UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Bauru

Sérgio Carlos Portari Júnior

A INFLUÊNCIA DOS DISPLAYS DE REALIDADE VIRTUAL E AUMENTADA NA PERCEPÇÃO DO EFEITO DO VALE DA ESTRANHEZA EM PERSONAGENS VIRTUAIS 3D

Bauru/SP
2024

Sérgio Carlos Portari Júnior

A INFLUÊNCIA DOS DISPLAYS DE REALIDADE VIRTUAL E AUMENTADA NA PERCEPÇÃO DO EFEITO DO VALE DA ESTRANHEZA EM PERSONAGENS VIRTUAIS 3D

Tese de doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Mídia e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Bauru como requisito à obtenção do título de "Doutor em Mídia e Tecnologia".

Orientador: Dr. Antonio Carlos Sementille

Bauru/SP
2024

P842i

Portari Júnior, Sérgio Carlos
A influência dos displays de realidade virtual e aumentada na percepção do efeito do Vale da Estranheza em personagens virtuais 3D / Sérgio Carlos Portari Júnior. -- Bauru, 2024
245 f. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design, Bauru
Orientador: Antonio Carlos Sementille

1. Vale da Estranheza. 2. Uncanny Valley. 3. Avatares. 4. Personagens humanoides. 5. Mídia e tecnologias. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE SERGIO CARLOS PORTARI JUNIOR, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MÍDIA E TECNOLOGIA, DA FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES, COMUNICAÇÃO E DESIGN.

Aos 26 dias do mês de setembro do ano de 2024, às 09:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de TESE DE DOUTORADO de SERGIO CARLOS PORTARI JUNIOR, intitulada **A influência dos displays de realidade virtual e aumentada na percepção do efeito do Vale da Estranheza em personagens virtuais 3D**. A Comissão Examinadora foi constituida pelos seguintes membros: Professor Associado ANTONIO CARLOS SEMENTILLE (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Computação da Faculdade de Ciências / UNESP / Bauru , Professor Doutor SILVIO RICARDO RODRIGUES SANCHES (Participação Virtual) do(a) Departamento Acadêmico de Computação / Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Professor Doutor ALEXANDRE CARDOSO (Participação Virtual) do(a) Faculdade de Engenharia Elétrica / Universidade Federal de Uberlândia. Após a exposição pelo doutorando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final: _ _ **APROVADO** _ _ . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Professor Associado ANTONIO CARLOS SEMENTILLE

gov.br Documento assinado digitalmente
ANTONIO CARLOS SEMENTILLE
Data: 26/09/2024 11:43:16-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

PORTARI JÚNIOR, SÉRGIO CARLOS. **A influência dos displays de realidade virtual e aumentada na percepção do efeito do Vale da Estranheza em personagens virtuais 3D**. 2024. 160f. Tese de Doutorado – FAAC – UNESP, sob orientação do Prof. Dr. Antônio Carlos Sementille, Bauru, 2024.

RESUMO

Com o crescimento das tecnologias imersivas e o surgimento do metaverso, a criação de personagens virtuais realistas se tornou uma tarefa central para proporcionar experiências envolventes em ambientes de Realidade Virtual e Aumentada. No entanto, à medida que esses personagens se aproximam do realismo humano, surge o fenômeno conhecido como Vale da Estranheza, que descreve o desconforto gerado pela percepção de falhas em personagens quase-humanos. Esse problema é especialmente relevante em plataformas imersivas, onde a interação direta com os personagens pode acentuar a sensação de estranheza. Diante o exposto, esta tese investiga os efeitos do Vale da Estranheza em personagens humanoides 3D observados em diferentes tipos de *displays*, com foco na Realidade Aumentada. A tese compara três tecnologias de visualização — monitores, capacetes de Realidade Virtual e capacetes de Realidade Aumentada — e avalia a percepção de semelhança, estranheza e simpatia em personagens virtuais com movimentos faciais e corporais. Os experimentos envolvem a criação e apresentação de ambientes imersivos, explorando o efeito do realismo e da dinâmica dos movimentos desses personagens sobre a experiência do usuário. Através de análises estatísticas, incluindo ANOVA e testes *post-hoc* de Tukey, foram identificadas diferenças significativas na percepção dos personagens entre os dispositivos de visualização. As principais contribuições desta tese incluem a análise aprofundada do Vale da Estranheza em personagens 3D, com foco em movimentos faciais e corporais, e a demonstração de que dispositivos imersivos, como capacetes de RA e RV, podem atenuar a percepção de estranheza, oferecendo dados relevantes para a utilização de personagens realistas em mídias digitais.

Palavras-chave: Vale da Estranheza, Realidade Aumentada, Realidade Virtual, Personagens Humanoides, Percepção.

PORTARI JÚNIOR, SÉRGIO CARLOS. ***The influence of virtual and augmented reality displays on the perception of the Uncanny Valley effect in 3D virtual characters.***. 2024. 160f. Doctoral Thesis – FAAC – UNESP, under the guidance of Prof. Dr. Antônio Carlos Sementille, Bauru, 2024.

ABSTRACT

With the growth of immersive technologies and the emergence of the metaverse, the creation of realistic virtual characters has become a central task to provide engaging experiences in Virtual and Augmented Reality environments. However, as these characters approach human realism, the phenomenon known as the Uncanny Valley emerges, describing the discomfort caused by the perception of flaws in almost-human characters. This issue is particularly relevant in immersive platforms, where direct interaction with characters can heighten the feeling of strangeness. In light of this, this thesis investigates the effects of the Uncanny Valley in 3D humanoid characters observed across different types of displays, focusing on Augmented Reality. The thesis compares three visualization technologies — monitors, Virtual Reality headsets, and Augmented Reality headsets — and evaluates the perception of similarity, strangeness, and likability in virtual characters with facial and bodily movements. The experiments involve the creation and presentation of immersive environments, exploring the effect of realism and the dynamics of these characters' movements on the user experience. Through statistical analyses, including ANOVA and post-hoc Tukey tests, significant differences were identified in character perception across visualization devices. The main contributions of this thesis include an in-depth analysis of the Uncanny Valley in 3D characters, focusing on facial and bodily movements, and the demonstration that immersive devices, such as AR and VR headsets, can attenuate the perception of strangeness, providing relevant data for the use of realistic characters in digital media.

Keywords: Uncanny Valley, Augmented Reality, Virtual Reality, Humanoid Characters, Perception.

Dedico este trabalho a todos que não mais estão presentes nesta vida, mas os quais eu gostaria muito que estivessem para ver meu sonho concretizado. Meu pai, Sérgio Carlos Portari; Minha mãe: Lilia Maria Levoti Portari, meus avós, tio e tia. Todos partiram muito cedo desta vida, mas sei que sempre estão e estarão presentes em mim enquanto eu ainda estiver aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG – pela bolsa de estudos (BPG-00057-21) e auxílio financeiro concedidos através do Programa de Capacitação de Recursos Humanos – PCRH –, o que possibilitou minha dedicação ao programa de pós-graduação e à operacionalização dos meus estudos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Antonio Carlos Sementille, que, com muita paciência, sabedoria e compreensão, conduziu com excelência este processo, do qual eu já teria desistido se não fosse por ele.

À minha esposa, Luciani Maciel Ramos Portari, e ao meu filho, Sérgio Carlos Portari Neto, por suportarem os momentos difíceis e as ausências, mas sempre compartilharem as pizzas nos jantares tardios, e por se tornarem personagens virtuais para este trabalho.

Ao meu irmão, Prof. Dr. Rodrigo Daniel Levoti Portari (e a toda sua família: sua esposa Aureliane e meus sobrinhos João Daniel, Estela e Thalita), por ajudar em algumas questões pontuais sobre o trabalho, colaborar na redação e publicação de artigos e capítulos de livros para que atingíssemos as metas de publicação da UEMG, e por também se tornar um personagem virtual.

À Prof.ª Dra. Vânia Cristina Pires Nogueira Valente, coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Mídias e Tecnologias (PPGMiT), por todo o apoio quando precisei, prontificando-se e retornando sempre de forma atenciosa aos questionamentos, mesmo com inúmeros compromissos e durante viagens internacionais.

Ao Prof. Dr. Alexandre Cardoso, que me permitiu iniciar os estudos em Realidade Aumentada, quando, ainda como aluno ouvinte, comecei sua disciplina em 2010 na UFU. Ele me fez apaixonar por essa linha de pesquisa e prontamente aceitou participar da banca de defesa da minha tese de doutorado.

Ao Prof. Dr. Silvio Ricardo Rodrigues Sanches, por cordialmente aceitar o convite para contribuir e participar da banca de defesa desta tese.

A meus amigos Junior Nascimento da Silva e Luciana Mara Faria, por criarem um ambiente fantástico, tão perto de casa, e por nos receberem de braços abertos nos momentos mais tensos do desenvolvimento deste trabalho (e por me lembrarem de que eu precisava parar para comer às vezes), servindo o melhor rodízio de pizzas de Frutal na Kidelícia Pizzaria.

Em especial à Faculdade Barretos, na pessoa de seu presidente, Andre Luiz Rezek, e da coordenadora do curso de Sistemas de Informação, Bina Quintans, estendendo o agradecimento a todos os docentes, colaboradores e discentes pelo apoio nos momentos finais deste trabalho e durante quase 10 anos de convivência e suporte.

À UEMG – Universidade do Estado de Minas Gerais, à nossa reitora, Lavínia Rosa Rodrigues, ao nosso diretor da Unidade Frutal, Leandro Pinheiro, a Fábio Rodrigues (chefe do DCEx), e a meus companheiros Leonardo Vieira, Cícero Oliveira, Geraldo Corrêa, Ivan Filho, Camila Cortes, Uemerson Pinheiro e a todos os demais docentes, colaboradores e discentes.

Ao meu amigo Humberto Cecconi e sua família, que fez falta para trocarmos aqueles incentivos nos momentos difíceis, mas que sempre esteve a um "zap"de distância.

E, por fim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram de alguma forma para possibilitar a realização deste trabalho.

"Eu lutei tanto, tantos anos para chegar a isso, e hoje eu lutei tanto que, vai ter que dar, vai ter que chegar em primeiro. Porque Ele é maior do que todos e Ele vai ter que me dar esta vitória."

Ayrton Senna da Silva
(Entrevista em 1991 após vencer o GP Brasil de F1 pela primeira vez)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Cena do filme O Expresso Polar (2004) 34
Figura 2 – O Vale da Estranheza 36
Figura 3 – Classificação média de estranheza 40
Figura 4 – Mark Zuckerberg e seu avatar no Meta Horizon Worlds 44
Figura 5 – Ambiente de RV observado no Meta Quest 3 48
Figura 6 – Continuum Realidade - Virtualidade 50
Figura 7 – Registro em RA 51
Figura 8 – Principais partes do olho humano 52
Figura 9 – Conflito de convergência e acomodação 55
Figura 10 – Simplificação de uma taxonomia de tecnologias de *display* para RA . . 56
Figura 11 – HMDs Apple Vision Pro e Meta Quest 3 57
Figura 12 – As abordagens OST e VST em HMD´s de RA 58
Figura 13 – Arquiteturas ópticas para HMDs 59
Figura 14 – Aplicação para tratamento de fobia social 63
Figura 15 – Mesclando um rosto humano com a face de um animal 64
Figura 16 – Aplicações em RA e RV do estudo de Yan (2019) 65
Figura 17 – Avatares utilizados nos estudos RV e RA 66
Figura 18 – Personagem criado para estar no fundo do vale estranho 67
Figura 19 – Os 15 Avatares utilizados 69
Figura 20 – Avatares de entrevistador, entrevistado e os reais entrevistador e entrevistado 71
Figura 21 – Avatares e modelos originais utilizados no estudo 74
Figura 22 – Diferentes tipos de *displays* 80
Figura 23 – Diferentes ambientes virtuais desenvolvidos (imersivos e não-imersivos) 81
Figura 24 – Estrutura geral dos dois ambientes implementados 82
Figura 25 – Cenário de treinamento 83
Figura 26 – Cenário de apresentação dos personagens 85
Figura 27 – Cenário de questionário 85
Figura 28 – Apple iPhone 15 Pro 88
Figura 29 – Capacete Meta Quest 3 - partes 89
Figura 30 – Capacete desenvolvido para o Unity FaceCapture 91
Figura 31 – Grafo da cena de Calibração 92
Figura 32 – Cena de Calibração 93

