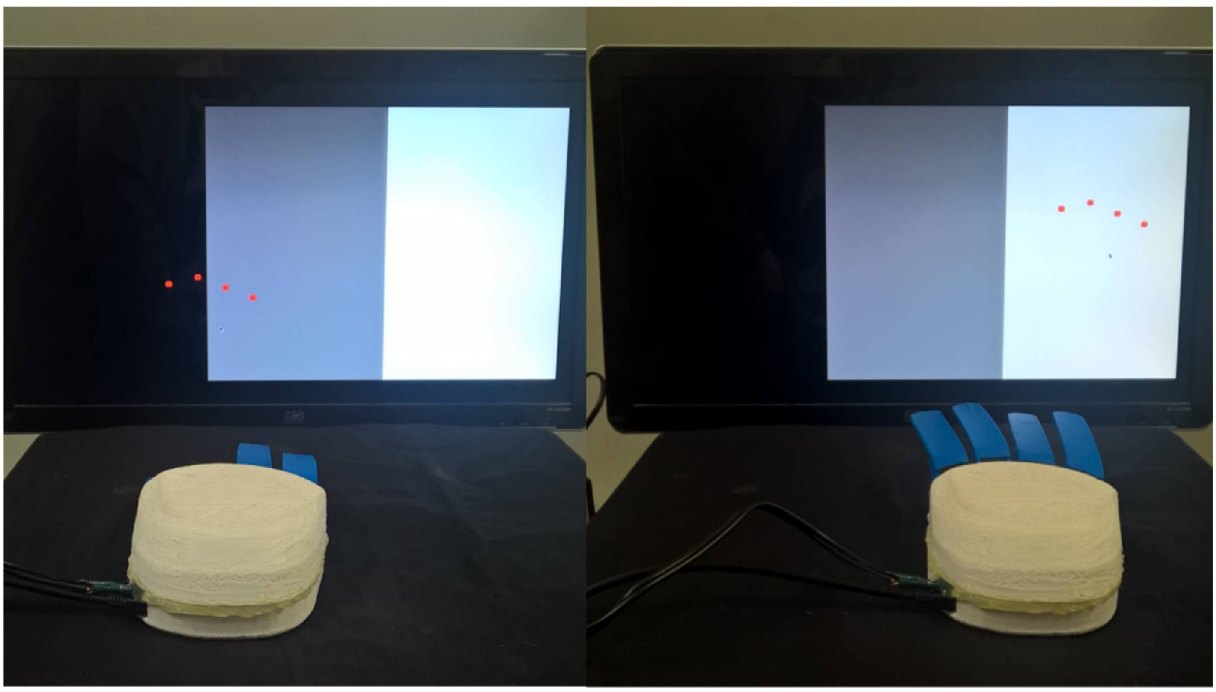


Figura 4.28: Exemplo hastes em movimento de acordo com a interface.

Para o *software* do Arduino foram utilizadas bibliotecas extras além das disponibilizadas nativamente. Uma das bibliotecas utilizadas é referente ao sensor óptico ADNS-5020. Outra biblioteca é a do giroscópio com o código do MPU-6050 (chip principal do módulo

GY-521) com acesso ao DMP (*Digital Motion Processor*, Processador Digital de Movimento) que realiza dos cálculos de fusão de dados do giroscópio com o acelerômetro, que além de ser mais rápido por ser implementada em *hardware* tem maior precisão em relação a testes realizados com dados puros utilizando um filtro de Kalman.

A movimentação da primeira versão do mouse háptico funciona como um mouse comum, movimentando-se para frente ou para trás, para a esquerda ou para a direita (eixos X e Y). Porém, observou-se durante testes (Seção 5.1) que a movimentação mais próxima ao que uma pessoa faz realmente ao sentir um objeto é rotacionar a mão. Para isso foram testadas duas abordagens para obter a rotação do mouse em torno do eixo Z.

Para encontrar o valor de rotação do mouse, primeiramente foram utilizados dois sensores ópticos (Figura 4.29), com base em técnicas de robótica. Dessa forma seriam utilizados ambos os sensores, criando um ponto virtual intermediário aos dois sensores, representando a posição X,Y do mouse.

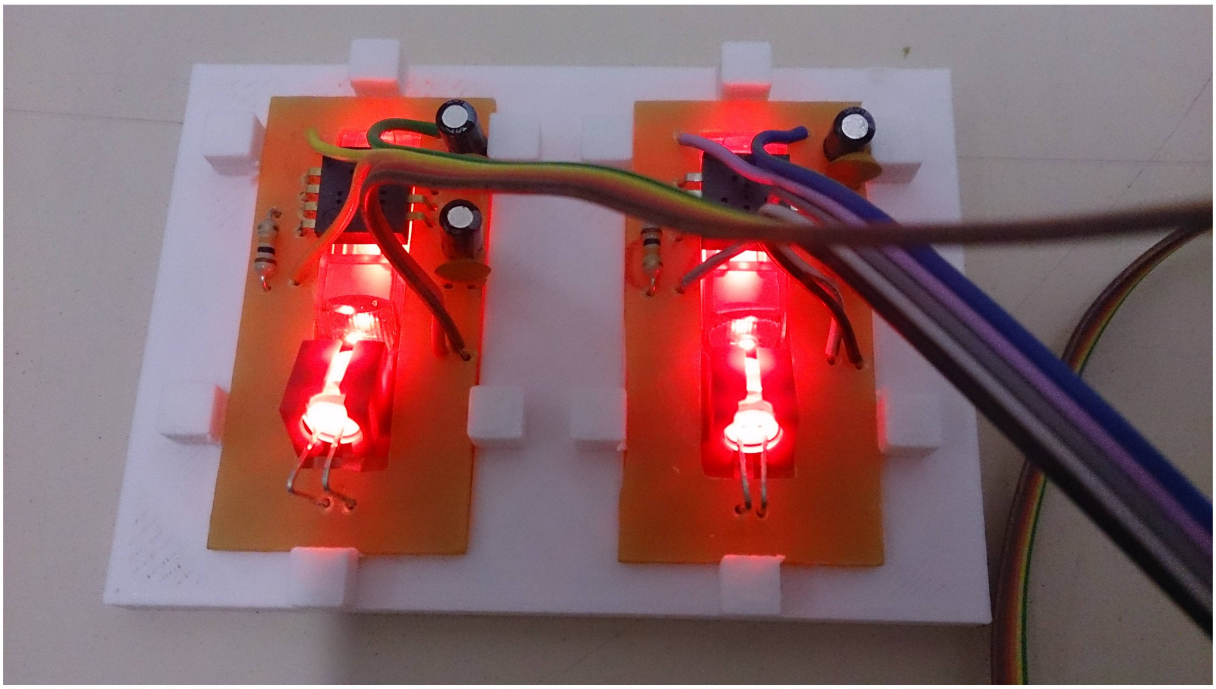


Figura 4.29: Protótipo de teste com dois sensores ópticos.

Outro viés seria usar um sensor responsável pelo movimento em X,Y enquanto o segundo seria consultado para obter dados de rotação conforme a diferença do movimento entre os dois. Porém, ao testar estes métodos, pôde ser notado que o eixo de rotação

natural da mão do usuário não tem um ponto X,Y fixo (como o criado entre os dois sensores para representar a posição X,Y do mouse), o que não pôde ser previsto pelo sistema. Portanto, qualquer movimento fora do eixo Z pré estabelecido pela posição X,Y dos sensores ópticos, seria um erro háptico imediato, e ao longo do tempo de utilização seriam acumulados erros sobre erros, o que fizeram com que esses métodos fossem abandonados.

Observado isso, foi necessário trabalhar com outra solução: a utilização de um giroscópio. A junção de um sensor óptico com um giroscópio apresentou-se bastante satisfatória para o uso no mouse, pois mesmo apresentando erro devido ao eixo de rotação deslocado, esse erro é baixo e não se acumula rapidamente. Isso foi possível devido ao uso da DMP, que é um processador do próprio giroscópio já que a utilização de um filtro de Kalman com os dados brutos demonstrou atrasos e erros acumulados mais rapidamente.

A obtenção da guinada em um giroscópio depende de dados de um acelerômetro. Visto que o funcionamento do giroscópio é baseado na gravidade, a rotação em torno do eixo Z não gera mudança de gravidade o suficiente para o sensor detectar. Depender de dados do acelerômetro pode levar a erros rapidamente, mas a implementação da DMP é suficiente para resolver esse problema.

4.5 Considerações Finais

Foram notadas algumas limitações no protótipo. Primeiramente, cada vez que a aplicação é iniciada é necessário calibrar o giroscópio e essa calibração demora em média um minuto para estabilizar as leituras do giroscópio. É recomendável que o mouse não seja executado por muito tempo a fim de evitar acúmulos de erro no posicionamento e para resfriamento dos componentes internos do mouse háptico. O dispositivo apresenta-se bem responsivo em suas tarefas-base, sendo elas: leitura de posição, rotação, e movimentação das hastes.

CAPÍTULO 5

EXPERIMENTOS E RESULTADOS

Com a finalidade de validar o desenvolvimento do dispositivo proposto, foram realizados dois experimentos com voluntários do grupo de pesquisa IMAGO do setor de ciências exatas da Universidade Federal do Paraná (UFPR), e um experimento com voluntários que fazem parte do público alvo do projeto, no Instituto Paranaense de Cegos.

Desse modo, o presente capítulo é dividido em quatro partes, onde as três primeiras são subdivididas em mais duas sessões, sendo que: na seção 5.1 o Experimento 1 é apresentado, sendo detalhado em 5.1.1 com as atividades realizadas, e em 5.1.2 com os resultados obtidos. Em seguida o Experimento 2 é relatado na Seção 5.2, sendo aprofundado em 5.2.1 com as atividades realizadas, e em 5.2.2, com resultados coletados após os testes. O último experimento, o Experimento III, é introduzido na seção 5.3, detalhado em 5.3.1 pelas atividades realizadas, e concluído em 5.3.2 com os resultados obtidos.

5.1 Experimento 1

Para o primeiro experimento de validação das técnicas e métodos utilizados no projeto, foi utilizada a primeira versão do protótipo do Mouse Háptico.

As características desse protótipo são:

- 3 graus de liberdade (X, Y, Z).
- O alinhamento dos pontos virtuais de contato entre os dedos e o objeto virtual foram baseados numa média de comprimento dos dedos masculinos e femininos.
- Quatro longas hastes que entram em contato com toda a parte interna dos dedos indicador, médio, anelar, e mínimo.
- Não possui um algoritmo de rotação no eixo Z

O objetivo desse experimento foi de coletar dados sobre a usabilidade do dispositivo proposto, possibilitando (por meio de análises desses dados) que fosse determinado se o aparelho tem ou não o potencial háptico para viabilizar usuários a reconhecerem objetos virtuais sem a utilização da visão.

Para execução desse experimento foram convidados dez participantes, os quais todos são videntes, e tem idade entre 21 e 28 anos. Todos são membros do grupo de pesquisa IMAGO.

Os objetos utilizados foram: Cubo, semiesfera, toroide, e cone; conforme a Figura 5.1 apresenta.

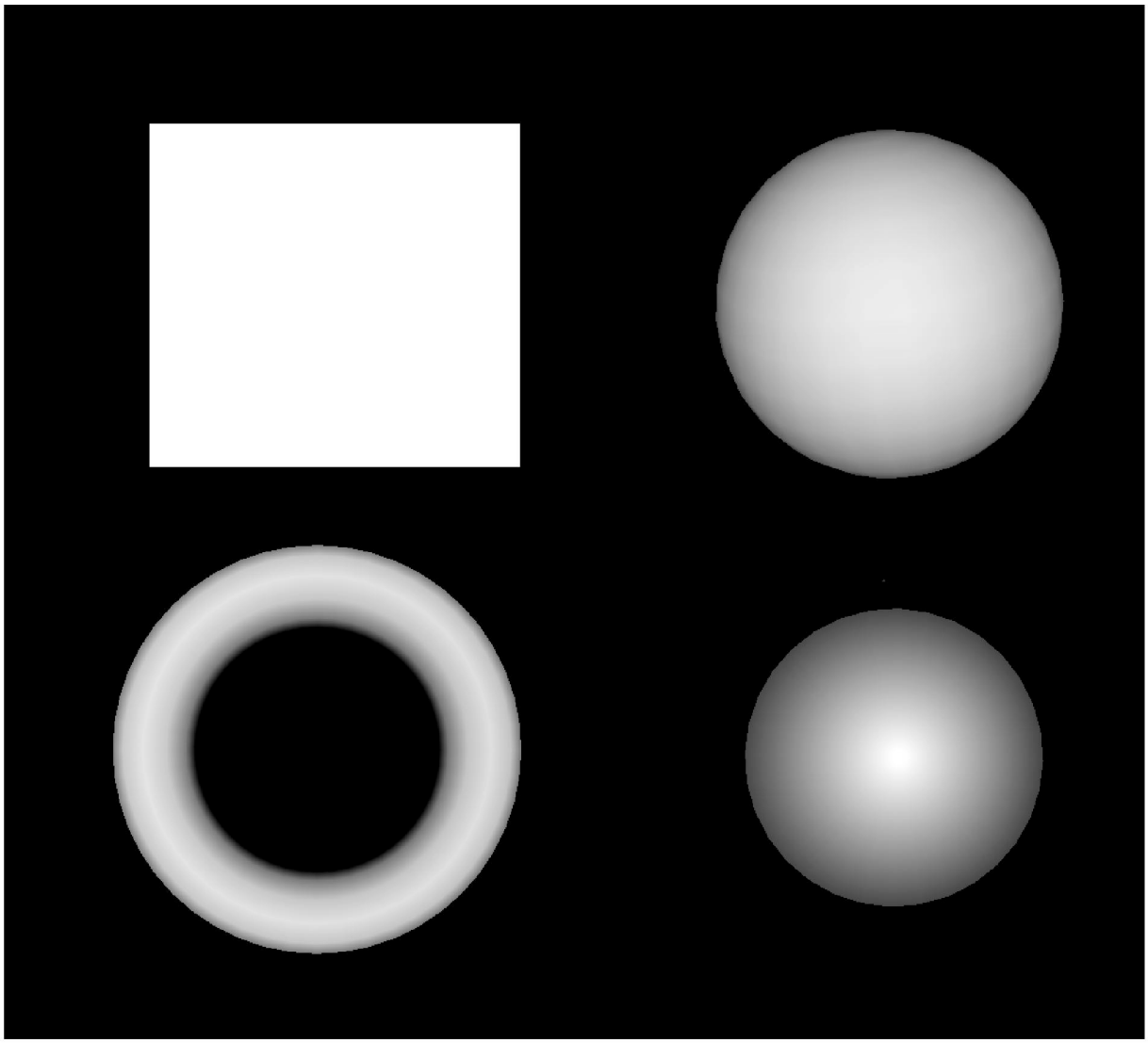


Figura 5.1: Imagens de profundidade dos objetos utilizados no Experimento 1: cubo, semiesfera, toroide, e cone, respectivamente.