Figura 33 – Grafo da cena de Treinamento 95
Figura 34 – Cena de Treinamento 95
Figura 35 – Grafo da cena de Apresentação dos Personagens 98
Figura 36 – Cena de Apresentação dos Personagens 99
Figura 37 – Grafo da cena de Questionário 100
Figura 38 – Cena de Questionário 101
Figura 39 – Personagens em ordem crescente de semelhança 103
Figura 40 – Personagem Braço Robótico 104
Figura 41 – Personagem Kyle - Robô bípede 105
Figura 42 – Personagem André 106
Figura 43 – Personagem Daniel 106
Figura 44 – Personagem Bia 107
Figura 45 – Personagem Serjão 108
Figura 46 – Personagem José 108
Figura 47 – Imagem utilizadas para José gerar 109
Figura 48 – Personagem Zumbi 110
Figura 49 – Personagem Esqueleto 111
Figura 50 – Personagem Neto 112
Figura 51 – Foto utilizada para gerar Neto 112
Figura 52 – Personagem Maria 113
Figura 53 – Personagem Luciani 113
Figura 54 – Foto utilizada para gerar a personagem Luciani 114
Figura 55 – Personagem Rodrigo 114
Figura 56 – Foto utilizada para gerar Rodrigo 115
Figura 57 – Personagem Sofia 116
Figura 58 – Fotos geradas para criação de Sofia 116
Figura 59 – Personagem Sérgio 117
Figura 60 – Fotos utilizadas na criação do personagem Sérgio 117
Figura 61 – Esquema do ambiente para realização dos testes com HMDs 120
Figura 62 – Ambiente criado para execução dos experimentos 120
Figura 63 – Ambiente de calibração da aplicação de Realidade Aumentada 121
Figura 64 – Dispersão e Regressão da Semelhança dos personagens com seres humanos vs Estranheza dos personagens em relação aos dispositivos . . . 130
Figura 65 – Dispersão e Regressão da Simpatia vs Estranheza dos personagens . . . 133

Figura 66 – Médias com Intervalos de Confiança para os Movimentos Oculares dos Personagens 135
Figura 67 – Médias com Intervalos de Confiança para os Movimentos Labiais dos Personagens 136
Figura 68 – Médias com Intervalos de Confiança para os Movimentos Labiais dos Personagens 138
Figura 69 – Médias com Intervalos de Confiança para os Movimentos dos Personagens 139
Figura 70 – Estranheza dos personagens estáticos e com movimentos 141
Figura 71 – Médias de Simpatia dos personagens estáticos e com todos os movimentos por Dispositivos 144
Figura 72 – Distribuição da Semelhança dos personagens com seres humanos estáticos e com todos os movimentos por Dispositivos 146
Figura 73 – Distribuição da Presença e Naturalidade dos Movimentos por Dispositivos 148
Figura 74 – Médias aritiméticas de semelhança - HMD-RA 149
Figura 75 – Médias aritiméticas de semelhança - HMD-RV 150
Figura 76 – Médias aritiméticas de semelhança - Monitor 2D 150
Figura C.1 – Distribuição da Semelhança e Estranheza dos personagens por Dispositivos 178
Figura C.2 – Médias de Semelhança e Estranheza dos personagens por Dispositivos . 180
Figura C.3 – Dispersão e Regressão da Semelhança dos personagens com seres humanos vs Estranheza dos personagens em relação aos dispositivos . . . 181
Figura D.1 – Distribuição da Simpatia e Estranheza dos personagens por Dispositivos 185
Figura D.2 – Médias de Simpatia e Estranheza dos personagens por Dispositivos . . 186
Figura D.3 – Dispersão e Regressão da Semelhança dos personagens com seres humanos vs Estranheza dos personagens em relação aos dispositivos . . . 188
Figura E.1 – Movimentos Oculares dos Personagens percebidos pelos usuários nos Dispositivos 191
Figura E.2 – Médias com Intervalos de Confiança para os Movimentos Oculares dos Personagens percebidos pelos usuários nos Dispositivos 192
Figura E.3 – Médias Simples dos Movimentos Oculares dos Personagens em relação aos Dispositivos 194
Figura F.1 – Movimentos Labiais dos Personagens percebidos pelos usuários nos Dispositivos 198
Figura F.2 – Médias com Intervalos de Confiança para os Movimentos Labiais dos Personagens percebidos pelos usuários nos Dispositivos 199

Figura F.3 – Médias Simples dos Movimentos Labiais dos Personagens em relação aos Dispositivos 200
Figura G.1 – Movimentos Corporais dos Personagens percebidos pelos usuários nos Dispositivos 204
Figura G.2 – Médias com Intervalos de Confiança para os Movimentos Corporais dos Personagens percebidos pelos usuários nos Dispositivos 205
Figura G.3 – Médias Simples dos Movimentos Labiais dos Personagens em relação aos Dispositivos 205
Figura H.1 – Naturalidade dos personagens com todos os movumentos nos Dispositivos 209
Figura H.2 – Médias com Intervalos de Confiança dos Personagens com todos os movimentos, indicados pelos usuários nos diferentes Dispositivos 210
Figura H.3 – Médias Simples da naturalidade dos movimentos dos personagens com todos os movimentos em relação aos Dispositivos 211
Figura I.1 – Distribuição da Estranheza dos personagens estáticos e com todos os movimentos por Dispositivos 216
Figura I.2 – Médias de Estranheza com personagens estáticos e com todos os movimentos por Dispositivos 217
Figura I.3 – Dispersão e Regressão da Estranheza percebida nos personagens estáticos e com todos os movimentos em relação aos Dispositivos 219
Figura J.1 – Distribuição da Simpatia dos personagens estáticos e com todos os movimentos por Dispositivos 224
Figura J.2 – Médias de Simpatia dos personagens estáticos e com todos os movimentos por Dispositivos 225
Figura J.3 – Dispersão e Regressão da Simpatia percebida nos personagens estáticos e com todos os movimentos em relação aos Dispositivos 226
Figura K.1 – Distribuição da Semelhança dos personagens com seres humanos estáticos e com todos os movimentos por Dispositivos 232
Figura K.2 – Médias de Semelhança dos personagens com um ser humano estáticos e com todos os movimentos por Dispositivos 234
Figura K.3 – Dispersão e Regressão da Semelhança dos personagens com seres humanos nos personagens estáticos e com todos os movimentos em relação aos Dispositivos 235
Figura K.4 – Análise Descritiva das Médias dos personagens no HMD-RA 236
Figura K.5 – Análise Descritiva das Médias dos personagens no HMD-RV 237

Figura K.6 – Análise Descritiva das Médias dos personagens no Monitor de Computador 237
Figura L.1 – Distribuição da Presença e Naturalidade dos Movimentos por Dispositivos 242
Figura L.2 – Médias de Presença percebida pelos usuários e Naturalidade dos movimentos por Dispositivos 243
Figura L.3 – Dispersão e Regressão da Presença percebida pelos usuários vs Naturalidade dos movimentos dos personagens em relação aos dispositivos . 245

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Pontos focais da dimensão da semelhança humana na curva do Vale da Estranheza 38
Quadro 2 – Definições dos termos comuns usados para descrever afinidade 38
Quadro 3 – Termos populares utilizados para descrever personagens virtuais . . . 43
Quadro 4 – Comparação dos Trabalhos Correlatos 76
Quadro 5 – Visão geral dos experimentos 127
Quadro 6 – Resultados dos experimentos 152

LISTA DE TABELAS

Tabela C.1 – Teste *Post-hoc* Tukey para Semelhança do Personagem com ser humano 177
Tabela C.2 – Teste *Post-hoc* Tukey para Estranheza do Personagem 177
Tabela D.1 – Teste *Post-hoc* Tukey para Simpatia transmitida pelo personagem . . . 184
Tabela E.1 – Teste *Post-hoc* Tukey para Naturalidade dos movimentos oculares dos personagens 191
Tabela F.1 – Teste *Post-hoc* Tukey para Naturalidade dos movimentos labiais dos personagens 197
Tabela G.1 – Teste *Post-hoc* Tukey para Naturalidade dos Movimentos Corporais dos Personagens 203
Tabela H.1 – Teste *Post-hoc* Tukey para Naturalidade dos Personagens com Todos os Movimentos Combinados 208
Tabela I.1 – Teste *Post-hoc* Tukey para Estranheza do Personagem estático 214
Tabela I.2 – Teste *Post-hoc* Tukey para Estranheza do Personagem com todos os movimentos 215
Tabela J.1 – Teste *Post-hoc* Tukey para Simpatia do Personagem estático 222
Tabela J.2 – Teste *Post-hoc* Tukey para Simpatia do Personagem com todos os movimentos 223
Tabela K.1 – Teste *Post-hoc* Tukey para Semelhança do Personagem com um humano (estático) 230
Tabela K.2 – Teste *Post-hoc* Tukey para Simpatia do Personagem com todos os movimentos 231
Tabela L.1 – Teste *Post-hoc* Tukey para Presença percebida pelo usuário 241
Tabela L.2 – Teste *Post-hoc* Tukey para Naturalidade dos movimentos dos personagens 241

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D	Duas Dimensões
3D	Três Dimensões
CGI	Computer-Generated Imagery (Imagens Geradas por Computador)
ANOVA	Analysis of Variance (Análise de Variância)
EEG	Electroencephalogram (Eletroencefalograma)
FOV	Field of View (Campo de Visão)
FWER	Family-Wise Error Rate (Taxa de Erro Familiar)
GSR	Galvanic Skin Response (Resposta Galvânica da Pele)
HMD	Head-Mounted Display (Visor Montado na Cabeça)
HMD-RA	Augmented Reality Head-Mounted Display (Capacete de Realidade Aumentada)
HMD-RV	Virtual Reality Head-Mounted Display (Capacete de Realidade Virtual)
HSD	Honestly Significant Difference (Diferença Honestamente Significativa)
HUD	Head-Up Display (Visor de Cabeça Erguida)
IA	Inteligência Artificial
NaN	Not a Number (Valor Não Numérico)
OST	Optical See-Through (Visão Óptica Direta)
RA	Realidade Aumentada
RV	Realidade Virtual
SVR	Social Virtual Reality (Realidade Virtual Social)
VA	Virtualidade Aumentada
VST	Video See-Through (Visão Direta por Vídeo)

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**	**25**
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO E MOTIVAÇÃO	25
1.2	PROBLEMAS ABORDADOS	26
1.3	JUSTIFICATIVA	27
1.4	QUESTÕES DE PESQUISA	27
1.5	HIPÓTESES	28
1.6	OBJETIVOS	30
1.6.1	Objetivo Geral	30
1.6.2	Objetivos Específicos	30
1.7	CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA	31
1.7.1	Escopo da Pesquisa	32
1.8	ORGANIZAÇÃO DA TESE	33
2	**O EFEITO DO VALE DA ESTRANHEZA E PERSONAGENS HUMANOIDES VIRTUAIS**	**34**
2.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	34
2.2	O VALE DA ESTRANHEZA	35
2.3	PERSONAGENS VIRTUAIS	42
2.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
3	**TECNOLOGIAS DE *DISPLAYS* PARA REALIDADE VIRTUAL E REALIDADE AUMENTADA**	**47**
3.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	47
3.2	REALIDADE VIRTUAL	48
3.3	REALIDADE AUMENTADA	49
3.4	SISTEMA VISUAL HUMANO	52
3.5	TECNOLOGIAS DE *DISPLAYS* PARA RA	55
3.5.1	Taxonomia de tecnologias de *displays*	56
3.5.2	HMDs	56
3.5.3	Abordagens OST e VST	58
3.5.4	Arquiteturas ópticas para HMDs	59
3.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	60

4 TRABALHOS CORRELATOS 62
4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS 62
4.2 EXPLORANDO O EFEITO DO VALE DA ESTRANHEZA NA REALIDADE VIRTUAL PARA FOBIA SOCIAL 62
4.3 O EFEITO DO VALE DA ESTRANHEZA 63
4.4 EXPLORANDO O EFEITO DO VALE DA ESTRANHEZA EM RV/RA 64
4.5 UTILIZANDO O VALE DA ESTRANHEZA A FAVOR DO DESIGN DE PERSONAGENS 66
4.6 ASPECTOS DA APARÊNCIA VISUAL DE AVATARES 67
4.7 CRUZANDO O VALE DA ESTRANHEZA 70
4.8 AVATARES INTROVERTIDOS E EXTROVERTIDOS 73
4.9 ANÁLISE DOS TRABALHOS RELACIONADOS 75
4.10 CONSIDERAÇÕES FINAIS 76

5 METODOLOGIA ADOTADA 79
5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS 79
5.1.1 Visão geral do método proposto 79
5.2 ESTRUTURA LÓGICA E IMPLEMENTAÇÃO DOS AMBIENTES DE RV E RA 87
5.2.1 Componentes de *Hardware* 87
5.2.1.1 Computador 87
5.2.1.2 Apple iPhone 15 Pro 87
5.2.1.3 Meta Quest 3 88
5.2.2 Componentes de *Software* 89
5.2.3 Estrutura lógica dos ambientes de RV e RA construídos 91
5.2.3.1 Cena de Calibração 92
5.2.3.2 Cena de Treinamento 95
5.2.3.3 Cena de Apresentação dos Personagens 97
5.2.3.4 Cena do Questionário 100
5.3 DESENVOLVIMENTO DOS PERSONAGENS 102
5.3.1 Personagens desenvolvidos 104
5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS 118

6 EXPERIMENTOS E ANÁLISES DE RESULTADOS 119
6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS 119

6.1.1 Configuração do ambiente experimental 119
6.1.2 Participantes do experimento 121
6.2 FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS UTILIZADAS NOS EXPERIMENTOS 123
6.3 VISÃO GERAL DOS EXPERIMENTOS 125
6.4 EXPERIMENTO 1 - ANÁLISE DA PERCEPÇÃO DE SEMELHANÇA E A ESTRANHEZA DOS PERSONAGENS ESTÁTICOS 129
6.4.1 Resultados da ANOVA 129
6.4.2 Resultados do Teste Post-Hoc de Tukey 129
6.4.3 Gráficos de Dispersão e Regressão 129
6.5 EXPERIMENTO 2- ANÁLISE DA PERCEPÇÃO DE SIMPATIA E A ESTRANHEZA DOS PERSONAGENS ESTÁTICOS 131
6.5.1 Resultados da ANOVA 131
6.5.2 Resultados do Teste Post-Hoc de Tukey 131
6.5.3 Gráficos de Dispersão e Regressão 132
6.6 EXPERIMENTO 3 - ANÁLISE DA NATURALIDADE DOS MOVIMENTOS OCULARES DOS PERSONAGENS 134
6.6.1 Resultados da ANOVA 134
6.6.2 Resultados do Teste Post-Hoc de Tukey 134
6.6.3 Gráficos das Médias com Intervalos de Confiança 134
6.7 EXPERIMENTO 4 - ANÁLISE DA NATURALIDADE DOS MOVIMENTOS LABIAIS DOS PERSONAGENS 135
6.7.1 Resultados da ANOVA 135
6.7.2 Resultados do Teste Post-Hoc de Tukey 135
6.7.3 Gráficos das Médias com Intervalos de Confiança 136
6.8 EXPERIMENTO 5 - ANÁLISE DA NATURALIDADE DOS MOVIMENTOS CORPORAIS DOS PERSONAGENS 137
6.8.1 Resultados da ANOVA 137
6.8.2 Resultados do Teste Post-Hoc de Tukey 137
6.8.3 Gráficos das Médias com Intervalos de Confiança 137
6.9 EXPERIMENTO 6 - ANÁLISE DA NATURALIDADE DOS PERSONAGENS COM TODOS OS MOVIMENTOS COMBINADOS 138
6.9.1 Resultados da ANOVA 138
6.9.2 Resultados do Teste Post-Hoc de Tukey 139
6.9.3 Gráficos das Médias com Intervalos de Confiança 139

6.10 EXPERIMENTO 7 - ANÁLISE DA ESTRANHEZA DOS PERSONAGENS ESTÁTICOS E COM MOVIMENTOS 140
6.10.1 Resultados da ANOVA 140
6.10.2 Resultados do Teste Post-Hoc de Tukey 140
6.10.3 Gráfico BoxPlot 140
6.11 EXPERIMENTO 8 - ANÁLISE DA SIMPATIA DOS PERSONAGENS ESTÁTICOS E COM MOVIMENTOS 142
6.11.1 Resultados da ANOVA 142
6.11.2 Resultados do Teste Post-Hoc de Tukey 142
6.11.3 Gráficos das Médias com Intervalos de Confiança 143
6.12 EXPERIMENTO 9 - ANÁLISE DA SEMELHANÇA DOS PERSONAGENS ESTÁTICOS E COM MOVIMENTOS 143
6.12.1 Resultados da ANOVA 143
6.12.2 Resultados do Teste Post-Hoc de Tukey 144
6.12.3 Gráficos BoxPlots 145
6.13 EXPERIMENTO 10 - ANÁLISE DA PRESENÇA E NATURALIDADE DOS MOVIMENTOS 145
6.13.1 Resultados da ANOVA 146
6.13.2 Resultados do Teste Post-Hoc de Tukey 147
6.13.3 Gráficos BoxPlots 147
6.14 ANÁLISE DAS MÉDIAS ARITIMÉTICAS DA PERCEPÇÃO DE SEMELHANÇA DOS PERSONAGENS 148
6.15 CONSIDERAÇÕES FINAIS 151

7 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS 156
7.1 TRABALHOS FUTUROS 157

REFERÊNCIAS 159

A APÊNDICES 165
A.1 INTERFACE PARA COLETA DAS RESPOSTAS DAS QUESTÕES DAS CENAS APRESENTADAS 165
A.2 INTERFACE PARA COLETA DAS RESPOSTAS INFORMATIVAS SOBRE O PARTICIPANTE 169

B TERMO E CONSENTIMENTO PARA PARTICIPAÇÃO EM PESQUISA 174

C ANÁLISE DA PERCEPÇÃO DE SEMELHANÇA E A ESTRANHEZA DOS PERSONAGENS ESTÁTICOS 176

C.1 RESULTADOS DA ANOVA 176

C.2 RESULTADOS DO TESTE *POST-HOC* DE TUKEY 177

C.3 GRÁFICOS BOXPLOTS 178

C.4 GRÁFICOS DAS MÉDIAS COM INTERVALOS DE CONFIANÇA . 179

C.5 GRÁFICO DE DISPERSÃO E REGRESSÃO 180

C.6 CONCLUSÕES DO EXPERIMENTO 181

D ANÁLISE DA PERCEPÇÃO DE SIMPATIA E A ESTRANHEZA DOS PERSONAGENS ESTÁTICOS 183

D.1 RESULTADOS DA ANOVA 183

D.2 RESULTADOS DO TESTE *POST-HOC* DE TUKEY 184

D.3 GRÁFICOS BOXPLOTS 184

D.4 GRÁFICOS DAS MÉDIAS COM INTERVALOS DE CONFIANÇA . 186

D.5 GRÁFICO DE DISPERSÃO E REGRESSÃO 187

D.6 CONCLUSÕES DO EXPERIMENTO 188

E ANÁLISE DA NATURALIDADE DOS MOVIMENTOS OCULARES DOS PERSONAGENS 190

E.1 RESULTADOS DA ANOVA 190

E.2 RESULTADOS DO TESTE *POST-HOC* DE TUKEY 190

E.3 GRÁFICO BOXPLOT 191

E.4 GRÁFICOS DAS MÉDIAS COM INTERVALOS DE CONFIANÇA . 192

E.5 GRÁFICO DAS MÉDIAS SIMPLES DOS MOVIMENTOS OCULARES DOS PERSONAGENS POR DISPOSITIVOS 193

E.6 CONCLUSÕES DO EXPERIMENTO 194

F ANÁLISE DA NATURALIDADE DOS MOVIMENTOS LABIAIS DOS PERSONAGENS 196

F.1 RESULTADOS DA ANOVA 196

F.2 RESULTADOS DO TESTE *POST-HOC* DE TUKEY 197

F.3 GRÁFICO BOXPLOT 197

F.4 GRÁFICOS DAS MÉDIAS COM INTERVALOS DE CONFIANÇA . 198
F.5 GRÁFICO DAS MÉDIAS SIMPLES DOS MOVIMENTOS LABIAIS DOS PERSONAGENS POR DISPOSITIVOS 199
F.6 CONCLUSÕES DO EXPERIMENTO 200

G ANÁLISE DA NATURALIDADE DOS MOVIMENTOS CORPORAIS DOS PERSONAGENS 202
G.1 RESULTADOS DA ANOVA 202
G.2 RESULTADOS DO TESTE *POST-HOC* DE TUKEY 203
G.3 GRÁFICO BOXPLOT 203
G.4 GRÁFICOS DAS MÉDIAS COM INTERVALOS DE CONFIANÇA . 204
G.5 GRÁFICO DAS MÉDIAS SIMPLES DOS MOVIMENTOS CORPORAIS DOS PERSONAGENS POR DISPOSITIVOS 205
G.6 CONCLUSÕES DO EXPERIMENTO 206

H ANÁLISE DA NATURALIDADE DOS PERSONAGENS COM TODOS OS MOVIMENTOS COMBINADOS 207
H.1 RESULTADOS DA ANOVA 207
H.2 RESULTADOS DO TESTE *POST-HOC* DE TUKEY 208
H.3 GRÁFICO BOXPLOT 208
H.4 GRÁFICOS DAS MÉDIAS COM INTERVALOS DE CONFIANÇA . 209
H.5 GRÁFICO DAS MÉDIAS SIMPLES DA AVALIAÇÃO DOS PERSONAGENS COM TODOS OS MOVIMENTOS POR DISPOSITIVOS . 210
H.6 CONCLUSÕES DO EXPERIMENTO 211

I ANÁLISE DA ESTRANHEZA DOS PERSONAGENS ESTÁTICOS E COM MOVIMENTOS 213
I.1 RESULTADOS DA ANOVA 213
I.2 RESULTADOS DO TESTE *POST-HOC* DE TUKEY 214
I.3 GRÁFICOS BOXPLOTS 215
I.4 GRÁFICOS DAS MÉDIAS COM INTERVALOS DE CONFIANÇA . 217
I.5 GRÁFICO DE DISPERSÃO E REGRESSÃO 218
I.6 CONCLUSÕES DO EXPERIMENTO 219

J ANÁLISE DA SIMPATIA DOS PERSONAGENS ESTÁTICOS E COM MOVIMENTOS 221

J.1 RESULTADOS DA ANOVA 221
J.2 RESULTADOS DO TESTE *POST-HOC* DE TUKEY 222
J.3 GRÁFICOS BOXPLOTS 223
J.4 GRÁFICOS DAS MÉDIAS COM INTERVALOS DE CONFIANÇA . 225
J.5 GRÁFICO DE DISPERSÃO E REGRESSÃO 226
J.6 CONCLUSÕES DO EXPERIMENTO 227

K ANÁLISE DA SEMELHANÇA DOS PERSONAGENS ESTÁTICOS E COM MOVIMENTOS 229
K.1 RESULTADOS DA ANOVA 229
K.2 RESULTADOS DO TESTE *POST-HOC* DE TUKEY 230
K.3 GRÁFICOS BOXPLOTS 232
K.4 GRÁFICOS DAS MÉDIAS COM INTERVALOS DE CONFIANÇA . 233
K.5 GRÁFICO DE DISPERSÃO E REGRESSÃO 234
K.6 ANÁLISE DESCRITIVA DAS MÉDIAS 235
K.7 CONCLUSÕES DO EXPERIMENTO 238

L ANÁLISE DA PRESENÇA E NATURALIDADE DOS MOVIMENTOS 240
L.1 RESULTADOS DA ANOVA 240
L.2 RESULTADOS DO TESTE *POST-HOC* DE TUKEY 241
L.3 GRÁFICOS BOXPLOTS 242
L.4 GRÁFICOS DAS MÉDIAS COM INTERVALOS DE CONFIANÇA . 243
L.5 GRÁFICO DE DISPERSÃO E REGRESSÃO 244
L.6 CONCLUSÕES DO EXPERIMENTO 245

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E MOTIVAÇÃO

Nos últimos anos, o conceito de metaverso ganhou um destaque significativo tanto na academia quanto na indústria, impulsionado por grandes avanços tecnológicos e pelo interesse de empresas em criar universos digitais imersivos.

O metaverso, uma plataforma virtual compartilhada que permite interações sociais, econômicas e culturais, tornou-se uma promessa de uma nova era digital. Ele é apresentado como uma evolução da internet, onde os usuários interagem com mundos virtuais tridimensionais e ambientes aumentados, com um nível de imersão e interação sem precedentes. Empresas como Meta (anteriormente Facebook) e Microsoft anunciaram planos ambiciosos de desenvolvimento do metaverso, apostando na convergência de tecnologias de Realidade Aumentada (RA) e Realidade Virtual (RV) como pilares para essas plataformas. A popularidade crescente de tais ambientes digitais elevou a importância dos avatares, personagens virtuais que representam os usuários nesses mundos digitais (MYSTAKIDIS, 2022).

Esses avatares, uma classificação de personagens virtuais controlados em tempo real pelo usuário, não são apenas fundamentais para a interação dentro do metaverso, mas também têm um papel crescente em outras áreas, como jogos eletrônicos, animações, e até mesmo em produções cinematográficas. A criação de avatares hiper-realistas, capazes de transmitir emoções, realizar gestos e movimentos naturais, torna-se uma tarefa crítica para fornecer experiências imersivas e convincentes (MENACHE, 2010).