Estes objetos foram fabricados (Figura 5.2) por uma impressora 3D para que os participantes pudessem, vendados, tocar nos objetos antes de utilizar a ferramenta para navegar pelo ambiente virtual.

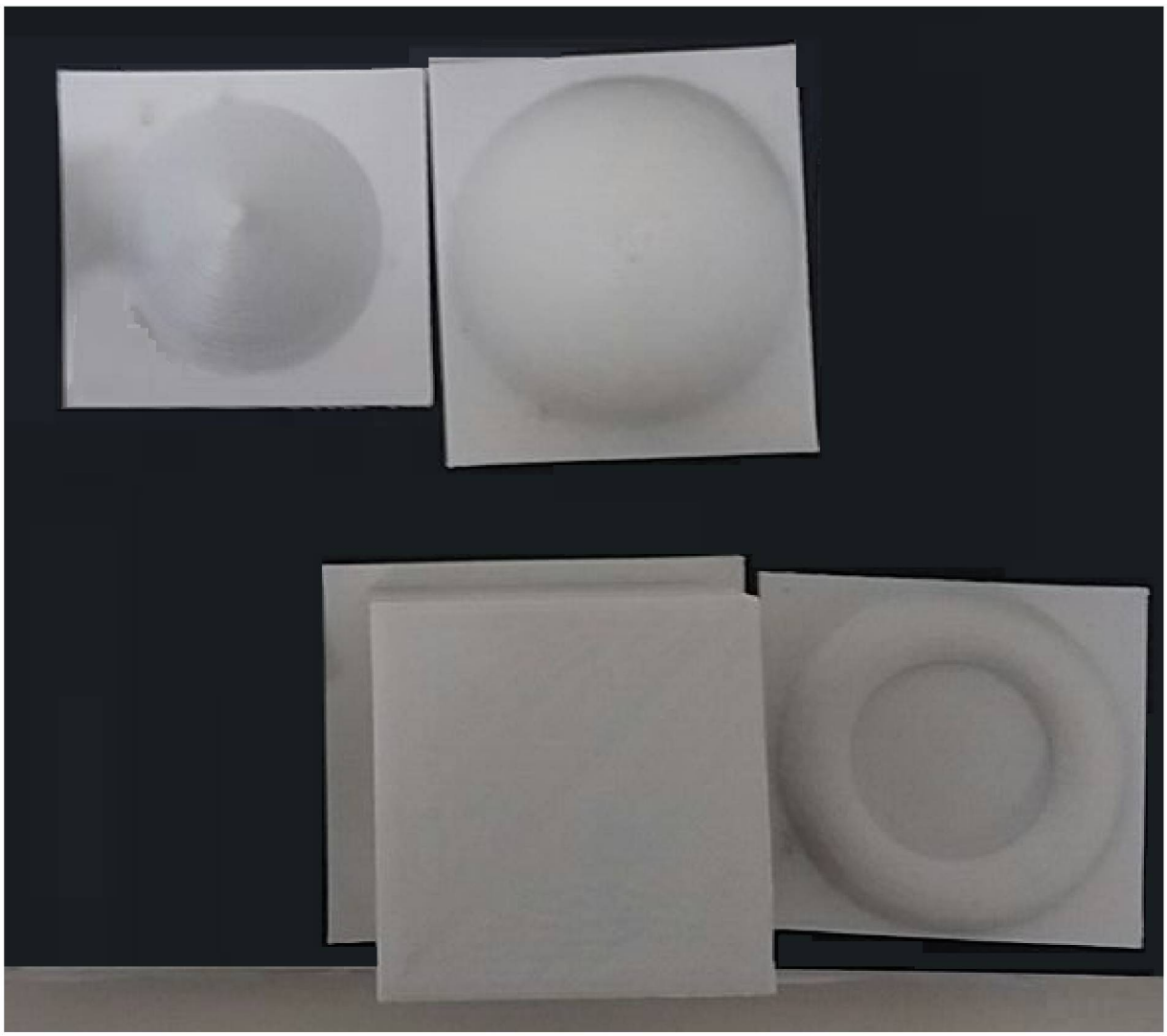


Figura 5.2: Objetos impressos em 3D para serem utilizados no Experimento 1: cone, semiesfera, cubo, e toroide, respectivamente.

5.1.1 Experimento 1 - Procedimento

Um participante por vez foi conduzido aos testes, onde cada um teve seus olhos vendados antes de ter qualquer contato com a ferramenta. Em seguida, os objetos impressos em 3D foram apresentados aos participantes, onde tiveram a oportunidade de conhecer os objetos que seriam apresentados posteriormente pelo sistema háptico.

Durante a apresentação do objeto físico, os participantes utilizaram os quatro dedos

da mão direita, que correspondem às hastes do Mouse Háptico (indicador, médio, anelar, e mínimo), para tocar e reconhecer a forma do objeto que foi apresentado fixado numa superfície a sua frente.

Em seguida, os participantes foram submetidos ao teste de reconhecimento virtual (Figura 5.3), onde os objetos previamente apresentados fisicamente foram exibidos pelo sistema numa ordem distinta da utilizada na apresentação anterior.

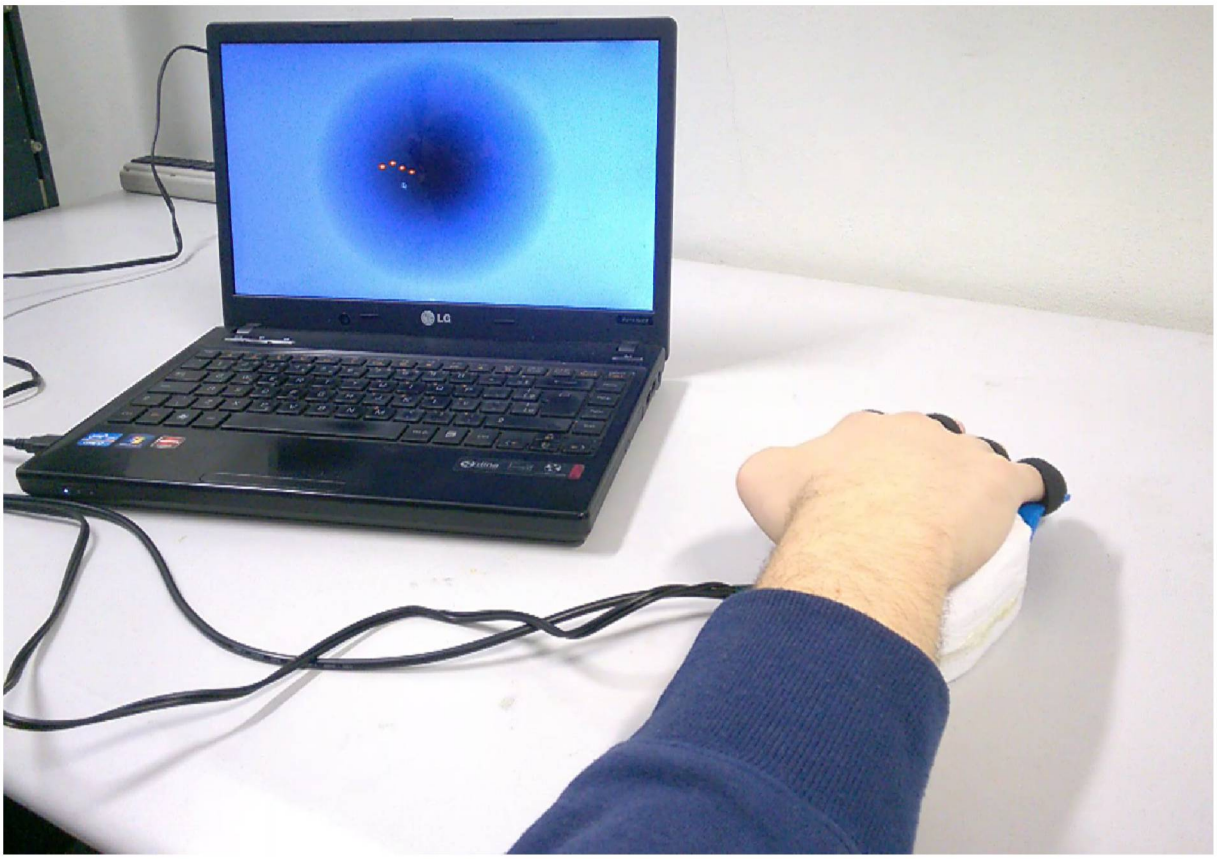


Figura 5.3: Participante realizando uma tarefa do Experimento 1

Ao final do experimento, cada participante relatou como foi sua experiencia com o dispositivo apontando aspectos positivos e negativos do sistema. Com base nisso, um aprimoramento futuro tornou-se possível.

5.1.2 Experimento 1 - Resultados

Foi conferida uma série de relatos dos participantes (listados a seguir) sobre a usabilidade do dispositivo, indicando possíveis soluções para a otimização da experiência do usuário.

- *Feedback* dos participantes:

  - Representação dos objetos virtuais: 8/10 dos participantes descreveram ser imprecisa a resposta háptica obtida durante o reconhecimento dos objetos, o que gerou muita divergência nas respostas dos participantes. O cone foi o objeto que teve mais complicações durante o experimento, pois segundo os participantes, não era possível notar a ponta aguda que o objeto detém, fazendo com que o cone fosse confundido com a semiesfera. Isso apresentou a necessidade de gerar mapas de profundidade com mais precisão.

    Em seguida a Figura 5.10 representa a situação descrita.

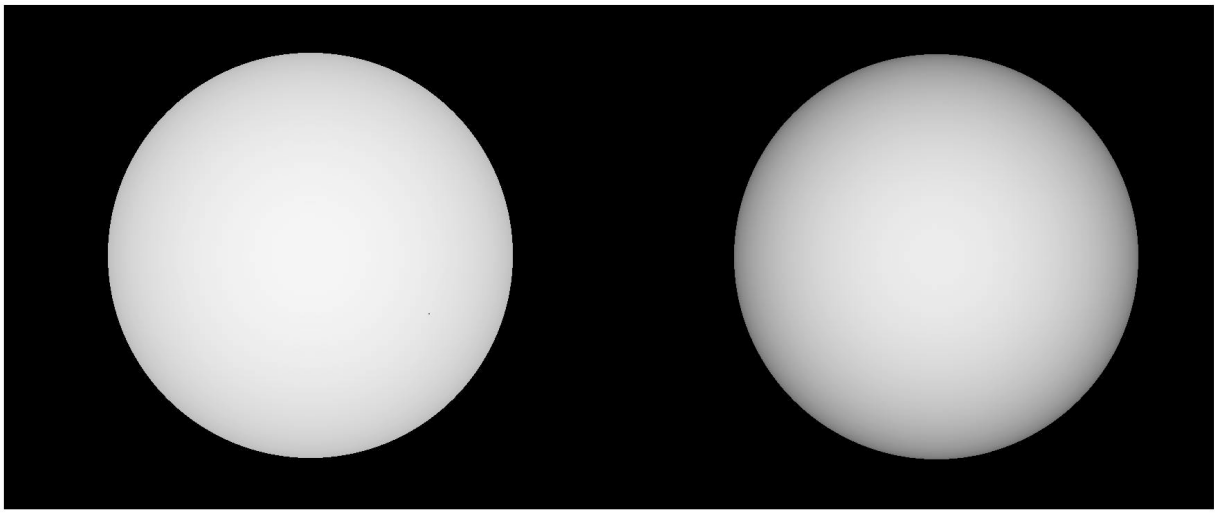


Figura 5.4: Comparação entre o mapa de profundidade da semiesfera e do cone, respectivamente.

  - Hastes hápticas: 10/10 dos participantes relataram a falta de intuitividade na utilização do dispositivo por parte das hastes hápticas. Por momentos os usuários apoiavam todo o dedo na superfície da haste, e por outros momentos apoiavam apenas as pontas dos dedos, interferindo diretamente na experiência háptica já que os participantes estiveram notavelmente mais atentos com a posição dos dedos do que com a resposta háptica.

    Ainda nesse quesito, os usuários que apoiaram toda a parte interna de seus dedos sobre as hastes, relataram que enquanto repousando a palma da mão sobre o mouse durante os movimentos das hastes, os dedos tendiam a se mover

demasiadamente para frente e para trás (sobre a haste) conforme elas desciam ou subiam, perdendo o ponto de contato entre os dedos e as hastes, juntamente com o ponto de referência mental criado entre objeto físico e virtual.

Isso implica que seria necessário o desenvolvimento de uma haste háptica capaz de prover um único ponto de referência em cada dedo, pois dessa forma o usuário pode referenciar os pontos físicos com os mesmos pontos virtuais. Além disso, os dedos precisaram de maior mobilidade durante os movimentos, o que não foi possível utilizando toda a parte interna dos dedos apoiadas nas hastes.

- Rotação em torno do eixo Z: Enquanto os participantes realizavam os testes, observou-se que 7/10 dos usuários instintivamente tentavam rotacionar o mouse no eixo Z para explorar o objeto de diferentes direções de movimento. Ao final do experimento, 4/10 dos participantes sugeriram que o resultado poderia ter sido melhor caso o dispositivo pudesse reconhecer movimentos de rotação pelo eixo Z.
- Desempenho dos servomotores: Foi observado durante o experimento que ao longo do tempo os motores começaram a apresentar instabilidades no movimento, criando curvas serrilhadas e atrasando o tempo de resposta ao movimento do participante. Os últimos 4/10 participantes experimentaram essas ocorrências.