Contudo, ao criar personagens virtuais com alta semelhança humana, surge o fenômeno conhecido como *Uncanny Valley* (que nesta tese, trataremos com a tradução Vale da Estranheza), uma teoria psicológica que descreve o desconforto causado por personagens que parecem quase, mas não completamente, humanos. Esses personagens realistas e hiper-realistas podem gerar uma sensação de estranheza e repulsa em observadores, particularmente quando a discrepância entre a aparência e o comportamento se torna evidente (MORI; MACDORMAN; KAGEKI, 2012).

A forma como os personagens virtuais são visualizados em dispositivos de RV RA influencia diretamente a percepção dos usuários sobre sua aparência e pode acentuar os efeitos do Vale da Estranheza. Isso ocorre porque o nível de imersão proporcionado por esses dispositivos, ao colocar os usuários no mesmo espaço virtual que os personagens, amplifica a sensação de presença e intensifica a estranheza quando os avatares não atingem

um realismo convincente. O estudo de Hepperle *et al.* (2022), por exemplo, sugere que, em ambientes de RV, os efeitos do Vale da Estranheza são mais pronunciados do que em monitores 2D, já que a interação direta e imersiva com os personagens faz com que qualquer imperfeição na representação humana seja mais notada e incômoda.

Enquanto as telas tradicionais, como monitores de computador, oferecem uma experiência mais distanciada, as tecnologias de RA e RV colocam os personagens diretamente no campo de visão dos usuários, proporcionando uma percepção mais detalhada e crítica dos detalhes faciais e corporais dos personagens virtuais.

No entanto, avaliar os efeitos do Vale da Estranheza torna-se ainda mais complexo quando são incluídos movimentos dinâmicos. Movimentos faciais, como os oculares e labiais, e movimentos corporais refinados, como andar e gesticular, são componentes que podem acentuar ou mitigar o desconforto causado pela estranheza percebida.

Embora a literatura tenha explorado amplamente a aparência estática dos personagens no contexto do Vale da Estranheza, há uma lacuna significativa na investigação de como esses movimentos dinâmicos influenciam essa percepção, especialmente em ambientes imersivos de RA e RV.

Essa lacuna motivou o presente estudo, que busca compreender os efeitos do Vale da Estranheza em personagens virtuais quando são introduzidos movimentos faciais e corporais, explorando como a forma de visualização afeta a percepção desses.

1.2 PROBLEMAS ABORDADOS

Além das questões relacionadas à criação de personagens, a forma como eles são visualizados também impacta diretamente a percepção do Vale da Estranheza. Dispositivos como capacetes de RV e RA têm se mostrado especialmente eficazes em criar experiências imersivas, aproximando os usuários de seus avatares e personagens. No entanto, essa proximidade também pode amplificar a percepção de falhas nos personagens hiper-realistas, aumentando o desconforto causado pela estranheza de seus movimentos e aparência (LUGRIN; LATT; LATOSCHIK, 2015).

Movimentos faciais e corporais refinados, como oculares e labiais, ou gestos como caminhar e gesticular, tornam o desafio ainda mais complexo, pois movimentos artificiais podem interromper a imersão e intensificar os efeitos do Vale da Estranheza (JIANG *et al.*, 2022). A maioria dos estudos sobre o Vale da Estranheza, levantados na literatura, utiliza imagens estáticas retiradas de repositórios da internet, ou personagens 3D cartunescos, como os disponíveis na plataforma Adobe Mixamo, voltados principalmente para jogos

(ADOBE, 2023). Além disso, muitos trabalhos empregam esses personagens em ambientes de RV de forma estática (SLATER *et al.*, 2006), enquanto poucos estudos focam em personagens com movimentos dinâmicos em RA. Entre os poucos que consideram a RA, avaliam apenas movimentos simples, como andar, sem explorar movimentos faciais mais complexos, como sincronismo labial ou interações oculares. Assim, esta tese foca nos seguintes problemas principais: a escassez de estudos sobre personagens 3D realistas, a ênfase em imagens estáticas e a ausência de avaliação de movimentos dinâmicos em RA, no contexto do fenômeno do Vale da Estranheza.

1.3 JUSTIFICATIVA

A percepção do Vale da Estranheza refere-se à sensação de desconforto que surge quando personagens humanoides se aproximam do realismo humano, mas ainda possuem imperfeições perceptíveis. Embora amplamente estudado em contextos de monitores 2D e RV, os efeitos desse fenômeno em RA são menos explorados.

Com o uso crescente de *Head-Mounted Displays* (HMDs) - Tela montada na cabeça - tanto para RV (HMD-RV) quanto para RA (HMD-RA), é crucial entender como esses diferentes tipos de *displays* influenciam a percepção de personagens 3D e como o Vale da Estranheza se manifesta nesses ambientes.

A imersão proporcionada pelos HMDs-RV coloca os usuários em ambientes totalmente virtuais, enquanto os HMDs-RA projetam personagens no mundo real, criando uma sobreposição entre o virtual e o físico que pode amplificar a percepção de estranheza.

Adicionalmente, os personagens humanoides em movimento, especialmente com expressões faciais (movimentos oculares e labiais), tendem a aumentar a percepção de desconforto, sobretudo quando visualizados em diferentes tipos de *displays*.

Portanto, este trabalho busca preencher essa lacuna existente, investigando como os personagens humanoides 3D são percebidos em monitores 2D, HMDs-RV e HMDs-RA, e como os movimentos desses personagens intensificam ou atenuam os efeitos do Vale da Estranheza.

1.4 QUESTÕES DE PESQUISA

Diante do exposto nas seções anteriores, foram elaboradas as seguintes questões de pesquisa para esta tese:

Q1 - Como os diferentes tipos de dispositivos de visualização (monito-

res, HMDs-RV e HMDs-RA) afetam a percepção de semelhança, estranheza e simpatia em personagens humanoides 3D estáticos e em movimento?

Nesta questão, a intenção é comparar a percepção em relação a diferentes dispositivos, tanto com personagens estáticos quanto com movimento.

Q2 - Quais aspectos dos movimentos faciais (como oculares e labiais) e corporais influenciam a percepção de semelhança, estranheza e simpatia de personagens humanoides em ambientes imersivos de RV e RA?

O foco é analisar especificamente o impacto dos movimentos faciais e corporais em ambientes de alta imersão, como RV e RA.

Q3 - Em quais condições tecnológicas atuais (ex: fidelidade visual, qualidade de movimento) personagens virtuais realistas podem reduzir o efeito do Vale da Estranheza em diferentes dispositivos de visualização?

Nesta questão, o foco é investigar como a tecnologia atual (visual, animação, etc.) pode mitigar o Vale da Estranheza em diversos tipos de dispositivos.

Q4 - A percepção de presença do usuário, em ambientes de realidade virtual e aumentada, é afetada pela naturalidade dos movimentos dos personagens humanoides 3D, visualizados em diferentes dispositivos (monitores, HMDs-RV e HMDs-RA)?

Nesta questão, pretendeu-se investigar se a naturalidade dos movimentos dos personagens humanoides 3D afetam a percepção de presença do usuário, em ambientes virtuais imersivos e não imersivos, visualizados nos diferentes dispositivos.

1.5 HIPÓTESES

Cabe ressaltar que, nesta tese, para a comprovação dos resultados, foram utilizados testes estatísticos, como a ANOVA (Análise de Variância). A abordagem científica padrão exige a formulação de uma hipótese nula, que postula a ausência de diferença ou efeito significativo entre os grupos analisados. Dessa forma, para garantir o rigor metodológico, a neutralidade científica e seguir o padrão estatístico consagrado, todas as hipóteses formuladas nesta seção são apresentadas como hipóteses nulas.

Esse procedimento permitiu que os resultados fossem expostos de maneira clara

e objetiva, indicando se houve ou não evidências suficientes para rejeitar essas hipóteses. Caso a hipótese nula fosse rejeitada, isso forneceria suporte estatístico à hipótese alternativa, que então poderia ser discutida com base nas evidências empíricas obtidas.

Levando-se em consideração as Questões de Pesquisa Q1 a Q4 elaboradas para esta tese, tem-se as hipóteses que seguem.

Hipóteses associadas à Q1

H1.1 - Não há diferença significativa na percepção de semelhança dos personagens humanoides 3D estáticos entre os dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

H1.2 - Não há diferença significativa na percepção de estranheza dos personagens humanoides 3D estáticos entre os dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

H1.3 - Não há diferença significativa na percepção de simpatia dos personagens humanoides 3D estáticos entre os dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

H1.4 - Não há diferença significativa na percepção de semelhança dos personagens humanoides 3D em movimento entre os dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

H1.5 - Não há diferença significativa na percepção de estranheza dos personagens humanoides 3D em movimento entre os dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

H1.6 - Não há diferença significativa na percepção de simpatia dos personagens humanoides 3D em movimento entre os dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

Hipóteses associadas à Q2

H2.1 - Não há diferença significativa na percepção de movimentos oculares dos personagens humanoides 3D entre os dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

H2.2 - Não há diferença significativa na percepção de movimentos labiais dos personagens humanoides 3D entre os dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

H2.3 - Não há diferença significativa na percepção de movimentos corporais dos personagens humanoides 3D entre os dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor

de Computador.

H2.4 - Não há diferença significativa na percepção de movimentos combinados (oculares, labiais e corporais) dos personagens humanoides 3D entre os dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

Hipóteses associadas à Q3

H3.1 - Não há diferença significativa na percepção de semelhança entre personagens humanoides 3D estáticos e com movimentos combinados nos dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

H3.2 - Não há diferença significativa na percepção de estranheza entre personagens humanoides 3D estáticos e com movimentos combinados nos dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

H3.3 - Não há diferença significativa na percepção de simpatia entre personagens humanoides 3D estáticos e com movimentos combinados nos dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

Hipóteses associadas à Q4

H4.1 - Não há diferença significativa na percepção de presença do usuário nos ambientes virtuais e aumentados, no que diz respeito à naturalidade dos personagens humanoides 3D, entre os dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem, como objetivo principal mensurar, por meio de métricas quantitativas, como diferentes tipos de dispositivos de visualização (especificamente monitores 2D, HMDs-RV e HMDs-RA) e as características de movimento e realismo de personagens humanoides 3D influenciam a percepção de semelhança, estranheza e simpatia dos usuários, com a finalidade de identificar condições tecnológicas que minimizem os efeitos do Vale da Estranheza em ambientes imersivos e não imersivos.

1.6.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

I. Avaliar quantitativamente como os dispositivos de visualização (monitores, HMDs-RV e HMDs-RA) modulam a percepção de semelhança, estranheza e simpatia dos personagens humanoides 3D, tanto estáticos quanto em movimento.
II. Identificar, por meio de análises quantitativas, quais aspectos dos movimentos faciais (como oculares e labiais) e corporais influenciam mais a percepção de semelhança, estranheza e simpatia dos personagens humanoides em ambientes de RV e RA, aplicando análises estatísticas como ANOVA para detectar diferenças significativas.
III. Determinar, com base em métricas quantitativas, como as condições tecnológicas atuais, incluindo a fidelidade visual e a qualidade dos movimentos, afetam a percepção de semelhança, estranheza e simpatia dos personagens realistas em diferentes dispositivos de visualização.
IV. Mensurar o efeito do nível de realismo dos personagens humanoides 3D na percepção de semelhança, estranheza e simpatia dos usuários em diferentes dispositivos de visualização (monitores, HMDs-RV e HMDs-RA), aplicando métodos estatísticos para validação empírica dos resultados.

1.7 CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA

Esta tese traz contribuições ao campo da Mídia e Tecnologia, especialmente no estudo da influência do Vale da Estranheza sobre a percepção de personagens humanoides 3D em diferentes tipos de *displays*, incluindo monitores convencionais, HMDs de RV e RA.

O estudo aprofunda a análise de uma variável frequentemente negligenciada no contexto do Vale da Estranheza: o **movimento**. Ao isolar e investigar movimentos oculares, labiais e corporais, bem como sua combinação em personagens humanoides, a pesquisa oferece novas perspectivas sobre a influência do realismo dinâmico na experiência dos usuários.

Uma das contribuições da pesquisa é a comprovação de que *displays* mais imersivos, como os HMDs de RA e RV, são capazes de atenuar a percepção de estranheza, especialmente em personagens com movimentos complexos. Essa constatação sugere que o nível de imersão proporcionado por esses dispositivos desempenha um papel fundamental na aceitação dos personagens, sendo capaz de aumentar a simpatia por ele e reduzir o desconforto associado ao Vale da Estranheza.

A tese também contribui diretamente para a área de criação de mídia digital, ofe-

recendo informações para profissionais desta área que utilizam personagens ou avatares realistas, para serem capazes de melhorar a interação com o público em contextos como jogos, simulações, treinamentos e *marketing* digital. Essa contribuição se torna especialmente relevante no contexto da crescente utilização de avatares e personagens virtuais na comunicação social e em plataformas interativas, como o metaverso, onde o realismo pode aproximar o público dos conteúdos midiáticos de maneira mais eficaz e personalizada.

A tese ainda reforça a importância de se considerar o papel dos movimentos no *design* de personagens digitais, oferecendo dados que podem guiar futuras criações de avatares em diferentes formatos e plataformas, contribuindo para o avanço da mídia interativa e imersiva.

1.7.1 Escopo da Pesquisa

Este trabalho investiga a percepção do Vale da Estranheza em personagens humanoides 3D, com foco em três dimensões principais: semelhança, estranheza e simpatia. O estudo compara essas percepções em diferentes dispositivos de visualização, incluindo monitores, HMDs-RV e HMDs-RA. A pesquisa explora como esses dispositivos, que proporcionam diferentes níveis de imersão, influenciam a experiência do usuário e sua percepção dos personagens humanoides, tanto estáticos quanto em movimento.

Além disso, o trabalho aborda a influência de características dinâmicas, como movimentos faciais (olhos e lábios) e corporais, na amplificação ou atenuação da sensação de estranheza e simpatia em personagens virtuais. O estudo considera diferentes níveis de realismo em personagens humanoides e explora a viabilidade de superar o Vale da Estranheza com a tecnologia atual, especialmente em ambientes de RA.

No entanto, o escopo deste trabalho está limitado à análise de personagens humanoides, não abrangendo outras formas de representações virtuais, como animais não antropomorfizados, entidades abstratas e criaturas fantásticas não humanoides. Também não são abordadas questões técnicas relacionadas ao desenvolvimento dos dispositivos de exibição ou ao processo de criação ou modelagem dos personagens em si pelas plataformas utilizadas, concentrando-se na percepção do usuário em contextos específicos de visualização dos personagens.

1.8 ORGANIZAÇÃO DA TESE

Os demais capítulos desta tese de doutorado estão organizados da forma que segue.

No Capítulo 2 apresenta-se os fundamentos teóricos do Vale da Estranheza, os métodos de medição desse efeito e sua influência provocada na percepção de personagens virtuais.

O Capítulo 3 aborda as principais tecnologias de *displays* utilizadas em RV e RA, os diferentes tipos de *displays* e como esses dispositivos interagem com o sistema visual humano.

Em seguida, são apresentados estudos e pesquisas que tratam de temas relacionados ao objeto de estudo desta tese no Capítulo 4.

O Capítulo 5 apresenta o método proposto neste trabalho, os detalhes estruturais e de implementação dos ambientes de RV e RA usados para testar as hipóteses, bem como os materiais empregados.

No Capítulo 6 são apresentados o ambiente experimental, as ferramentas estatísticas, o tipo de amostragem, os critérios de seleção de participantes utilizados. Neste capítulo, ainda, são descritos cada um dos experimentos, seus resultados e as análises dos mesmos.

Finalmente, no Capítulo 7, tem-se as conclusões do trabalho e as perpectivas de trabalhos futuros.

2 O EFEITO DO VALE DA ESTRANHEZA E PERSONAGENS HUMANOIDES VIRTUAIS

Este capítulo explora os fundamentos teóricos do Vale da Estranheza, os métodos de medição desse efeito e sua influência provocada na percepção de personagens virtuais.

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O *Vale da Estranheza* é um fenômeno psicológico que ocorre quando humanos interagem com robôs, avatares ou personagens virtuais que são quase, mas não totalmente, semelhantes a humanos. Esse efeito foi proposto por Masahiro Mori (1970), que sugeriu que, à medida que uma entidade artificial se aproxima do realismo humano, as reações emocionais positivas aumentam até certo ponto, mas caem drasticamente quando o realismo falha em ser convincente, provocando uma sensação de estranheza ou desconforto.

Este fenômeno é particularmente relevante no desenvolvimento de personagens humanoides virtuais, especialmente em áreas como RV, RA, jogos eletrônicos, filmes de animação e, recentemente, o Metaverso.

Figura 1 – Cena do filme O Expresso Polar (2004)



Fonte: EXPRESSO... (2004)

O filme Expresso Polar (2004) enfrentou diversos problemas relacionados à animação de personagens humanos digitais, destacando-se como um exemplo clássico do Vale da Estranheza. Utilizando captura de movimento, o filme tentou criar personagens altamente realistas (Figura 1), mas as expressões faciais, especialmente os olhos, foram amplamente criticadas por parecerem "zumbis"e emocionalmente vazias.

Esse desconforto levou a debates sobre as limitações da tecnologia de CGI (Ima-

gens Geradas por Computador) da época e o problema em superar a estranheza que surge quando personagens digitais tentam replicar o realismo humano sem sucesso completo. Além disso, o filme refletiu a convergência entre cinema e videogames, criando mundos digitais vastos que, embora imersivos, não conseguiram evitar a crítica de falta de naturalidade nas interações dos personagens (ALDRED, 2011).

Os Personagens Virtuais humanoides têm evoluído ao longo das décadas, passando de modelos cartunescos simples para personagens altamente realistas, que são utilizados em diversas plataformas tecnológicas (VOSINAKIS, 2020).

Esses personagens desempenham papéis cruciais em ambientes imersivos, como em videogames e em interações de RV e RA. No entanto, o design de personagens realistas apresenta desafios significativos, especialmente devido ao fenômeno conhecido como Vale da Estranheza, que é abordado na seção seguinte.

2.2 O VALE DA ESTRANHEZA

As primeiras pesquisas sobre o *Uncanny* (estranho) datam de 1906, quando o psiquiatra Jentsch percebe que existe uma sensação de "estranheza" ao observar alguns objetos sem vida. Segundo sua pesquisa, um objeto sem vida não pode ser animado sem causar um sentimento obscuro de estranheza na consciência de quem o observa (JENTSCH, 1997).

Para tanto, Jentsch (1997) utiliza o exemplo de um viajante que está em uma floresta e tem, por algum motivo, a impressão de que o tronco de uma árvore se mexeu, sozinho. Por mais improvável que possa ser, a possibilidade de o tronco estar vivo causa uma inquietação interna em quem passa por esta experiência. Até que uma cobra, por exemplo, apareça atrás do tronco e resolva esta inquietação, o viajante estará incomodado com esta sensação de estranheza.

Outro autor que abordou o que seria a percepção de estranheza foi Freud, em 1919. Em seu livro, traduzido em 2017 par o português, em um capítulo chamado O Estranho, o autor destaca que observou bonecos de cerâmica que parecem seres humanos:

> [...] Jentsch tomou como ótimo exemplo 'dúvidas quanto a saber se um ser aparentemente animado está realmente vivo; ou do modo inverso, se um objeto sem vida não pode ser na verdade animado'; e ele refere-se, a esse caso, à impressão causada por figuras de cera, bonecos e autômatos engenhosamente construídos (FREUD, 2017, p. 142).

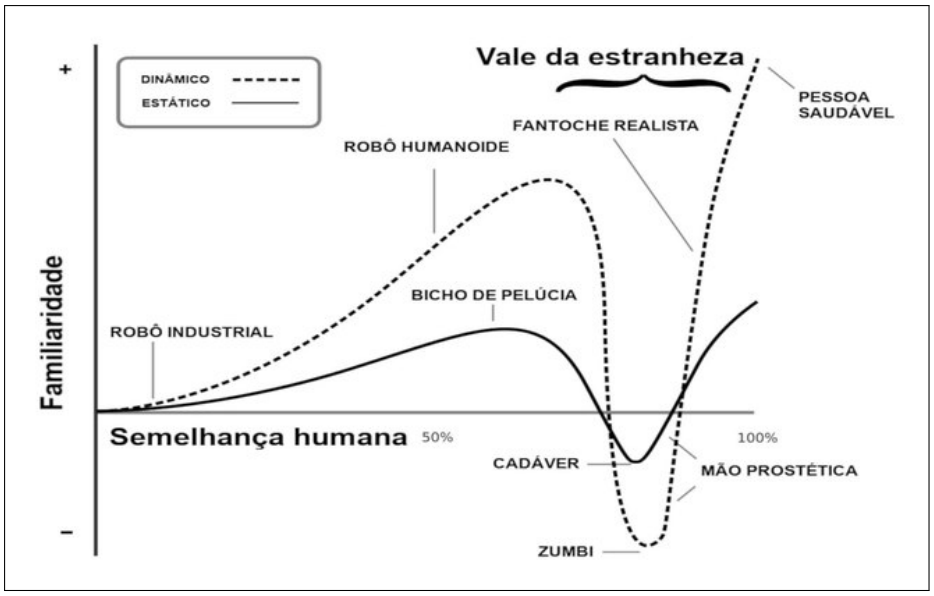
Para explicar essa ideia, Freud dá ainda o exemplo de uma leitura como do livro *O Homem de Areia*, que faz, segundo ele, com que o leitor fique preso ao texto até entender se um

dos personagens é real ou não.

Em 1970, pela primeira vez, o termo *Uncanny Valley* - Vale da Estranheza - surge no contexto das pesquisas sobre robótica, em um artigo de Masahiro Mori. Ele descreve um fenômeno estranho no ensaio *The Uncanny Valley*, quando destacou que a estranheza ocorre, por exemplo, ao observar uma prótese mecânica que se parece muito com uma mão humana (MORI, 1970).

À época, Mori (1970) propôs que robôs com aparência humana são percebidos positivamente (até certo nível de semelhança), mas quando a aparência imita o nível de detalhes, por exemplo, com textura de pele, com algumas imperfeições, acontece uma reação de repulsa; mas que desaparece quando estas imperfeições, são corrigidas, criando um vale no plano cartesiano, conforme visto na Figura 2.

Figura 2 – O Vale da Estranheza



Fonte: Adaptado de Mori (1970)

Este gráfico tem, no eixo Y, o nível de afinidade (também traduzido do japonês como familiaridade ou afinidade) e, em seu eixo X, o nível de similaridade humana. O objetivo do gráfico é ilustrar a hipótese do autor sobre a 'presença de um U' quando o nível de similaridade com um humano real se aproxima de 75% e cai bruscamente na afinidade; mas ao continuar melhorando esta similaridade e, quanto mais ela se aproxima dos 100%, acontece o efeito inverso, fazendo com que a afinidade cresça rapidamente.

Mori, MacDorman e Kageki (2012) descrevem a reação emocional humana frente a robôs ou personagens com aparência quase humana. Na tradução do termo japonês

"*Bukimi no Tani Genshō*" para o inglês, alguns dos principais conceitos discutidos são *eeriness* (estranheza), *likeability* (simpatia), *familiarity* (familiaridade), e *affinity* (afinidade).

- Estranheza (*Eeriness*): O termo "*bukimi*" é traduzido como *eeriness*, implicando uma sensação de desconforto ou inquietação. Este conceito refere-se à resposta negativa que as pessoas tendem a ter ao se depararem com uma figura humanoide que, apesar de se assemelhar a um ser humano, apresenta traços ligeiramente distintos, criando uma sensação de desconforto. Na literatura, é um termo frequentemente associado ao Vale da Estranheza, pois descreve a repulsa ou o desconforto que surgem à medida que o grau de humanização aumenta até certo ponto.
- Simpatia (*Likeability*): Mori utiliza o termo "*shinwa-kan*", que pode ser traduzido como *likeability* ou simpatia. Em inglês, *likeability* reflete o quanto os seres humanos se sentem atraídos ou propensos a gostar de uma entidade humanoide. No contexto do Vale da Estranheza, esse termo é utilizado para medir o grau de aceitação emocional que o público desenvolve em relação a essas figuras, onde a simpatia aumenta até certo ponto antes de cair drasticamente quando a estranheza prevalece.
- Familiaridade (*Familiarity*): A familiaridade é outro conceito-chave que surge das traduções. Mori usa "*shitashimi*" para descrever o quanto uma entidade se aproxima da aparência humana de maneira que nos parece reconhecível ou familiar. Estudos posteriores exploram este termo para avaliar o quanto as pessoas se sentem "em casa"ou confortáveis com uma figura humanoide. A familiaridade aumenta com o realismo, mas, similarmente à simpatia, diminui ao atingir o ponto de estranheza.
- Afinidade (*Affinity*): Embora menos comum que os outros termos, *affinity* é usado em traduções para descrever uma atração emocional ou simpatia, semelhante a *likeability*. No entanto, *affinity* pode ser mais específico ao descrever a sensação de proximidade ou apego, independentemente de gostos pessoais.

Kätsyri *et al.* (2015) apresentam os Quadros 1 e 2 que foram criados para ajudar a esclarecer esses conceitos, destacando a semelhança humana e os termos mais comumente usados para descrever afinidade. No Quadro 1, a coluna Nível (SH) indica nível de semelhança humana, variando de N1 a N4, e onde Nm é o nível mórbido (cadáver e zumbi por exemplo).