É possível que algum desses itens citados tenham influenciado os demais e vice-versa, confundindo a percepção dos participantes, o que pode explicar o número de dificuldades encontradas na usabilidade do dispositivo.

A Figura 5.5 exibe a matriz de confusão dos resultados obtidos no reconhecimento dos objetos. Nela, os resultados se confrontam entre si com o intuito de obter os dados sobre quais elementos foram confundidos por outro, e com qual frequência isso ocorreu.

O experimento apresentou a média de acerto (dos participantes) de 42,5%, enquanto individualmente (por objeto), a semiesfera teve a taxa de 30% de acerto, o cubo teve 60%, o cone teve 10%, e o toroide teve 70% de acerto.

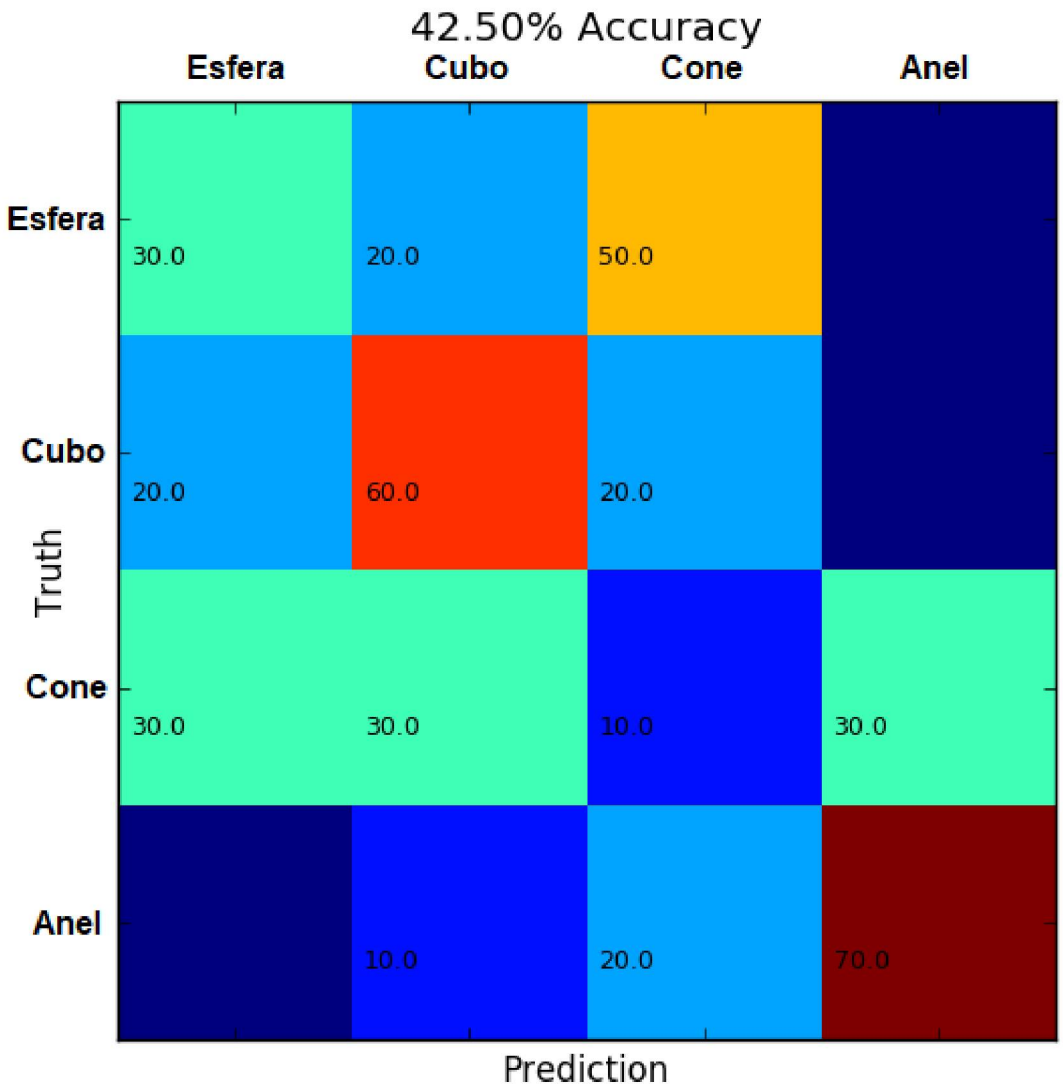


Figura 5.5: Matriz de confusão.

Com o experimento realizado, foi notado que o dispositivo ainda precisava de aprimoramentos para prover uma sensação háptica precisa. Entretanto, a taxa de acerto de 42,5% deu margem a entender que o projeto teria potencial de sucesso após otimizações.

5.2 Experimento 2

O segundo experimento foi realizado com a utilização do Protótipo II do Mouse Háptico. As características deste protótipo são:

- 4 graus de liberdade (X, Y, Z, rotação em torno do eixo Z).

- Alinhamento horizontal das posições dos dedos em relação dos dedos com os pontos virtuais, aprimorando a referência espacial dos pontos de contato entre os dedos e o objeto virtual, e aproximando a experiência háptica de pessoas com diversos tamanhos de dedos.

- Hastes hápticas curtas para os dedos (Figura 5.6). No local onde as pontas dos dedos devem ficar há uma cavidade de uma semiesfera como suporte ao dedo, e ao fundo dessa cavidade existe um pequeno relevo também no formato de uma semiesfera, afim de representar os quatro pontos de contato que são utilizados pelo sistema. Essas alterações garantem uma resposta háptica mais precisa e real, possibilitando que o usuário associe mentalmente esses pontos de contato como sendo o ponto de intercessão entre o ambiente real e o ambiente virtual.

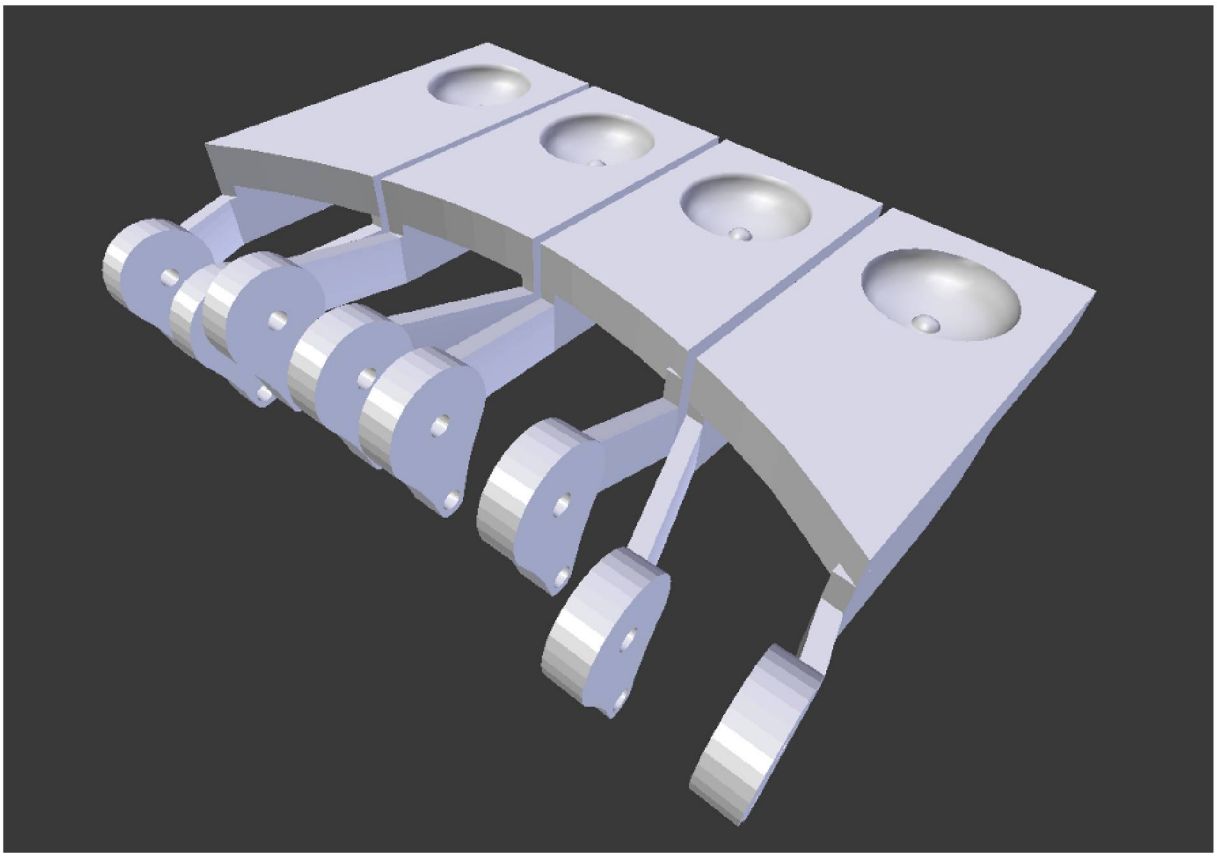


Figura 5.6: Modelagem 3D das hastes hápticas.

- Algoritmo de rotação em torno do eixo Z adicionado (Figura 5.7), possibilitando o

usuário rotacionar o mouse e obter uma nova percepção do objeto virtual que está sendo apresentado, verificando um grau de liberdade a mais ao dispositivo.

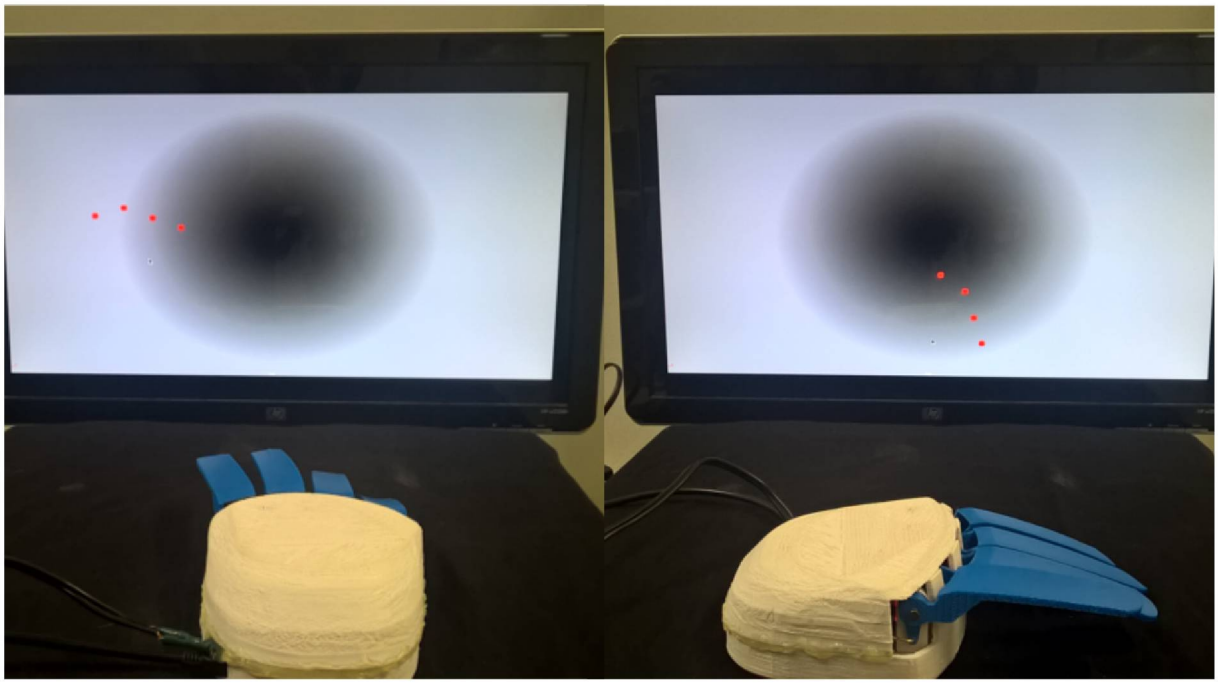


Figura 5.7: Exemplo da função de rotação do Mouse Háptico.

Com base nos dados coletados sobre a usabilidade do dispositivo no experimento anterior, o Protótipo II trouxe correções de representação dos objetos 3D, novas hastes hápticas, servomotores mais potentes, e o sistema de rotação em torno do eixo Z.

O objetivo desse experimento foi a coleta de dados da experiência do usuário sobre a usabilidade da segunda versão do dispositivo, podendo assim, comparar com os dados obtidos no primeiro experimento e analisar se as melhorias implementadas obtiveram êxito no desempenho dos usuários.

Houve dez participantes, sendo que cinco já haviam participado do experimento anterior, o que gera dois grupos com a mesma quantidade de participantes, possibilitando a comparação entre um grupo que tem mais domínio sobre a ferramenta em relação ao outro. Novamente os participantes foram pesquisadores do grupo IMAGO, onde todos são videntes e a idade dos participantes variam entre 21 e 28 anos.

Novos objetos foram adicionados para compor o experimento, dividindo-o em duas fases: a fase 1 é composta pelos mesmos 4 objetos do primeiro experimento, sendo o cubo,

a semiesfera, o toroide, e o cone; na fase 2 foram acrescentados objetos que representam linhas de gráficos, sendo uma reta, uma curva logarítmica, uma curva senoide, e uma curva exponencial (Figura 5.8).