O Quadro 1 mostra que, além da semelhança com humanos, fatores como aparência (brinquedos) ou morbidade (zumbis) afetam a resposta emocional e afinidade.

O Quadro 2 define os principais termos utilizados para descrever o conceito de afinidade e suas nuances emocionais e de familiaridade, refletindo como esses aspectos

Quadro 1 – Pontos focais da dimensão da semelhança humana na curva do Vale da Estranheza

Nível (SH)	**Exemplos Metafóricos**	**Aparência com Humanos**	**Fatores Extrínsecos**	**Afinidade**
N1	Robô industrial	Claramente artificial	–	Neutro
N2	Bicho de pelúcia, robô de brinquedo	Parcialmente humano	Aparência	Positiva
N3	Mão protética	Quase humano	–	Negativa
Nm	Cadáver, zumbi	Quase humano	Morbidade	Negativa
N4	Humano saudável	Completamente humano	–	Muito positiva

Fonte: Adaptado de Kätsyri *et al.* (2015)

Quadro 2 – Definições dos termos comuns usados para descrever afinidade

Termo em inglês	**Definição**
Eeriness	Qualidade de ser estranho e misterioso, causando arrepios.
Likability	Facilidade em gostar de algo, trazendo uma percepção favorável.
Familiarity	Estado de estar bem-acostumado ou conhecer algo profundamente.
Affinity	Sentimento de proximidade e entendimento com outra pessoa ou objeto, devido a qualidades ou ideias semelhantes.

Fonte: Adaptado de Kätsyri *et al.* (2015)

influenciam a interação humana com figuras quase-humanas. Estes termos foram encontrados em, praticamente, todos os trabalhos que abordam o Vale da Estranheza, como (BARTNECK *et al.*, 2009), (HO; MACDORMAN, 2010), (HEPPERLE *et al.*, 2022), (GORLINI; DIXEN; BURELLI, 2023), dentre outros.

Observando ainda o gráfico da Figura 2, nota-se que existem duas linhas para serem analisadas: uma contínua e outra tracejada. A linha contínua mostra os resultados frente a estímulos estáticos, enquanto a linha tracejada exibe a reação frente a estímulos em movimento. Por esta linha tracejada, percebe-se uma amplitude maior em seus valores máximos e mínimos.

Para explicar o crescimento inicial de ambas as curvas, pode-se recorrer a duas teorias fundamentadas pela psicologia: antropomorfia e a empatia.

A antropomorfia é uma personificação, ver o humano em formas ou eventos não

humanos, segundo Aggarwal e McGill (2007), seria a tendência de atribuir significados humanos em objetos sem vida. Para os autores, a hipótese de que a antropomorfização de um estímulo afeta a avaliação de um objeto é interessante para o estudo de marketing, área em que atuam, pois:

> [...] quando os profissionais de marketing encorajam os consumidores a antropomorfizar um produto, os consumidores trazem à mente seu esquema para o tipo de pessoa sugerida e que o produto é avaliado em parte por quão bem suas características se ajustam a esse esquema (AGGARWAL; MCGILL, 2007).

Aggarwal e McGill (2007) realizaram, dentre seus experimentos, um teste de antropomorfização utilizando dois veículos, um Lexus e um Thunderbird, onde ambos foram mostrados com uma grade frontal em forma de sorriso e agressivo. No caso do Lexus, a foto era acompanhada de uma mensagem em de forma humanizada, como se o veículo conversasse com o consumidor, e no caso do Thunderbird a mensagem foi apresentada na forma do marketing tradicional, tratando-o como um produto comum, um mero objeto.

É consenso entre os autores que a antropomorfização ocorre independentemente da preferência por carros com face agressiva ou sorrindo. Segundo Aggarwal e McGill (2007), estes estímulos podem ser utilizados para manipular a preferência de alguns consumidores.

Além da antropomorfia, os seres humanos também são capazes de sentir empatia. Esta empatia acontece não só por outros animais, mas se for contextualizada e com informações suficientes, é possível ter empatia até mesmo por objetos sem vida, como personagens virtuais (SLATER *et al.*, 2006).

Ainda segundo Slater *et al.* (2006), a relação entre a estranheza e a empatia estaria no fato de que é possível ter reações em frente a um personagem que não existe na vida real. Em seus experimentos, para demonstrar que é possível ter empatia por personagens virtuais, os autores reproduziram os experimentos de choque realizados por Stanley Milgram que, na época de sua realização, utilizava atores treinados. Estes atores foram substituídos por um personagem virtual, visualizado com óculos de realidade virtual para maior imersão.

Os resultados - possíveis de serem vistos em alguns vídeos disponibilizados em Slater *et al.* (2006) - mostram que os participantes, ao ver e ouvir os personagens virtuais, tiveram respostas subjetivas, comportamentais e fisiológicas como se estivessem vendo pessoas reais recebendo os choques aplicados por eles em caso de respostas erradas.

Além das características físicas, algumas variáveis ambientais também podem influenciar respostas emocionais a estímulos. Stein e Ohler (2017) publicaram um estudo

mostrando como a contextualização da informação dentro de um ambiente virtual pode acentuar o fenômeno da estranheza.

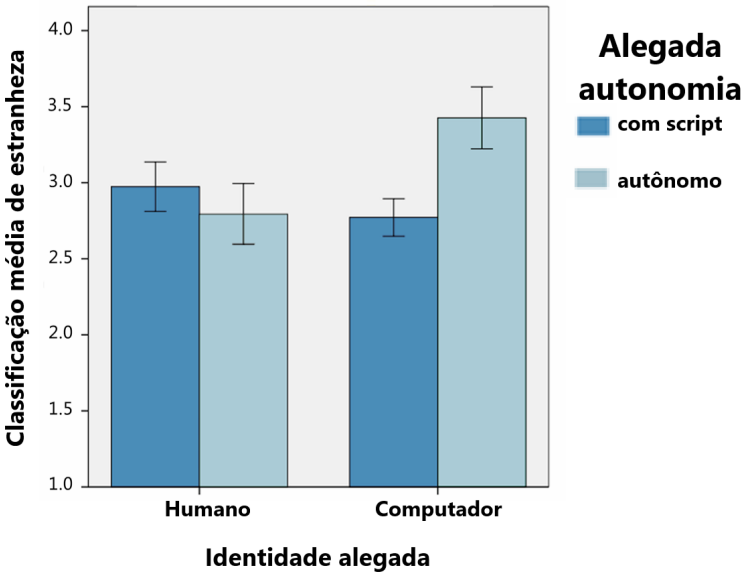
Os participantes do experimento foram expostos a um ambiente de chat em realidade virtual, onde dois personagens conversam sobre alguns assuntos aleatórios, como a temperatura do dia. Um dos personagens é o participante e, o outro, pode ser outro humano ou um agente inteligente. Algumas informações dos diálogos foram manipuladas para analisar a reação dos participantes.

Segundo Stein e Ohler (2017), as hipóteses principais eram analisar se agentes inteligentes, que apresentem emoções e cognição social são mais estranhos do que agentes que utilizam um *script* pré-determinado; e se um avatar de um humano, que siga rigorosamente o *script* de um diálogo pré-determinado pode causar mais estranheza do que um agente autônomo agindo por si só.

Uma vez que os diálogos foram manipulados para que influenciassem na percepção dos estados motivacionais internos e empatia pela opinião do outro, os resultados sugerem que a estranheza ocorre não somente pela aparência dos estímulos, mas por conta das habilidades sociais e emocionais.

Os resultados dos estudos podem ser vistos na Figura 3, um gráfico com a classificação média da estranheza.

Figura 3 – Classificação média de estranheza



Fonte: Adaptado de Stein e Ohler (2017)

De acordo com Stein e Ohler (2017), a condição em que um agente inteligente

estava tendo uma conversa autônoma com base em parâmetros aleatórios, não controlado por nenhum ser humano, foi a condição com maior índice de estranheza.

Os ambientes virtuais imersivos oferecem uma experiência interativa na qual o usuário, através de personagens ou representações corporais virtuais, realiza ações e interage com o ambiente (SLATER; SANCHEZ-VIVES, 2016). Nesse cenário, o Vale da Estranheza pode ser amplificado, especialmente quando os personagens são projetados para parecerem muito realistas, mas apresentam pequenas imperfeições que geram uma sensação de desconforto ou estranheza (MORI; MACDORMAN; KAGEKI, 2012).

Esse fenômeno ocorre quando a semelhança do personagem com o ser humano atinge um nível elevado, mas não suficientemente perfeito para evitar a percepção de algo "errado"na aparência ou nos movimentos do avatar (KäTSYRI *et al.*, 2015).

No contexto de ambientes virtuais imersivos, a integração visual e motora entre o corpo físico do usuário e o personagem virtual desempenha um papel crucial na indução da ilusão de posse do corpo virtual (LUGRIN; LATT; LATOSCHIK, 2015).

A pesquisa de Lugrin, Latt e Latoschik (2015) explora como diferentes graus de antropomorfismo em avatares influenciam essa ilusão de posse. Curiosamente, mesmo avatares com aparência não humana, como robôs ou figuras abstratas, foram capazes de induzir uma forte ilusão de posse do corpo virtual, o que sugere que a aparência humanoide não é necessariamente um pré-requisito para a imersão.

No entanto, a presença do Vale da Estranheza é um fator importante nos ambientes virtuais imersivos. Quando os personagens humanos se aproximam demais da semelhança realista, mas apresentam falhas sutis na aparência ou nos movimentos, o desconforto relatado pelos participantes aumenta, indicando que o Vale da Estranheza pode surgir mesmo em configurações de primeira pessoa em ambientes imersivos.

Isso demonstra que, em ambientes virtuais imersivos, o efeito do Vale da Estranheza pode ser intensificado, uma vez que a interação direta e a percepção de um personagem que imita o corpo do usuário podem quebrar a ilusão de posse do corpo, especialmente se a semelhança humana não for suficientemente convincente.

Assim, ao projetar personagens para ambientes imersivos, é necessário encontrar um equilíbrio cuidadoso entre a semelhança humana e a fluidez dos movimentos e interações. Personagens hiper-realistas podem gerar mais estranheza, enquanto personagens menos detalhados, mas com movimentos naturais, podem proporcionar uma experiência mais confortável e imersiva.

Em termos de métricas, são encontradas alguns métodos para medir os índices do efeito do Vale da Estranheza, como o Índice de Bartneck *et al.* (2009) conhecido

como *Godspeed*. O método abrange várias dimensões (como antropomorfismo, simpatia, inteligência percebida), porém ele fornece um menor foco na estranheza e superficialidade nas reações emocionais.

Outro método é proposto por Ho e MacDorman (2017), uma melhoria proposta no método Ho e MacDorman (2010), onde ambos tem como base o Godspeed. Esse método refina a separação entre aceitação e estranheza e possui uma validação ampliada, porém sua aplicação é mais complexa, pois requer mais dados para validar diferentes contextos.

Nesta tese utilizou-se da escala Likert, como descrito em Agresti e Finlay (2021), que associa, com uso de questionários para obtenção dos dados, uma quantidade numérica à percepção subjetiva do usuário a cada situação. Desta forma optou-se por utilizar métodos estatísticos, como ANOVA (MONTGOMERY, 2013), teste *post-hoc* de Tukey (RABE-HESKETH; EVERITT, 2007), dentre outros.

2.3 PERSONAGENS VIRTUAIS

Um *personagem virtual* é um personagem representado em forma de imagem bidimensional (2D) ou objeto tridimensional (3D), que pode ou não possuir forma humanoide. Eles são usados principalmente em produções midiáticas, jogos, tutoriais e narrativas virtuais, e também podem servir como guias digitais, exibindo informações em locais digitais. Esses personagens são frequentemente animados e possuem "personalidades programadas para proporcionar uma experiência única e envolvente ao usuário que, com ele, venha a interagir"(VOSINAKIS, 2020).

Existem numerosos termos para descrever os tipos de personagens virtuais que, frequentemente, são utilizados de forma equivocada ou causam confusão no entendimento de quem não é familiarizado com esta área. No Quadro 3 pode-se observar os termos mais populares que categorizam os personagens virtuais.

Cada um destes tipos de personagens virtuais possuem aplicações bem claras e definidas no contexto em que estão inseridos. Por exemplo, nos filmes de curta ou longa duração tem-se os atores virtuais, que executam animações geradas previamente, dentro do *script* da produção. Mas em jogos, o roteiro nem sempre é bem definido, sofrendo ações e interações do jogador diretamente, que mudam o contexto ou a história em si.

Segundo Viana *et al.* (2020), nos jogos exitem geralmente dois tipos de personagens virtuais: o avatar (também chamado de personagem jogável) e o personagem não-jogável. O avatar geralmente é um protagonista, que transforma o mundo a sua volta. Ele é controlado pelo jogador em tempo real, sendo sua representação no mundo

Quadro 3 – Termos populares utilizados para descrever personagens virtuais

Termo	**Significado**
avatar	quando as ações do personagem são controladas diretamente pelo usuário
humano virtual	personagem com aparência e movimentos humanoides realistas
ator virtual	personagem que executa sequências de ações predefinidas (*scripts*)
agente virtual	personagem que decide sobre suas ações
agente de conversação encorporado	personagem que se envolve em diálogos com o usuário
personagem não-jogável	personagem controlado pelo computador nos jogos
personagem virtual	personagem que parece e age como uma criatura real ou imaginária

Fonte: Adaptado de Vosinakis (2020).

virtual em que está inserido e obedecendo a seus comandos capturados pelos dispositivos de entrada do equipamento, como *joysticks*, teclados, *mouse*, telas sensíveis ao toque, dentre outros.

Já os personagens não-jogáveis são personagens "controlados pela máquina", que podem ser os oponentes do personagem jogável ou os coadjuvantes da história, ajudando o jogador durante a jornada. Eles podem agir independentemente do jogador ou em repostas às suas ações (VIANA *et al.*, 2020).

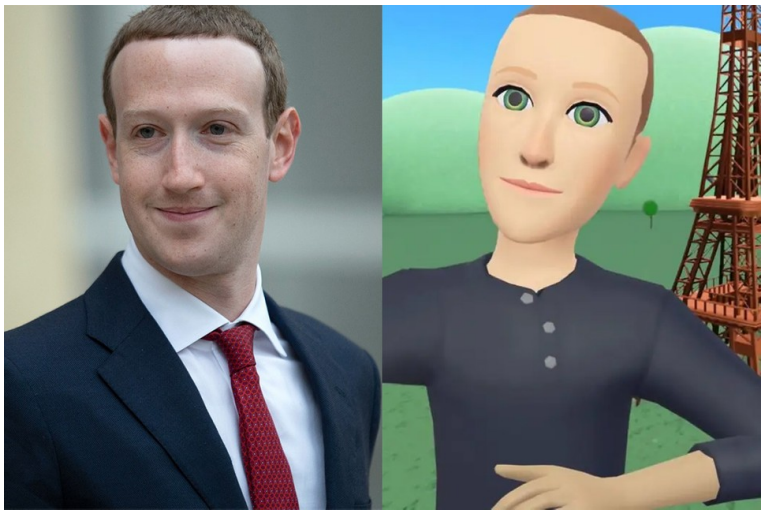
O termo avatar pode, às vezes, gerar alguma confusão, isto porque é utilizado também junto com o termo metaverso, e neste conceito de metaverso, um avatar - visto na Figura 4 em (b) - é a identidade *on-line*, uma representação digital incorporada do usuário real - Figura 4 (a) - nestes mundos virtuais (MYSTAKIDIS, 2022).

Ainda, segundo Mystakidis (2022), "os avatares permitem um senso superior de identidade, pois os participantes controlam diretamente seus avatares". O autor ainda destaca que as características dos avatares podem ser personalizadas meticulosamente para refletir a liberdade de auto-expressão dos usuários, onde eles podem aparecer em forma humana ou completamente fantástica.

Sendo qualquer um dos tipos de personagens virtuais utilizado, sua aparência, quando necessita de formas e traços humanos, deve ser verificada com atenção. Jiang *et al.* (2022) salientam que os olhos e as características corporais físicas da aparência e movimentos de personagens de CGI são fatores de grande importância no momento da criação dos personagens.

Figura 4 – Mark Zuckerberg e seu avatar no Meta Horizon Worlds
(a) foto real; (b) avatar no Meta Horizon Worlds.

(a) (b)



Fonte: Hypebeast (2023)

A criação de um personagem virtual envolve uma série de etapas complexas, que vão desde a modelagem tridimensional e texturização até a animação e, em muitos casos, a captura de movimento. A escolha da forma, da aparência e dos movimentos do personagem virtual depende do contexto em que ele será utilizado, seja em jogos, produções cinematográficas, tutoriais ou ambientes interativos como o metaverso.

A tecnologia de captura de movimento (*motion capture*) é amplamente utilizada para garantir maior realismo aos movimentos dos personagens, capturando dados diretamente de atores humanos para replicar de forma precisa a movimentação no ambiente virtual (MENACHE, 2010). Esses processos são essenciais para garantir que os personagens virtuais tenham uma aparência e um comportamento que correspondam às expectativas dos usuários.

No entanto, ao buscar criar personagens cada vez mais realistas, é necessário considerar o fenômeno conhecido como Vale da Estranheza, como visto na Seção 2.2. Elementos como a expressão facial, o movimento dos olhos e a sincronização labial são especialmente críticos na criação de personagens que visam uma semelhança humana, sendo fatores que podem impactar significativamente a resposta emocional do usuário (JIANG *et al.*, 2022).

Assim, ao criar personagens com traços humanos, é fundamental que os designers considerem cuidadosamente esses aspectos, buscando um equilíbrio entre o realismo e a aceitação emocional do público. O Vale da Estranheza pode ser mitigado ao ajustar cui-

dadosamente os traços e as animações dos personagens virtuais, utilizando técnicas que priorizam a naturalidade dos movimentos e a sutileza nas expressões faciais (MACDORMAN; ISHIGURO, 2005).

Essas técnicas incluem, atualmente, o uso de ferramentas de inteligência artificial para aprimorar a responsividade dos personagens em interações em tempo real, tornando suas reações mais críveis e menos previsíveis. Portanto, ao desenvolver personagens para ambientes virtuais, deve-se ter em mente que o objetivo final não é apenas alcançar o realismo técnico, mas garantir que a interação do usuário com o personagem seja envolvente e confortável, sem provocar a sensação de estranheza.

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, foram abordados o conceito do Vale da Estranheza e suas implicações no desenvolvimento de personagens humanoides virtuais, bem como a criação e categorização de diferentes tipos de personagens virtuais. A análise incluiu as principais classificações, como avatares, humanos virtuais e agentes virtuais, além de explorar o impacto desses personagens em interações imersivas, especialmente em jogos, produções midiáticas e o metaverso.

A partir dessa discussão, ficou evidente que, ao se aproximar de uma maior semelhança com humanos, os personagens virtuais podem gerar uma sensação de desconforto nos usuários, reforçando a importância de estratégias de design que equilibrem realismo visual e naturalidade de comportamento.

Também foi enfatizado o uso de técnicas avançadas, como a captura de movimento (*motion capture*), para garantir a precisão nos movimentos e expressões dos personagens, bem como o papel crucial da inteligência artificial para tornar as interações mais dinâmicas e realistas. Além disso, discutiu-se a importância de evitar o Vale da Estranheza ao ajustar cuidadosamente as características físicas e comportamentais dos personagens, a fim de garantir que a experiência do usuário seja envolvente e imersiva, sem provocar desconforto.

A seção dos personagens virtuais acrescentou uma camada importante à discussão, destacando como esses personagens são aplicados em diferentes contextos, desde jogos a guias digitais e o metaverso. As tecnologias envolvidas na criação desses personagens, bem como suas interações com o público, são elementos fundamentais para o sucesso de qualquer aplicação virtual. Assim, a criação desses personagens envolve tanto aspectos técnicos quanto psicológicos, que precisam ser equilibrados para proporcionar uma

experiência satisfatória.

Fica evidente que a criação de personagens realistas em ambientes virtuais imersivos exige uma abordagem refinada de *design*, que leve em conta tanto o realismo técnico quanto a aceitação emocional do público. No próximo capítulo, serão exploradas as tecnologias de *displays* para ambientes de realidade virtual e aumentada, proporcionando uma base para a compreensão das implicações dessas tecnologias na interação com personagens e ambientes virtuais.

3 TECNOLOGIAS DE *DISPLAYS* PARA REALIDADE VIRTUAL E REALIDADE AUMENTADA

Neste capítulo são apresentadas as principais tecnologias de *displays* utilizadas em RV e RA. São discutidos os diferentes tipos de *displays*, como HMDs para RV e RA e como esses dispositivos interagem com o sistema visual humano. A análise inclui as principais abordagens de apresentação em HMDs de RA, que influenciam a forma como o conteúdo digital é integrado ao ambiente real, gerando diferentes experiências de imersão e interação.

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Ao longo dos últimos anos, as tecnologias de visualização, como os capacetes de RV e RA, têm evoluído significativamente, permitindo novas formas de interação e imersão em ambientes virtuais. Essas inovações trouxeram novos desafios na representação de personagens virtuais, especialmente no contexto do fenômeno do Vale da Estranheza.

A complexidade da percepção humana em relação à semelhança e à naturalidade desses personagens é amplificada pelo nível de imersão proporcionado por tais dispositivos. O estudo detalhado das tecnologias de *displays* para RV e RA, bem como a compreensão de suas interações com o sistema visual humano, são fundamentais para o desenvolvimento de aplicações imersivas que ofereçam uma experiência eficiente e confortável ao usuário. Ao analisar os diferentes tipos de HMDs, suas arquiteturas ópticas e suas abordagens de integração do mundo real e virtual, como as tecnologias VST e OST, é possível identificar os principais desafios e oportunidades no campo da RV e RA.

A classificação das tecnologias de *displays* em vestíveis e não vestíveis também é relevante para entender como cada tipo de dispositivo afeta a experiência do usuário em diferentes contextos de aplicação. Ao conhecer essas classificações e compreender as diferentes soluções ópticas disponíveis, desenvolvedores e pesquisadores podem tomar decisões informadas sobre quais tecnologias são mais adequadas para atender às necessidades específicas de seus projetos, considerando aspectos como portabilidade, qualidade visual e custo-benefício.

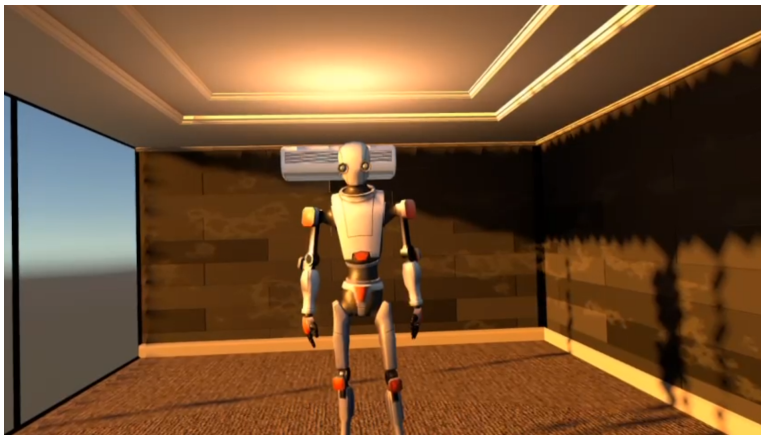
Para entender com clareza, apresenta-se uma visão geral de RV e RA e o funcionamento básico do olho humano antes de tratar dos dispositivos e suas características.

3.2 REALIDADE VIRTUAL

RV é uma tecnologia que permite criar ambientes digitais tridimensionais imersivos, onde os usuários podem interagir como se estivessem fisicamente presentes nesse espaço. Isso é feito principalmente através de dispositivos como os HMDs, que proporcionam uma experiência visual em 360 graus (BURDEA; COIFFET, 2003).

A Figura 5 apresenta um exemplo de um ambiente RV capturado da visão de um HMD Meta Quest 3.

Figura 5 – Ambiente de RV observado no Meta Quest 3



Fonte: Elaborado pelo Autor

A RV é amplamente aplicada em diversas áreas, como educação, saúde, entretenimento e treinamento profissional. Por exemplo, no campo educacional, a RV oferece novas formas de aprendizado ao permitir que os estudantes visualizem conceitos abstratos e realizem experimentos em ambientes simulados (FREINA; OTT, 2015). Em campos como a medicina, a RV é utilizada para simulações de cirurgias, treinamento de profissionais e tratamentos, como a terapia para fobias (MORO *et al.*, 2017).

No campo do treinamento, a RV oferece uma vantagem significativa ao permitir que os usuários simulem situações complexas e arriscadas sem enfrentar perigos reais, tornando-se uma ferramenta valiosa em indústrias como a aviação e a construção civil (NOGHABAEI *et al.*, 2020). A capacidade de engajar o usuário sensorialmente, proporcionando uma sensação de presença no ambiente digital, também torna a RV uma ferramenta poderosa no entretenimento, como em jogos eletrônicos e filmes (MERCHANT *et al.*, 2014).