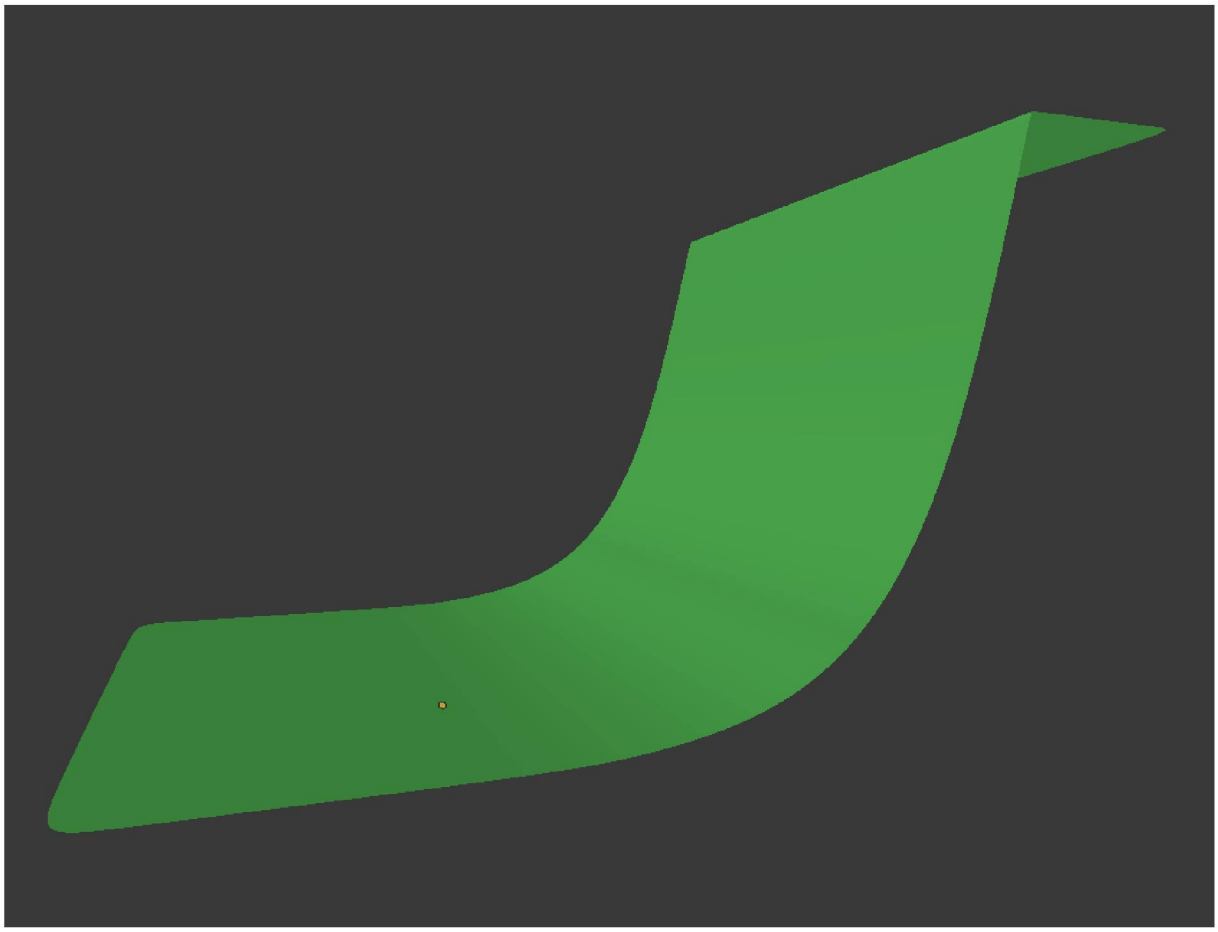


Figura 5.8: Modelagem do objeto 3D que representa uma curva exponencial.

A Figura 5.9 apresenta todos os objetos usados no segundo experimento. Ao acrescentar essas novas formas, o intuito é de verificar a possibilidade da aplicação do dispositivo em sala de aula para auxiliar as crianças com deficiência visual a terem melhor compreensão de matérias que utilizam gráficos, como a matemática.

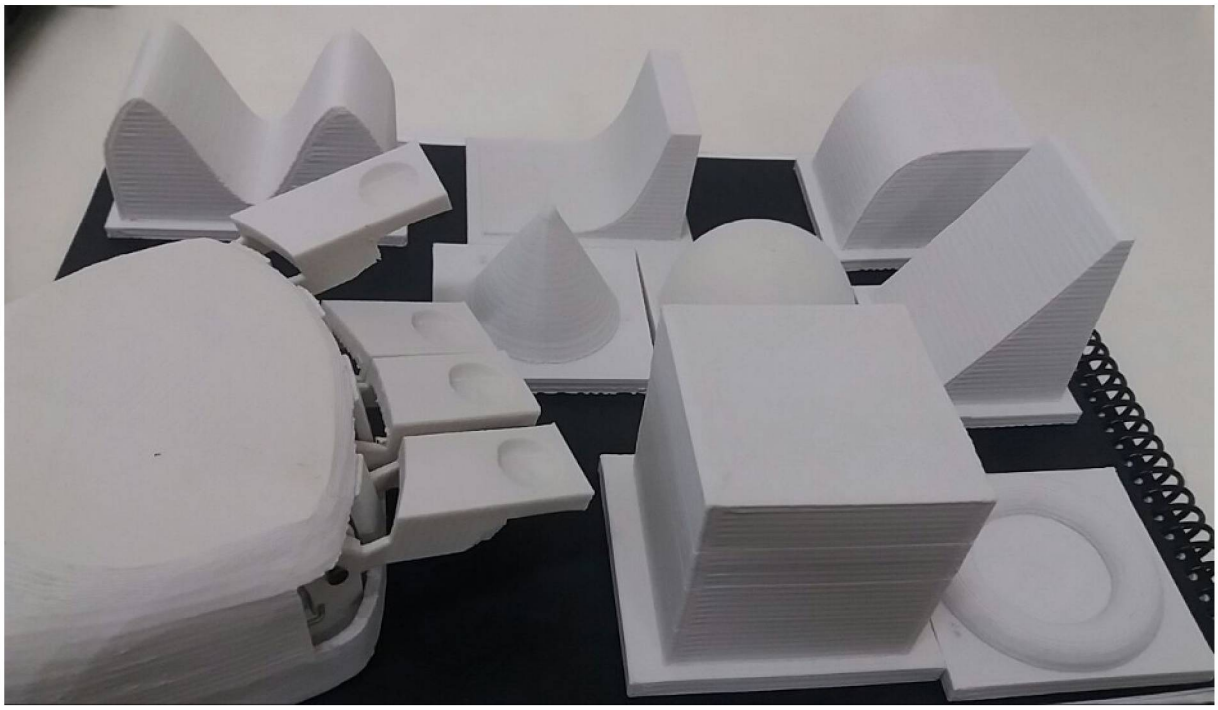


Figura 5.9: Objetos utilizados no Experimento 2.

Com base no *feedback* dos usuários sobre o experimento anterior, as representações dos objetos foram revisadas e neste segundo experimento o sistema foi capaz de representa-los com maior precisão, diferenciando mais o cone com a semiesfera (Figura 5.10).

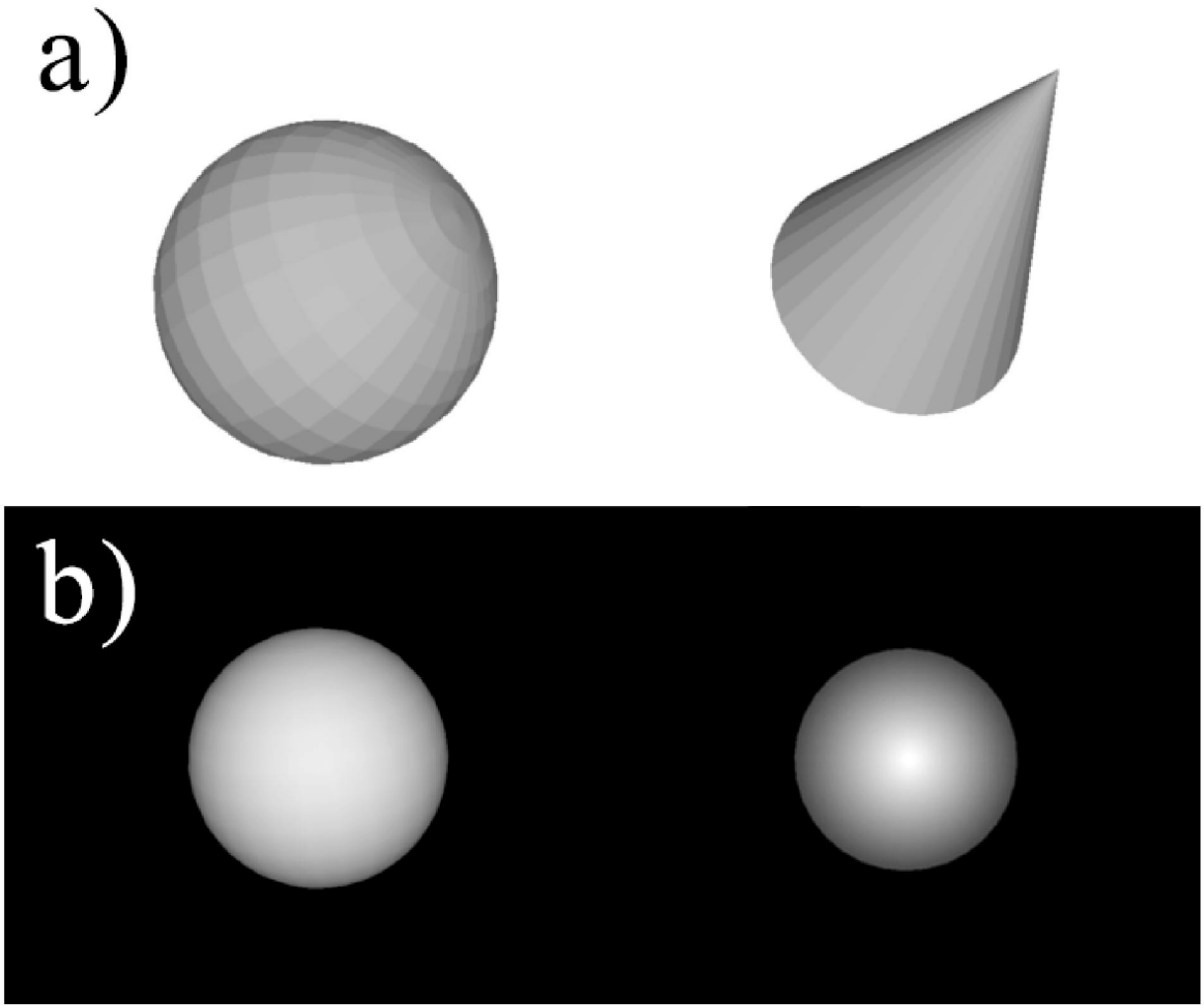


Figura 5.10: a) Modelos 3D da esfera e do cone, respectivamente. b) Mapas de profundidade de ambos.

5.2.1 Experimento 2 - Procedimento

Assim como no primeiro experimento, aqui os 8 objetos foram fabricados por uma impressora 3D e apresentados aos participantes que tiveram seus olhos previamente vendados.

Com os olhos cobertos, os participantes utilizaram apenas as pontas dos quatro dedos que foram representados no sistema (indicador, médio, anelar, e mínimo) para tocar e reconhecer o objeto apresentado, fixado numa superfície, o que conferiu uma percepção equivalente a qual o usuário teria ao utilizar o mouse. Por conta do sistema de rotação, os participantes estiveram livres para realizar movimentos de rotação no eixo Z para o reconhecimento dos objetos.

O processo descrito acima foi replicado para realizar o reconhecimento dos 8 objetos impressos em 3D, para que pudessem ser submetidos ao reconhecimento virtual por meio do dispositivo proposto.

Ao final do experimento, cada participante reportou sua experiência sobre a versão atual do dispositivo.

5.2.2 Experimento 2 - Resultados

Após os testes, os usuários opinaram sobre a usabilidade do sistema, verificando resultados positivos em relação as mudanças realizadas entre o Protótipo I e o Protótipo II, além de sugestões de otimização.

- *Feedback* dos participantes:
  - 2/10 dos usuários apresentaram desconforto no dedo mínimo durante o experimento. Por conta do alinhamento horizontal dos dedos, o dedo mínimo precisa alcançar uma distância mais longa de sua origem e relação aos outros dedos.
  - 4/5 dos participantes que não fizeram parte do primeiro experimento relataram que sentiram a necessidade de conhecer melhor a ferramenta antes de tentar reconhecer os objetos. Isso sugere a possibilidade de existir uma relação entre treinamento e desempenho.
  - 4/5 dos usuários que participaram do experimento anterior afirmaram que as modificações feitas (entre o Protótipo I e o Protótipo II) surtiram efeito, provendo uma representação fidedigna aos objetos propostos.

A Figura 5.11 apresenta uma matriz de confusão sobre os resultados gerais da Fase 1 (Curvas) do experimento.

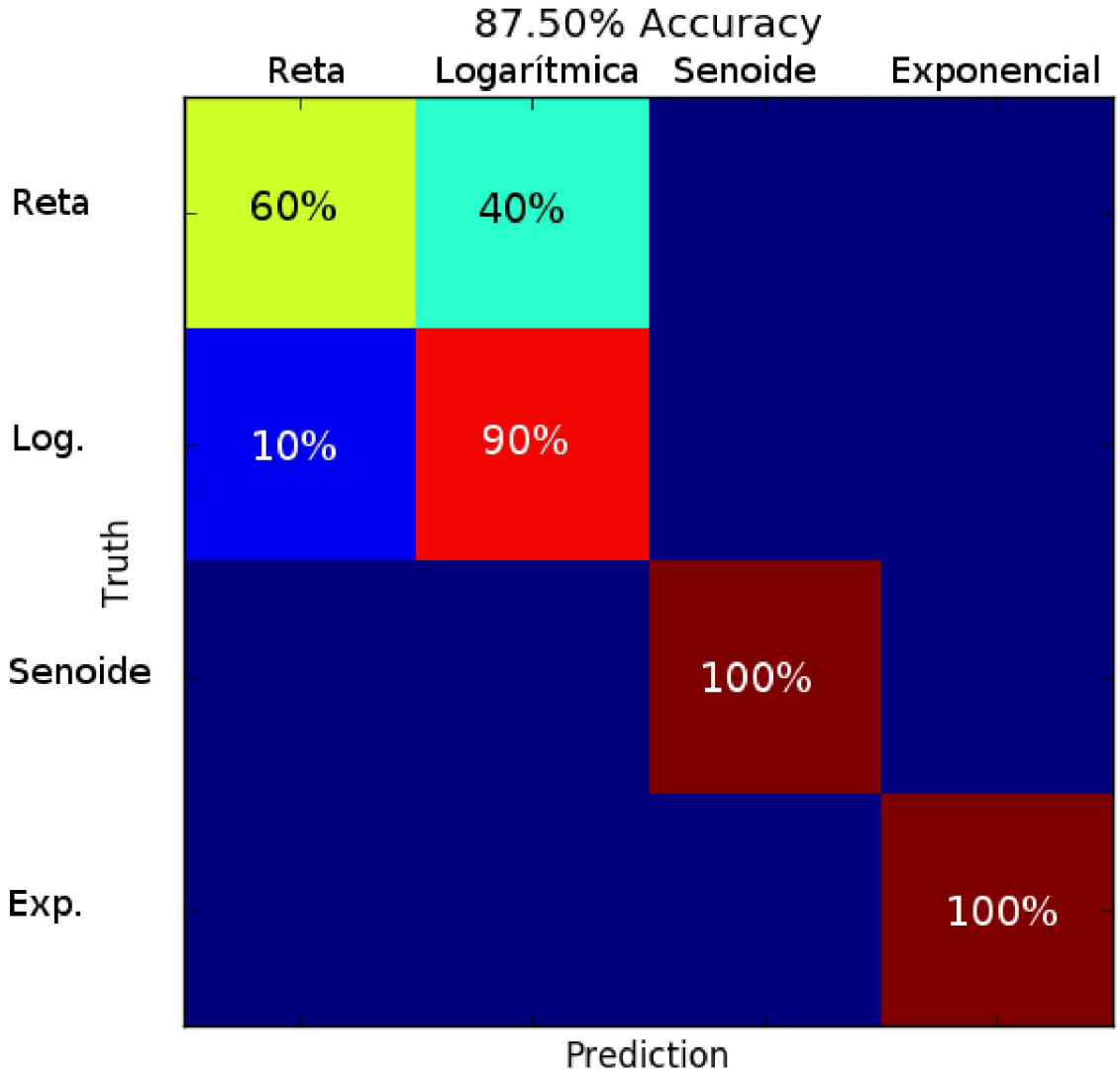


Figura 5.11: Matriz de confusão (Fase 1 - Curvas).

A matriz de confusão apresentada na Figura 5.12 exibe os resultados gerais da Fase 2 (Curvas) do experimento.

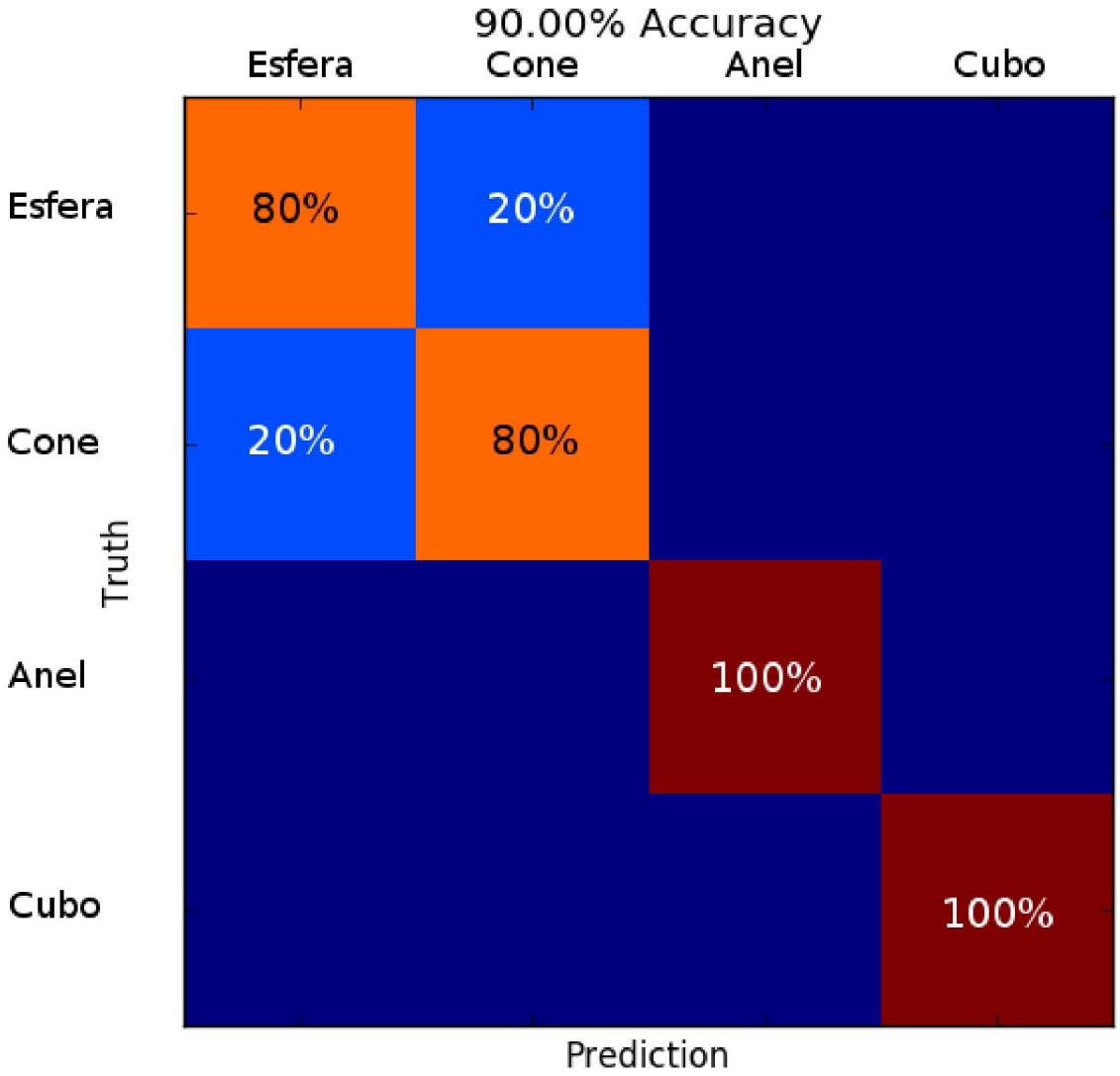


Figura 5.12: Matriz de confusão (Fase 2 - Formas).

O resultado geral de todo o experimento é exibido pela matriz de confusão na Figura 5.13 abaixo.

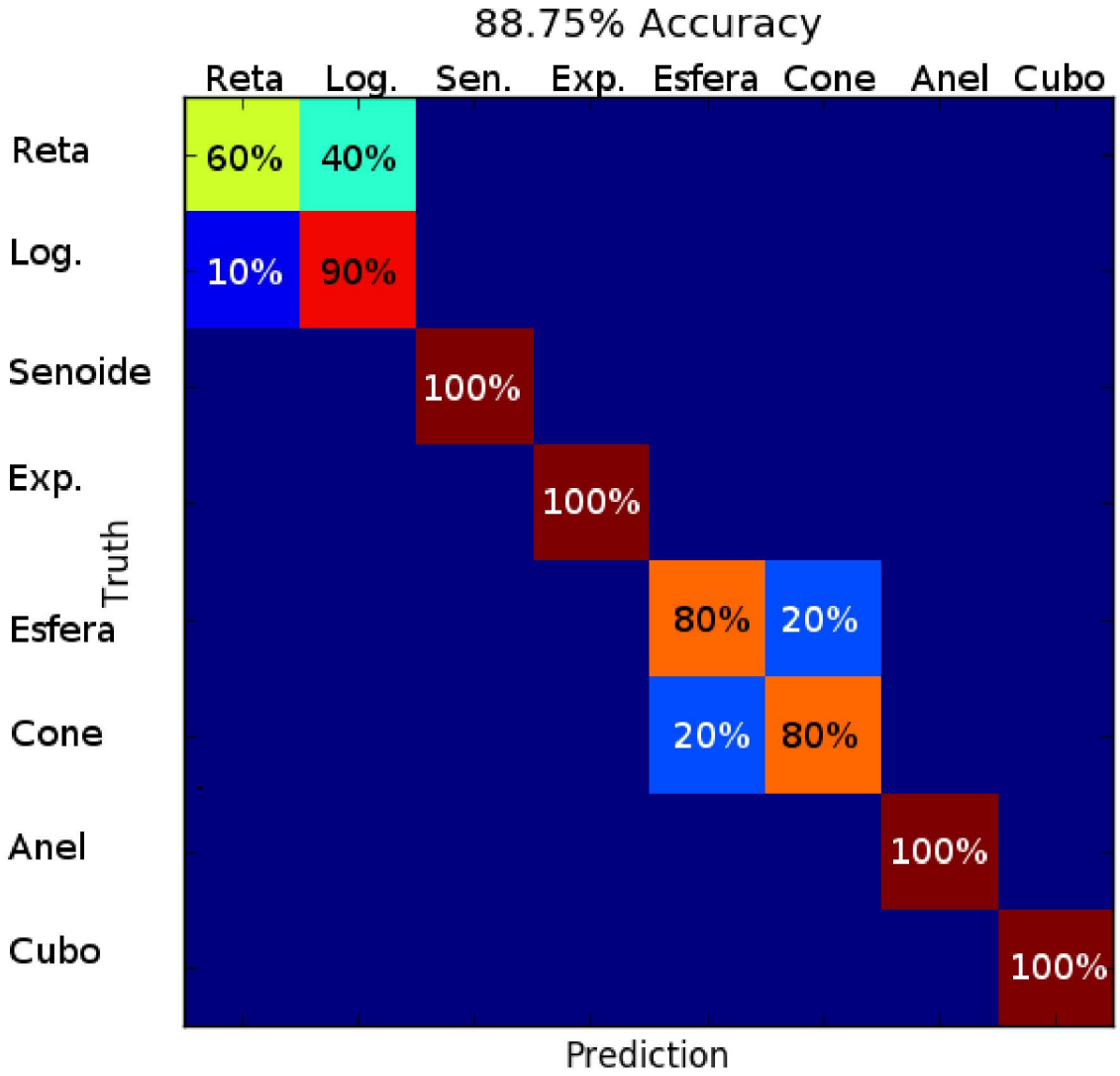


Figura 5.13: Matriz de confusão (Total).

A tabela 5.1 a seguir, apresenta a comparação de resultados entre os dois grupos de participantes que foram criados para filtrar as respostas das pessoas que realizaram tanto o primeiro experimento quanto o segundo (Grupo 1), em relação as pessoas que participaram apenas do segundo experimento (Grupo 2).

Tabela 5.1: Comparação entre os participantes que realizaram os dois experimentos, com os que participaram apenas do segundo.

	Grupo 1						Grupo 2				
	P. 1	**P. 2**	**P. 3**	**P. 4**	**P.5**		**P. 6**	**P. 7**	**P. 8**	**P. 9**	**P. 10**
Reta	.	.	.	Logarítmica	.		Logarítmica	Logarítmica	.	Logarítmica	.
Logarítmica	.	.	.	.	.		.	.	.	Reta	.
Senoide	.	.	.	.	.		.	.	.	.	.
Exponencial	.	.	.	.	.		.	.	.	.	.
Esfera	.	.	.	Cone	.		.	.	.	.	Cone
Cone	.	.	.	.	.		Esfera	.	Esfera	.	.
Toroide	.	.	.	.	.		.	.	.	.	.
Cubo	.	.	.	.	.		.	.	.	.	.
Acertos	8/8	8/8	8/8	6/8	8/8		6/8	7/8	7/8	6/8	7/8
Acurácia Total	**95%**						**85,50%**				

Foi observado que os participantes do Grupo 1 tiveram melhores resultados que o Grupo 2, possivelmente por terem mais domínio do dispositivo, sendo assim, é esperado que quanto mais tempo o usuário final dedicar ao dispositivo, melhor será sua usabilidade. Mesmo com o rendimento inferior por parte do Grupo 2, a média geral de acurácia de todos os participantes 88,75%.

Das 5 pessoas que já haviam tido uma primeira experiência, apenas uma não teve a precisão de 100% de acerto, errando em duas oportunidades: semiesfera confundida com cone, e reta confundida com logarítmica.

Das 5 pessoas que não tiveram uma primeira experiência, nenhuma alcançou 100% de precisão, confundindo: 3x reta com logarítmica, 1x logarítmica com reta; 1x esfera com cone, 2x cone com esfera. A partir desses dados, pode-se concluir que existe uma relação entre experiência prévia na utilização do dispositivo, com o desempenho sobre o reconhecimento.

Também é notável que os casos erros aconteceram de maneira repetitiva, onde semiesfera é confundida com cone, e reta com logarítmica, ou seja, isso nos leva a levantar hipóteses de que tais objetos ainda não estejam sendo representados da maneira ideal.

Entre a Fase 1 (objetos) e Fase 2 (curvas), houve respectivamente, 5 e 4 erros (90% e 87,50%), ou seja, ambas as categorias de objetos apresentam uma experiência similar ao usuário.

5.3 Experimento 3

No terceiro experimento foi utilizado o Protótipo III do Mouse Háptico, e os participantes foram alunos e professores com deficiência visual do Instituto Paranaense de Cegos. Após consultar profissionais do IPC, foi definido por orientação dos mesmos, que uma versão mais simplificada do dispositivo fosse utilizada para aplicar o experimento com o público alvo. As características desse protótipo são:

- 2 graus de liberdade (Y,Z).
- Utilização de apenas uma haste háptica, buscando uma experiência mais objetiva e

simples.

- Não possui sistema de rotação em torno do eixo Z, de modo que o usuário siga uma sequência lógica no sentido horizontal para reconhecer os objetos apresentados.

O objetivo desse experimento foi apurar se o dispositivo proposto teria a capacidade de possibilitar o público alvo a reconhecer formas virtuais. Isso foi realizado por meio de uma entrevista (questionário em anexo) sobre o participante e sobre sua experiência com o Mouse Háptico, e a partir da análise de dados coletados sobre o desempenho dos participantes na tentativa do reconhecimento das formas virtuais, utilizando respostas e vídeos dos usuários.

Houve oito participantes, os quais seis são alunos e dois são professores do IPC (Instituto Paranaense de Cegos). Todos os participantes têm baixo grau de assiduidade visual. A Figura 5.14 exibe quatro participantes utilizando o dispositivo.

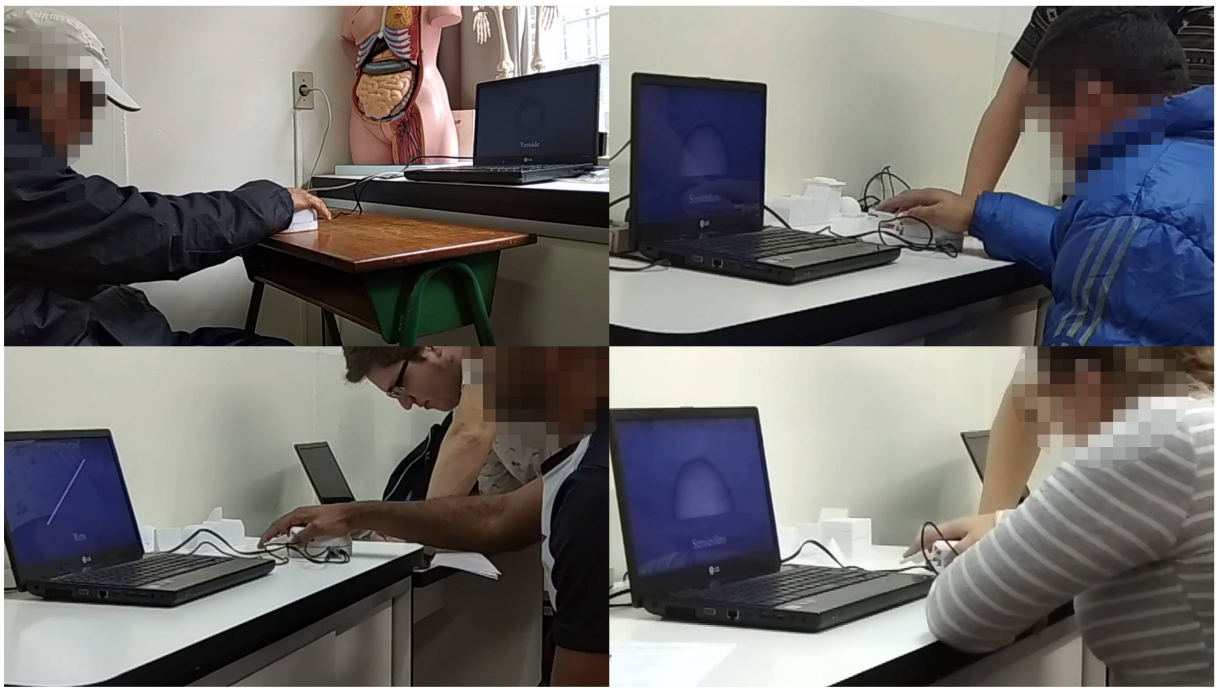


Figura 5.14: Participantes durante o reconhecimento dos objetos.

Os objetos virtuais utilizados neste experimento foram os mesmos do Experimento 2: semiesfera, cubo, cone, toroide, reta, logarítmica, exponencial, e senoide.

5.3.1 Experimento 3 - Procedimento

O funcionamento do dispositivo e as atividades que seriam realizadas foram apresentadas verbalmente a cada participante por vez.

Em seguida a primeira entrevista é realizada, onde foram obtidos dados pessoais do participante como: sexo, idade, assiduidade da visão, a idade em que a pessoa passou a ter as dificuldades na visão; e dados sobre contato com tecnologias como: contato semanal com computadores, posse de *smartphones*, e acesso a tecnologias assistivas.

Após a primeira entrevista, os objetos impressos em 3D foram apresentados aos participantes, onde foram orientados a utilizar apenas a ponta do dedo indicador direito para tocar nos objetos, passando pelo centro de cada objeto da esquerda para a direita.

Feito isso, o usuário inicia a utilização do dispositivo para navegar pelo ambiente virtual e sentir a simulação do toque nos objetos previamente apresentados, onde a cada objeto apresentado o usuário era orientado a opinar qual objeto ele estava experimentando. Os participantes que permitiram, foram filmados durante o experimento.

Durante todo o experimento os participantes tiveram o tempo livre para executar as ações, de modo que pudessem se habituar com a ferramenta. No experimento anterior, participantes relataram que isso poderia afetar o desempenho.

Ao final do experimento cada participante respondeu a uma segunda entrevista, onde foram coletadas as informações da usabilidade do dispositivo proposto, como: as dificuldades encontradas durante o experimento, opinião sobre a representação do objeto virtual em relação ao objeto físico, sugestões de melhoria do sistema, e se o indivíduo usaria o dispositivo no seu cotidiano caso houvesse acesso.

5.3.2 Experimento 3 - Resultados

A Tabela 5.2 apresenta as respostas de cada participante na primeira entrevista, onde: BV significa Baixa Visão; e G significa Glaucoma.

Tabela 5.2: Dados coletados pela entrevista realizada antes do experimento.

Pré-Experimento	**P. 01**	**P. 02**	**P. 03**	**P. 04**	**P. 05**	**P. 06**	**P. 07**	**P. 08**
Sexo	H	H	H	H	M	M	M	H
Idade	80	18	32	32	34	48	19	38
Assiduidade visual	6%	0.3%	BV/G	15%	BV	20/400	0%	7%
Desde qual idade	30	Nasc.	Nasc.	11	8	Infância	7	9
Contato com PC (Semanal)	0x	2x	2x	7x	7x	2x	2x	2x
Possui *smartphone*	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Acesso a TA	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

Nota-se que a assiduidade visual entre os participantes é muito diversificada, bem como a idade atual, e a idade com qual foram acometidos com a deficiência visual. Desse modo, a característica utilizada para definir os grupos de comparação foi o sexo, tendo quatro participantes do sexo feminino e quatro do sexo masculino.

Comparando as matrizes de confusão a seguir, a acurácia dos dois grupos foi de 75%. Porém, um dos participantes do grupo masculino era um senhor de oitenta anos de idade que acabou se cansando durante o experimento, sabendo responder apenas metade dos exercícios.

As maneiras com que os grupos alcançaram o resultado de 75% foram diferentes. Foi observado que o grupo masculino foi mais constante, mantendo a acurácia dos objetos em 75% em 6/8 casos, sendo 100% em 1/8, e 50% em 1/8.

Enquanto isso, o grupo feminino apresentou resultados mais distribuídos, tendo a acurácia de 100% em 3/8 dos casos, 50% em 3/8, e 75% em 2/8.

No total, o objeto melhor representado segundo os dados coletados do experimento, foi o cone, com 100% de acurácia; seguido do anel e da senoide, com 87,5%; reta e logarítmica, com 75%; cubo e esfera, com 62,5%; e pela exponencial, com 50% de acurácia.

A Figura 5.15 exibe os resultados obtidos sobre a acurácia dos participantes do sexo masculino durante o reconhecimento dos objetos.

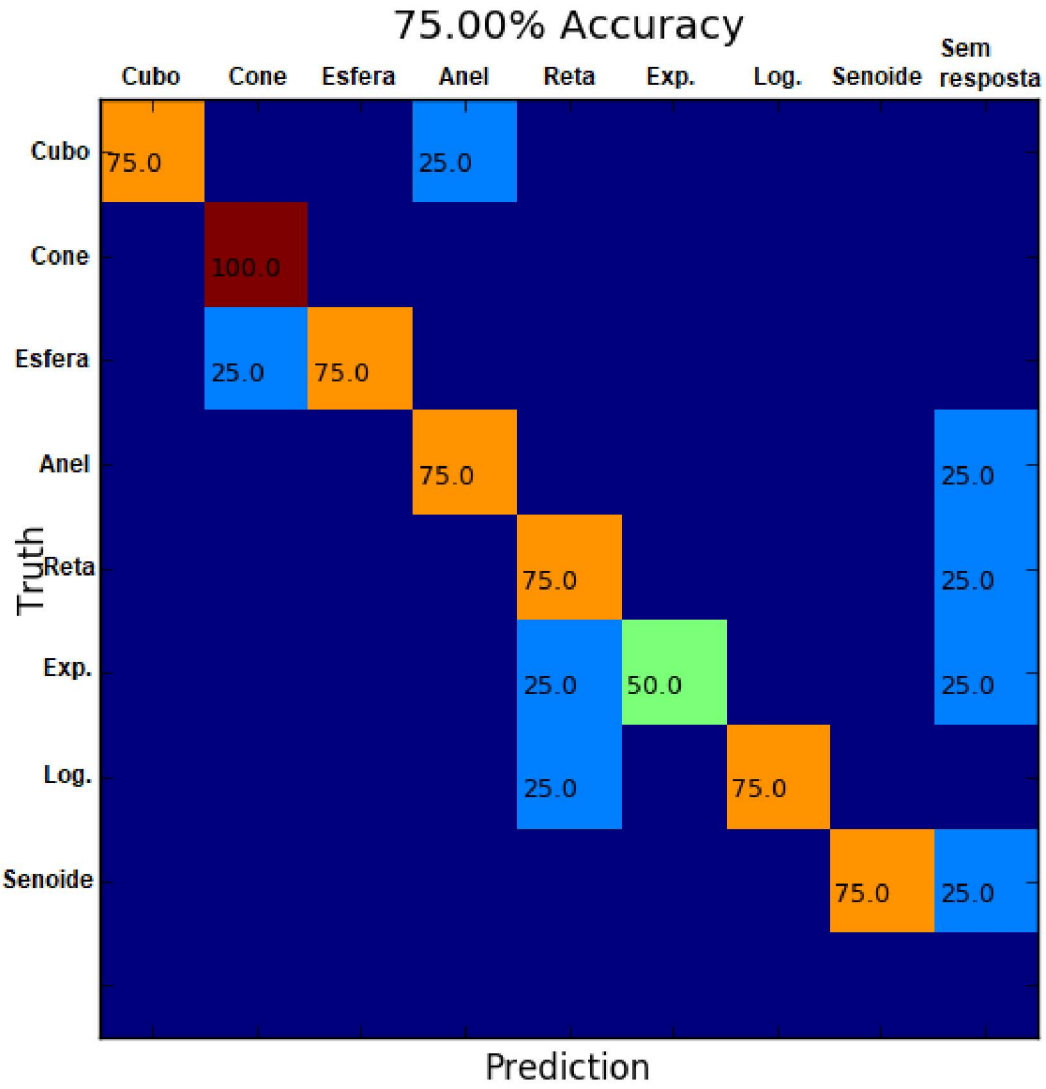


Figura 5.15: Matriz de confusão dos participantes masculinos.

A seguir, os resultados da acurácia das participantes femininas são exibidos pela matriz de confusão na Figura 5.16.

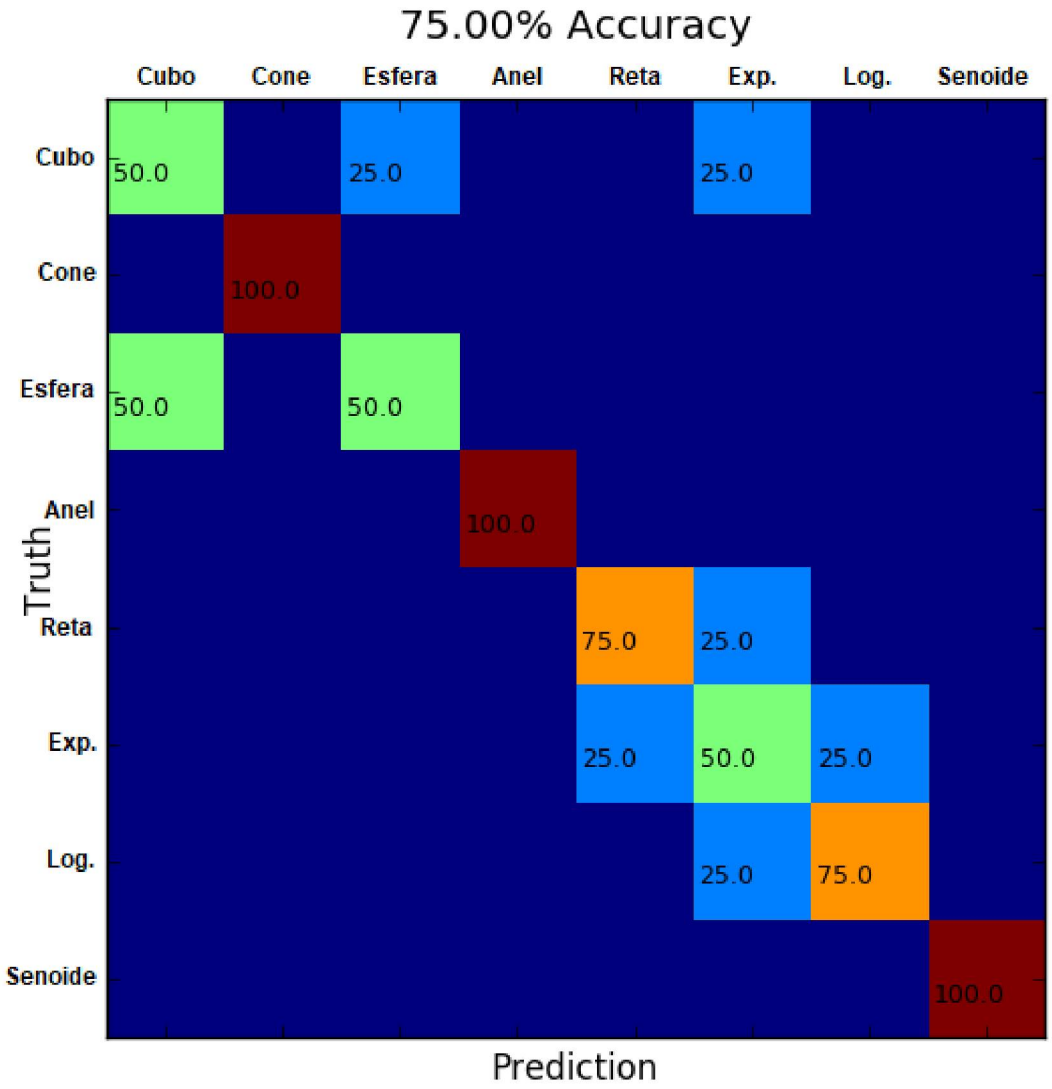


Figura 5.16: Matriz de confusão das participantes femininas.

A Figura 5.17 apresenta o resultado total da acurácia de todos os participantes.

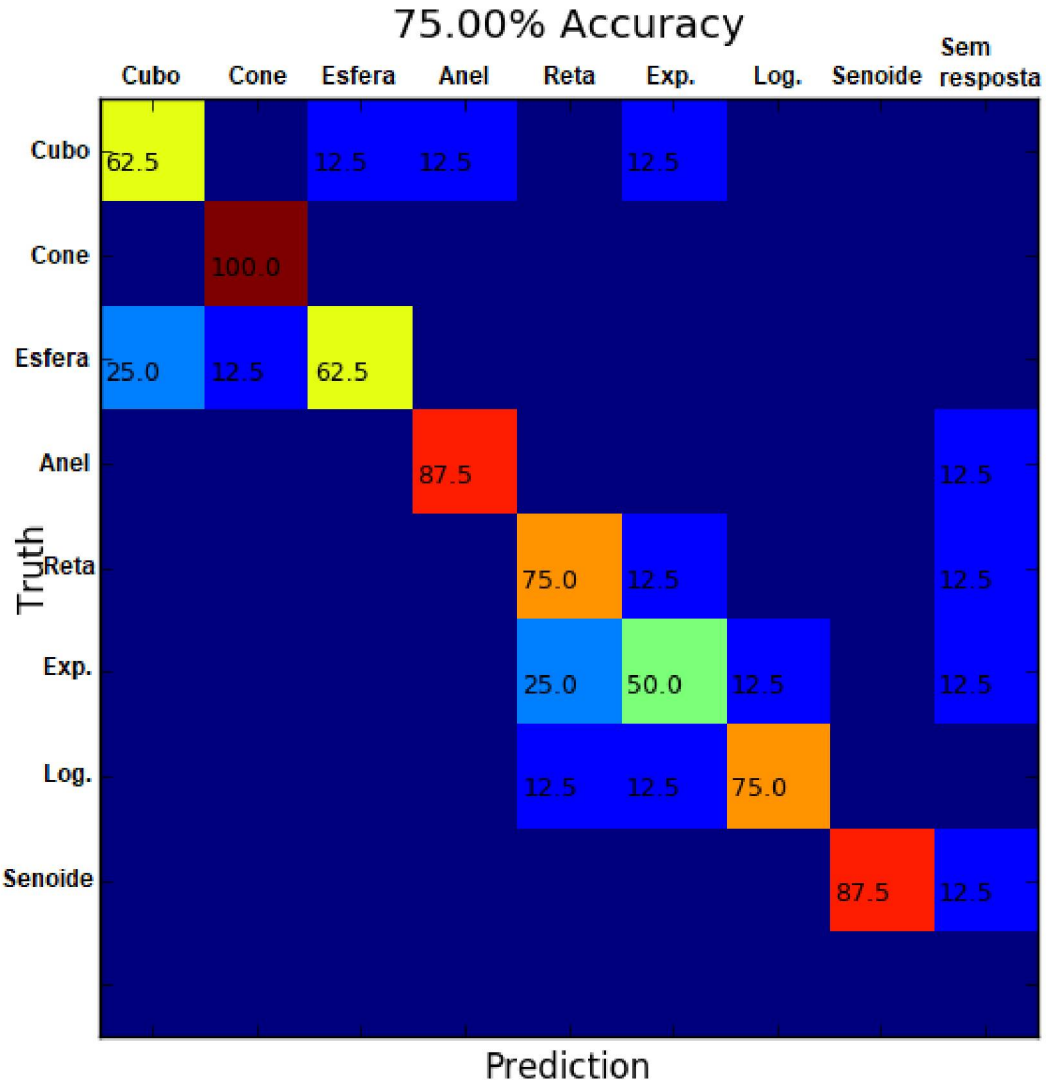


Figura 5.17: Matriz de confusão total.

As respostas obtidas na segunda entrevista são apresentadas na Tabela 5.3.

Tabela 5.3: Dados coletados sobre a usabilidade do dispositivo.

Pós-Experimento	**P. 01**	**P. 02**	**P. 03**	**P. 04**
Dificuldades encontradas	Não estou acostumado com o aparelho.	Precisei usar um pouco até acostumar.	Estava estranho, mas ficou bom.	Sem dificuldades.
Representação dos objetos	Não entendi direito.	É bacana, porque o aparelho faz o desenho do objeto com o nosso dedo.	Legal, parece bom.	Muito preciso.
Sugestões de melhoria	-	Está ótimo desse jeito.	-	-
Usaria o dispositivo	Sim.	Sim.	Sim.	Sim.
	P. 05	**P. 06**	**P. 07**	**P. 08**
Dificuldades encontradas	Só é possível entender uma linha, não um objeto 3D.	Mouse muito alto.	Precisei mexer por uns minutos para entender.	Demorei um pouco para entender como funciona.
Representação dos objetos	Não parece um objeto 3D.	Razoável.	Muito bom.	Bom, legal.
Sugestões de melhoria	Ter mais liberdade com o aparelho. Mas limitado a movimentos lógicos.	Deveria ter mais pontos de contato com o dedo. Como um anel.	-	-
Usaria o dispositivo	Sim, com modificações.	Sim.	Sim.	Sim.

Os participantes estiveram muito receptivos e animados para participarem do experimento, sendo que foi observado em alguns casos onde os participantes se expressaram estar muito emocionados durante ou após o experimento.

Foi notável que enquanto alguns usuários se adaptaram quase que instantaneamente com o dispositivo e o sistema háptico, outros levaram um tempo maior para compreender tanto o funcionamento do dispositivo quanto a proposta háptica do sistema. Isso foi evidenciado nos casos em que após o usuário relatar que compreendeu o sistema, o mesmo passou a reconhecer os próximos objetos em um tempo consideravelmente mais curto.

Na opinião média dos participantes as representações dos objetos e gráficos estavam boas, mas foi observado certa dificuldade nos reconhecimentos do cubo, da semiesfera, e da curva exponencial.

Em um caso foi notado desconforto durante o experimento, onde um participante de 80 anos de idade que não é familiarizado a utilizar computadores ou *smartphones* apresentou dificuldade a compreender a proposta do sistema, e por conta disso não foi capaz de

identificar quatro dos oito objetos apresentados.

Com base nessa situação, a Figura 5.18 apresenta um gráfico onde é comparado o desempenho do participante com sua idade, verificando que os participantes mais jovens tiveram melhor desempenho em relação aos participantes menos jovens.

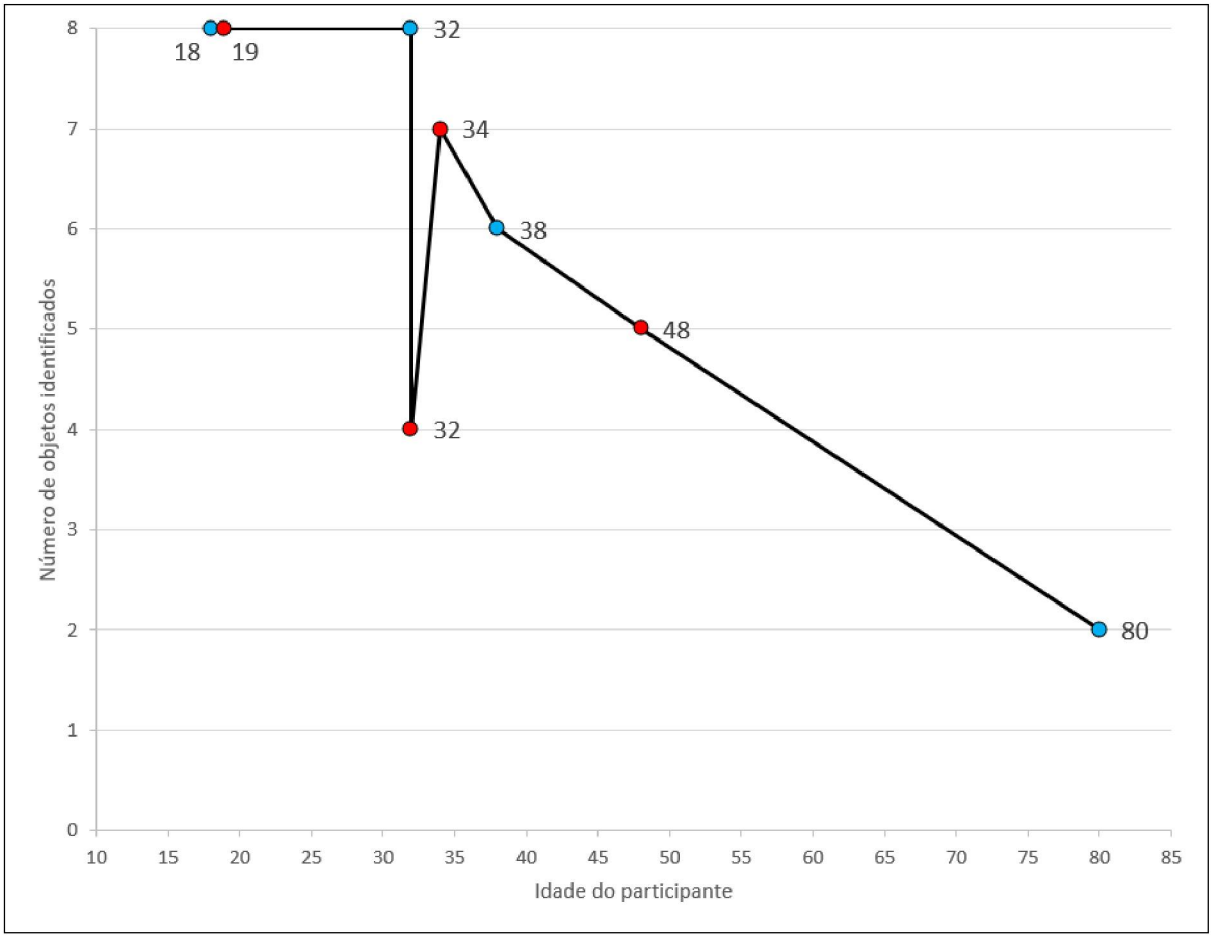


Figura 5.18: Gráfico comparativo entre o desempenho e a idade dos participantes. Vermelho = Mulher; Azul = Homem.

Foi observado, durante os experimentos, que para maximizar o desempenho da usabilidade do dispositivo, um novo usuário (independente da idade, sexo, ou assiduidade visual) precisa utilizar o aparelho por alguns minutos até compreender o a dinâmica do sistema.

O propósito desta ferramenta é de ser aplicada como uma tecnologia assistiva para pessoas com deficiência visual, possibilitando maior acesso ao conteúdo digital com uma experiência próxima do natural. Ambientes como museus digitais, jogos virtuais educativos, e ensino a distância (EaD) são exemplos de aplicações onde o Mouse Háptico tem

muito a contribuir.

O resultado do experimento realizado com o público alvo evidenciou que que o dispositivo atendeu aos objetivos propostos, uma vez que todos os participantes relataram que utilizariam o dispositivo em seus cotidianos.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÃO

O presente trabalho apresenta uma solução composta por um dispositivo e um sistema háptico, capaz de prover a simulação da sensação de toque em determinados objetos pertencentes a um ambiente virtual, viabilizando o reconhecimento destes objetos.

Existe margem para otimização do sistema, principalmente do tocante da abordagem háptica, uma vez que cada método utilizado pode ser mais apropriado a algumas pessoas em relação a outras. Foi considerado que, de modo a obter melhor referência a altura dos objetos virtuais, seria apropriado desenvolver uma nova versão do dispositivo que contemple mais pontos de contato em um único dedo, podendo ter o potencial otimizado utilizando um segundo dedo.

Em relação a otimização do *hardware*, um novo sistema de transmissão de movimentos entre o motor e a haste poderia ser desenvolvido. A fim de eliminar a angulação realizada pela haste durante os movimentos, o sistema de transmissão a ser desenvolvido deve transmitir o movimento por engrenagens, dessa maneira o movimento passa a ser transmitido em 90 graus. Com este sistema de engrenagens o dedo do usuário passa a se movimentar perpendicularmente em relação a superfície onde o dispositivo se encontra, o que geraria uma resposta háptica ainda mais fidedigna.

É notável que ter uma estrutura modelada por especialistas garantiria melhor disposição dos componentes do dispositivo, comportando-os de maneira que se mantenham seguros durante transporte e utilização ao longo do tempo, otimizando também o gerenciamento do espaço vazio dentro do aparelho.

Após a implementação dessas melhorias, recomenda-se a efetuar novos experimentos utilizando os métodos apresentados neste trabalho, com o intuito de validar as alterações realizadas.

BIBLIOGRAFIA

[1] Cássia Cristiane de Freitas Alves, Gelse Beatriz Martins Monteiro, Suzana Rabello, Maria Elisabete Rodrigues Freire Gasparetto, e Keila Monteiro de Carvalho. Assistive technology applied to education of students with visual impairment. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 26(2):148–152, 2009. 21

[2] Kikuo Asai, Norio Takase, e Makoto Sato. Displaying haptic interaction with a synthesized model of real objects using spidar-mouse. *Haptic, Audio and Visual Environments and Games (HAVE), 2014 IEEE International Symposium on*, páginas 19–23. IEEE, 2014. 24

[3] Cagatay Basdogan, C-H Ho, e Mandayam A Srinivasan. Virtual environments for medical training: Graphical and haptic simulation of laparoscopic common bile duct exploration. *IEEE/Asme Transactions On Mechatronics*, 6(3):269–285, 2001. 19

[4] Meera M Blattner e Roger B Dannenberg. *Multimedia interface design*. ACM, 1992. 18

[5] Francesco Chinello, Monica Malvezzi, Claudio Pacchierotti, e Domenico Prattichizzo. A three dofs wearable tactile display for exploration and manipulation of virtual objects. *Haptics Symposium (HAPTICS), 2012 IEEE*, páginas 71–76. IEEE, 2012. 25

[6] Tanay Choudhary, Saurabh Kulkarni, e Pradyumna Reddy. A braille-based mobile communication and translation glove for deaf-blind people. *Pervasive Computing (ICPC), 2015 International Conference on*, páginas 1–4. IEEE, 2015. 23

[7] DE AJUDAS TÉCNICAS COMITÉ. Ata da reunião iii, de abril de 2007. *Secretaria Especial dos direitos Humanos da Presidência da República (CORDE/SEDH/PR) Disponível em:¡ http://www. mj. gov. br/sedh/ct/corde/dpdh/corde/Comitê% 20de% 20Ajudas% 20Técnicas/Ata% 20III*, 2019, 2007. 20

[8] Nathan G Congdon, David S Friedman, e Thomas Lietman. Important causes of visual impairment in the world today. *Jama*, 290(15):2057–2060, 2003. 18

[9] IBGE Censo Demográfico. Disponível em: http://www. ibge. gov. br. *Acesso em*, 3, 2010. 16

[10] Mariza Dima, Linda Hurcombe, e Mark Wright. Touching the past: haptic augmented reality for museum artefacts. *International Conference on Virtual, Augmented and Mixed Reality*, páginas 3–14. Springer, 2014. 24

[11] Abdulmotaleb El Saddik. The potential of haptics technologies. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 10(1):10–17, 2007. 19

[12] Valentino Frati e Domenico Prattichizzo. Using kinect for hand tracking and rendering in wearable haptics. *World Haptics Conference (WHC), 2011 IEEE*, páginas 317–321. IEEE, 2011. 25

[13] Mohammed-Amine Hadj-Abdelkader, Guy Bourhis, e Brahim Cherki. Haptic feedback control of a smart wheelchair. *Applied Bionics and Biomechanics*, 9(2):181–192, 2012. 22

[14] Sreekar Krishna, Shantanu Bala, Troy McDaniel, Stephen McGuire, e Sethuraman Panchanathan. Vibroglove: an assistive technology aid for conveying facial expressions. *CHI'10 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, páginas 3637–3642. ACM, 2010. 23

[15] Diana Krusteva, Deepak Sahoo, Asier Marzo, Sriram Subramanian, e David Coyle. Marionette: a multi-finger tilt feedback device for curvatures and haptic images perception. *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, páginas 1229–1234. ACM, 2015. 24

[16] Pedro Lopes, Sijing You, Lung-Pan Cheng, Sebastian Marwecki, e Patrick Baudisch. Providing haptics to walls & heavy objects in virtual reality by means of electrical

muscle stimulation. *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, páginas 1471–1482. ACM, 2017. 25

[17] Jonatan Martínez, Arturo García, Miguel Oliver, José Pascual Molina, e Pascual González. Identifying virtual 3d geometric shapes with a vibrotactile glove. *IEEE computer graphics and applications*, 36(1):42–51, 2016. 25

[18] Thomas H Massie, J Kenneth Salisbury, et al. The phantom haptic interface: A device for probing virtual objects. *Proceedings of the ASME winter annual meeting, symposium on haptic interfaces for virtual environment and teleoperator systems*, volume 55, páginas 295–300. Citeseer, 1994. 19

[19] Valerie S Morash, Allison E Connell Pensky, Steven TW Tseng, e Joshua A Miele. Effects of using multiple hands and fingers on haptic performance in individuals who are blind. *Perception*, 43(6):569–588, 2014. 26

[20] Kristen Murphy e Marjorie Darrah. Haptics-based apps for middle school students with visual impairments. *IEEE transactions on haptics*, 8(3):318–326, 2015. 23

[21] Ian Oakley, Marilyn Rose McGee, Stephen Brewster, e Philip Gray. Putting the feel in'look and feel '. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems*, páginas 415–422. ACM, 2000. 19

[22] Francisco Oliveira, Francis Quek, Heidi Cowan, e Bing Fang. The haptic deictic system—hds: Bringing blind students to mainstream classrooms. *IEEE transactions on haptics*, 5(2):172–183, 2012. 23

[23] Donatella Pascolini e Silvio Paolo Mariotti. Global estimates of visual impairment: 2010. *British Journal of Ophthalmology*, 96(5):614–618, 2012. 18

[24] Alejandro R Garcia Ramirez, Renato Fonseca Livramento da Silva, Milton Jose Cinelli, e Alejandro Durán Carrillo de Albornoz. Evaluation of electronic haptic device for blind and visually impaired people: a case study. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 32(6):423–428, 2012. 22

[25] Christophe Ramstein e Vincent Hayward. The pantograph: a large workspace haptic device for multimodal human computer interaction. *Conference companion on Human factors in computing systems*, páginas 57–58. ACM, 1994. 19

[26] Jaime Sánchez e Mauricio Lumbreras. Virtual environment interaction through 3d audio by blind children. *CyberPsychology & Behavior*, 2(2):101–111, 1999. 21

[27] Sylvia Söderström e Borgunn Ytterhus. The use and non-use of assistive technologies from the world of information and communication technology by visually impaired young people: A walk on the tightrope of peer inclusion. *Disability & Society*, 25(3):303–315, 2010. 21

[28] Hiroshi Suzuki, Hiroaki Yano, e Hiroo Iwata. 1 dof tabletop haptic mouse for shape recognition of 3d virtual objects. *ACHI 2013, The Sixth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions*, páginas 309–314. Citeseer, 2013. 25

[29] Lennart Thurfjell, John McLaughlin, Johan Mattsson, e Piet Lammertse. Haptic interaction with virtual objects: the technology and some applications. *Industrial Robot: An International Journal*, 29(3):210–215, 2002. 19

[30] Jenna L Toennies, Jessica Burgner, Thomas J Withrow, e Robert J Webster. Toward haptic/aural touchscreen display of graphical mathematics for the education of blind students. *World Haptics Conference (WHC), 2011 IEEE*, páginas 373–378. IEEE, 2011. 23

[31] Satoshi Tsuboi, Masahiro Ohka, e Hanafiah Yussof. 3d surface presentations of virtual tilt pad using moment measurement for pin-matrix tactile display. *Procedia Computer Science*, 42:1–8, 2014. 24

APÊNDICE A

ANEXOS

A.1 Comprovante do Envio do Projeto

UFPR - SETOR DE CIÊNCIAS DA SAÚDE DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ -

Plataforma Brasil

COMPROVANTE DE ENVIO DO PROJETO

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: HAPTIC MOUSE: UM DISPOSITIVO QUE POSSIBILITA O RECONHECIMENTO DE FORMAS VIRTUAIS

Pesquisador: Luciano Silva

Versão: 3

CAAE: 87170518.9.0000.0102

Instituição Proponente: Programa de Pós-Graduação em Informática/UFPR

DADOS DO COMPROVANTE

Número do Comprovante: 032613/2018

Patrocionador Principal: Financiamento Próprio

Informamos que o projeto HAPTIC MOUSE: UM DISPOSITIVO QUE POSSIBILITA O RECONHECIMENTO DE FORMAS VIRTUAIS que tem como pesquisador responsável Luciano Silva, foi recebido para análise ética no CEP UFPR - Setor de Ciências da Saúde da Universidade Federal do Paraná - SCS/UFPR em 09/04/2018 às 13:17.

Figura A.1: Comprovante do Envio do Projeto.

A.2 Termo de consentimento - Instituto Paranaense de Cegos

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Nós, Luciano Silva, e Giovani Bertolla Sampaio da Universidade Federal do Paraná, estamos convidando você a participar de um estudo intitulado Haptic Mouse: Um dispositivo que possibilita o reconhecimento de formas virtuais.

1. O objetivo principal da pesquisa é proporcionar a sensação de toque em objetos dentro de um ambiente virtual a pessoas com deficiência visual como a cegueira e a baixa visão. Desse modo, a pesquisa proporcionará a possibilidade da inclusão do usuário em diversos âmbitos da tecnologia assistiva, como a utilização de museus virtuais.

2. Caso você participe da pesquisa, será necessário que participe de uma sessão de no máximo 30 minutos, em que irá operar a citada ferramenta computacional.

    - Durante a operação da ferramenta, serão coletados dados da sua participação ao utilizar a ferramenta.
    - Os três tipos de dados coletados serão: a) vídeo do participante ao utilizar a ferramenta; b) registro das interações do usuário com a interface por meio do sistema háptico; c) respostas de uma curta entrevista anterior e outra posteriormente a utilização da ferramenta.
    - Haverá uma entrevista antes e outra após a interação com o sistema, onde na primeira entrevista, os dados desejados são: Sexo; idade; grau da deficiência; há quanto tempo tem a deficiência; se utiliza computadores, celulares, e/ou outras tecnologias assistivas. Os dados alvo na segunda entrevista são: Qual foi a dificuldade ao utilizar o dispositivo e o sistema; se o dispositivo conseguiu representar os objetos em questão; quais as possíveis sugestões do participante para o sistema e dispositivo; qual a possibilidade de utilizar a presente ferramenta.
    - Você utilizará um dispositivo semelhante a um mouse, porém ele tem uma haste que realiza movimento cima-baixo de acordo com o objeto apresentado no sistema, afim de prover a possibilidade de que você reconheça as formas geométricas e gráficos apresentados, totalizando 8 (oito) testes.
    - Estes dados serão utilizados somente para comprovar que as funcionalidades implementadas na ferramenta estão funcionando corretamente, sendo descartados após o término da pesquisa.

3. Para tanto, é necessário comparecer no Instituto Paranaense de Cegos, Av. Visc. de Guarapuava, 4186, para utilizar o Mouse Háptico com o intuito de reconhecer as formas 3D apresentadas num computador, realizando testes e opinando sobre o mesmo, o que levará aproximadamente 30 minutos.

4. É possível que você experimente algum desconforto, principalmente relacionado ao cansaço no uso da ferramenta.

5. Alguns riscos relacionados ao estudo podem ser o constrangimento ao responder ao formulário de pré e pós-entrevista.

6. O benefício esperado com essa pesquisa é que você poderá reconhecer as estruturas virtuais, como gráficos matemáticos e geometrias simples, a partir do sentido do tato. Além disso, sua interação com o sistema fornecerá dados importantes para seu futuro aprimoramento, validando a presente ferramenta assistiva, o que pode beneficiar indiretamente a comunidade dos deficientes visuais.

7. Os pesquisadores Luciano Silva e Giovani Bertolla Sampaio, responsáveis por este estudo poderão ser localizados na Av. Coronel Francisco Heráclito dos Santos, 210 Complemento: Departamento de Informática, Campus II - Centro Politécnico, Bairro: Jardim das Américas, Cidade: Curitiba – PR, pelos e-mails luciano@ufpr.br e giovani.bertolla@gmail.com, ou telefones (41) 3361-3684 e (41) 99694-4854, no horário das 09hrs às 17hrs para esclarecer eventuais dúvidas que você possa ter e fornecer-lhe as informações que queira, antes, durante ou depois de encerrado o estudo.

8. A sua participação neste estudo é voluntária e se [o senhor — a senhora — você] não quiser mais fazer parte da pesquisa poderá desistir a qualquer momento e solicitar que lhe devolvam este Termo de Consentimento Livre e Esclarecido assinado. O seu [atendimento e/ou tratamento] está garantido e não será interrompido caso você desista de participar.

9. As informações relacionadas ao estudo poderão ser conhecidas por pessoas autorizadas. Luciano Silva e Giovani Bertolla Sampaio. No entanto, se qualquer informação for divulgada em relatório ou publicação, isto será feito sob forma codificada, para que a identidade do menor seja preservada e mantida sua confidencialidade.

10. O material obtido, questionários, imagens, áudios e vídeos, serão utilizado unicamente para essa pesquisa e será destruído ao término do estudo, dentro de 1 ano.

11. As despesas necessárias para a realização da pesquisa, como o transporte, são de sua responsabilidade e você não receberá qualquer valor em dinheiro pela sua participação.

12. Quando os resultados forem publicados, não aparecerá nome do menor, e sim um código.

13. Se você tiver dúvidas sobre os direitos do menor como participante de pesquisa, você pode contatar também o Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos (CEP/SD) do Setor de Ciências da Saúde da Universidade Federal do Paraná, pelo telefone 3360-7259. O Comitê de Ética em Pesquisa é um órgão colegiado multi e transdisciplinar, independente, que existe nas instituições que realizam pesquisa envolvendo seres humanos no Brasil e foi criado com o objetivo de proteger os participantes de pesquisa, em sua integridade e dignidade, e assegurar que as pesquisas sejam desenvolvidas dentro de padrões éticos (Resolução nº 466/12 Conselho Nacional de Saúde).

14. Autorizo (___), não autorizo (___), o uso de questionários, imagens, áudios e vídeos do menor para fins da pesquisa, sendo seu uso restrito a validação e do funcionamento do dispositivo apresentado.

Eu, _____ li esse Termo de Consentimento e compreendi a natureza e objetivo do estudo do qual concordei em participar. A explicação que recebi menciona os riscos e benefícios. Eu entendi que sou livre para interromper minha participação a qualquer momento sem justificar minha decisão e sem qualquer prejuízo para mim.

Eu concordo voluntariamente em participar deste estudo.

Curitiba, _____ de _____ de _____.

_____

[Assinatura do Participante de Pesquisa ou Responsável Legal]

_____

[Assinatura do Pesquisador Responsável ou quem aplicou o TCLE]

A.3 Entrevistas

Pré-Experimento

1. Básico
    - Qual seu sexo?
    - Qual sua idade?
2. Deficiência
    - Qual é a sua assiduidade visual?
    - Desde qual idade você tem essa dificuldade visual?
3. Tecnologia
    - Qual é o seu contato semanal com computadores?
    - Possui um *smartphone*?
    - Já utilizou algum sistema de tecnologia assistiva?

Pós-Experimento

1. Sobre o experimento
    - Quais foram as dificuldade encontradas durante o experimento?
    - Qual é a sua opinião sobre a representação dos objetos virtuais em relação aos objetos físicos?
    - Quais são as suas sugestões para a melhoria da ferramenta?
    - Você usaria esta ferramenta?