A popularização de dispositivos como o Oculus Rift, Meta Quest 2 e 3 e o Ap-

ple Vision Pro levou a RV a um público mais amplo, facilitando o acesso e impulsionando o desenvolvimento de novas aplicações em campos como entretenimento e *marketing* (NOGHABAEI *et al.*, 2020). No âmbito da educação, a RV tem mostrado eficácia em promover uma maior retenção de conteúdo, ao engajar os usuários por meio de experiências interativas (MERCHANT *et al.*, 2014).

Conforme destacado por Moro, Stromberga e Birt (2017), a RV ainda enfrenta desafios técnicos relacionados à latência e à resolução, que afetam diretamente a experiência de presença dos usuários. Entretanto, o rápido avanço tecnológico está mitigando esses problemas, ampliando o uso da RV em diversos contextos.

A RV continua a evoluir como uma poderosa ferramenta em diversas áreas. Pesquisas recentes indicam que ela tem o potencial de transformar a interação com ambientes digitais, criando novas oportunidades em novas áreas (MERCHANT *et al.*, 2014).

Embora a RV forneça uma experiência totalmente imersiva, onde os usuários estão completamente engajados em um ambiente digital, a RA segue uma abordagem diferente, combinando elementos do mundo real com componentes virtuais.

3.3 REALIDADE AUMENTADA

Segundo Azuma *et al.* (2001), a RA "é um sistema que suplementa o mundo real com objetos virtuais gerados por computador, parecendo coexistir no mesmo espaço". Ao contrário da RV, que cria um ambiente completamente digital, a RA sobrepõe objetos digitais ao mundo físico, permitindo que o usuário interaja simultaneamente com o ambiente real e os elementos virtuais.

As principais diferenças entre RV e RA residem no nível de imersão e na forma como essas tecnologias interagem com o ambiente físico. Enquanto a RV cria um ambiente totalmente digital, onde o usuário é completamente imerso e isolado do mundo real, a RA combina elementos virtuais com o ambiente físico, permitindo que o usuário veja e interaja simultaneamente com ambos (AZUMA, 1997).

Na RV, dispositivos como os HMDs são utilizados para substituir completamente a percepção visual e auditiva do usuário, proporcionando uma experiência em um mundo simulado (BURDEA; COIFFET, 2003). Em contraste, a RA usa câmeras e sensores para detectar o ambiente físico e sobrepor objetos digitais em tempo real, sem remover o usuário do mundo físico (MILGRAM *et al.*, 1995).

A RV é ideal para aplicações que exigem imersão completa, como simulações de treinamento ou jogos, enquanto a RA é mais adequada para situações em que a combi-

nação do mundo real com informações digitais é benéfica, como na indústria, no design e no comércio (JAVORNIK, 2016).

Krevelen e Poelman (2010) realizaram um levantamento apontando as principais aplicações da RA e classificou-as em sistemas de informações pessoais, industriais e militares, médicas, entretenimento, educação e treinamento. Para Berryman (2012) os principais usos da RA se concentram nos setores de marketing, entretenimento, indústria, moda e medicina.

Para ambos autores, há um consenso que existem uma série de desafios ainda não solucionados para a construção de aplicações de RA, como por exemplo a falta de padronização, complexidade em construção das interfaces de interação, dificuldade tecnológica com os dispositivos de visualização (visão binocular estéreo, alta resolução, profundidade de cores, campo de visão, dentre outros), dificuldades na interoperabilidade de plataformas, requerendo muitas vezes desenvolvimentos individuais para cada uma, dentre outras.

Segundo Lee *et al.* (2021), o metaverso propõe a ligação do mundo físico com o mundo virtual. Sendo o mundo físico nosso mundo real, o conceito do continuum realidade-virtualidade de (MILGRAM *et al.*, 1995), como exemplificado na Figura 6. A RA é um elemento localizado próximo ao ambiente real. Da mesma forma, próximo ao ambiente virtual, encontra-se a Virtualidade Aumentada (VA). O continuum todo representa o conceito da realidade misturada (RM).

Figura 6 – Continuum Realidade - Virtualidade



Fonte: Kirner e Zorzal (2005)

No entanto, é impossível determinar quando tem-se RA ou VA. Segundo Milgram *et al.* (1995) "Dentro desta estrutura, é mais simples definir um ambiente de Realidade Misturada como aquele em que os objetos do mundo real e do mundo virtual são apresentados juntos em uma única exibição, ou seja, em qualquer lugar entre os extremos do

continuum".

Os sistemas de RA dependem muito de um conceito chamado de registro. O registro determina o alinhamento preciso dos objetos virtuais tridimensionais com o ambiente real (TAIRA; SEMENTILLE; SANCHES, 2018).

O registro é um dos problemas centrais em todas as aplicações de RA, pois ele determina se o usuário será capaz de enxergar, de maneira correta e coerente, de acordo com seu ponto de vista, os elementos virtuais como se estivessem fisicamente presentes no mundo real.

Tori, Hounsell e Kirner (2018) explicam como o registro afeta qualquer aplicação RA. Eles afirmam que o registro:

> [...] está relacionado com a capacidade do sistema de RA deve ter de identificar QUAL é o elemento virtual que deve aparecer e em QUAL posição e orientação relativa ao restante da cena (tanto a objetos reais quanto virtuais e em relação ao observador). Esta identificação deve ser biunívoca entre objeto virtual e sua assinatura na imagem da cena e, seu posicionamento deve ser preciso e robusto para que se possa posicionar o objeto virtual em uma posição estável (TORI; HOUNSELL; KIRNER, 2018, p. 54).

A Figura 7 apresenta um exemplo de uma cena onde os elementos virtuais estão combinando com os elementos reais na cena (a), parecendo coexistirem no mesmo ambiente, e outro exemplo de erro de registro, em (b), onde os elementos parecem estar em posições incomuns em relação ao ambiente real.

Figura 7 – Registro em RA

(A) registro correto (B) erro de registro



Fonte: Tori, Hounsell e Kirner (2018)

Para que o registro ocorra de forma adequada, tanto o ambiente quanto a posição e orientação do usuário devem ser determinadas (PEDDIE, 2017). O alinhamento adequado entre o mundo real e os objetos virtuais depende não apenas de uma correta de-

terminação do ambiente e da posição do usuário, mas também de como essas informações são processadas e percebidas pelo sistema visual humano.

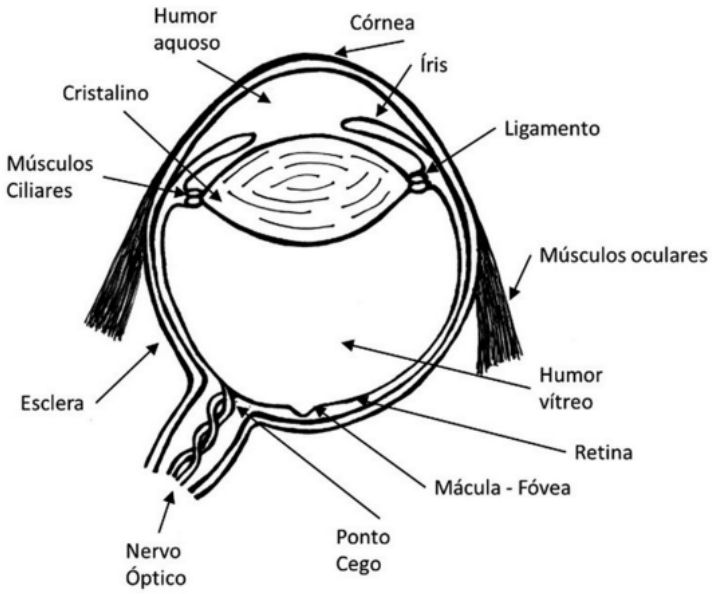
Entender os mecanismos de percepção visual é fundamental para garantir uma experiência de RA eficaz, uma vez que a forma como os usuários interpretam e interagem com os elementos virtuais depende diretamente das capacidades e limitações do seu sistema visual.

3.4 SISTEMA VISUAL HUMANO

Conforme Trierveiler e Flemming (2018), o olho humano é uma estrutura praticamente esférica, em forma de câmara, cercada por uma membrana opaca chamada esclera. A luz penetra neste globo opaco por uma abertura frontal (pupila, que se adapta à luminosidade, alterando seu diâmetro, que varia de 1 a 8 milímetros) e sofre várias refrações neste trajeto.

A Figura 8 mostra uma representação do olho humano em um corte lateral.

Figura 8 – Principais partes do olho humano



Fonte: Trierveiler e Flemming (2018)

A primeira, e mais significativa refração, acontece ao atravessar a córnea, que tem uma refração de 1,376. Em seguida, o raio de luz atravessa uma bolsa contendo um líquido chamado humor aquoso, sofrendo nova refração de 1,336.

Continuando seu caminho, a luz passará agora pelo cristalino, uma lente biconvexa, cuja refração é crescente desde 1,37 a 1,42 no sentido das bordas para o centro. Logo depois, a luz encontra outra câmara com um líquido chamado de humor aquoso, com refração de 1,336 (TRIERVEILER; FLEMMING, 2018).

Por fim, a luz chega na retina, um mosaico fotorreceptor que recobre a superfície interna do olho, que são os bastonetes e os cones. Os bastonetes são mais sensíveis às variações das intensidades luminosas, ideal para ambientes mais escuros, e possuem menor resolução espacial, estão presentes em toda a retina, sendo fundamentais para a visão periférica.

Os cones são menos sensíveis à variações de luminosidade e possuem maior resolução espacial. Ficam concentrados na região da fóvea e são responsáveis pela percepção das cores. Os estímulos na retina serão transformados em sinais elétricos, que serão enviados ao cérebro pelo nervo óptico, utilizando o sistema nervoso (BARFIELD, 2015).

Ainda segundo Barfield (2015), o olho humano possui um campo de visão (de extensão angular) de cerca de 150° na horizontal e 120° na vertical. Como a percepção visual é dada pela combinação dos estímulos em ambos olhos, o campo de visão binocular amplia-se para cerca de 200° na horizontal. Entretanto, o campo de fixação (área em que o ser humano consegue focar seu olhar direcionando a imagem para a fóvea) sem mover a cabeça é de apenas 40° na horizontal e 50° na vertical.

Para (HILL; JACOBS, 2006) as percepções de profundidade podem ser classificadas em monocular e binocular. As percepções monoculares correspondem à percepções existentes quando se olha com apenas um dos olhos. Já as percepções binoculares, quando utiliza-se os dois olhos.

A percepção de profundidade, em ambos os casos, se dá por um conjunto de pistas fisiológicas e psicológicas. Entre as pistas monoculares pode-se citar, segundo Hill e Jacobs (2006):

- **Acomodação**: Em cada vista, o cristalino é ajustado para que a imagem do objeto em mira fique focalizada, ou seja, que a imagem deste objeto fique sobre a retina, onde a imagem é sensibilizada. O ajuste do cristalino tem uma correspondência biunívoca com a distância do objeto, portanto o cérebro deduz a profundidade do objeto focado a partir do ajuste do cristalino.
- **Sombreamento**: A partir de uma sombra, o cérebro consegue estimar as posições relativas da fonte de luz, do objeto que fez a sombra e do objeto que recebeu a sombra.
- **Oclusões**: O fato da imagem de um objeto sobrepor parcialmente à imagem de

outro faz com que o cérebro deduza que o primeiro objeto está mais perto que o outro.

- **Tamanho Relativo**: Quando a imagem de um objeto parecer relativamente grande, o cérebro entende que o objeto está perto e quando a imagem do objeto parecer relativamente pequena o cérebro entende que o objeto está longe. Assim, o cérebro consegue deduzir a distância de um objeto pelo tamanho relativo da sua imagem, podendo ter como referência o tamanho de outro objeto similar na imagem ou uma lembrança deste objeto.
- **Nebulosidade**: O cérebro tem como reconhecer uma nebulosidade, dar um tratamento especial a esta nebulosidade e objetos nela mergulhados.
- **Distorção da Perspectiva**: Em perspectiva, as linhas paralelas se encontram em pontos de fuga.
- **Gradiente de Textura**: A textura na imagem varia com a distância.
- **Paralaxe de Movimento**: Quando o observador se move, o movimento aparente de objetos estáticos que estão mais distantes é menor do que daqueles que estão mais próximos.

Já as pistas de percepção binoculares, podem ser citadas ainda, segundo Hill e Jacobs (2006):

- **Vergência**: Também conhecida por disparidade angular, corresponde ao ângulo formado entre as direções dos olhos. Quanto mais paralelas forem estas direções para onde os olhos miram, maior a distância do objeto mirado.
- **Disparidade Horizontal (Estereopsia)**: Também conhecida como paralaxe binocular. A percepção de profundidade é extraída pela comparação entre as imagens de cada olho.

Estes detalhes são relevantes no momento do desenvolvimento de aplicações em RA. A escolha do dispositivo de apresentação ou visualização da aplicação influenciará nos tipos de pistas que o usuário irá enfrentar no momento de sua utilização.

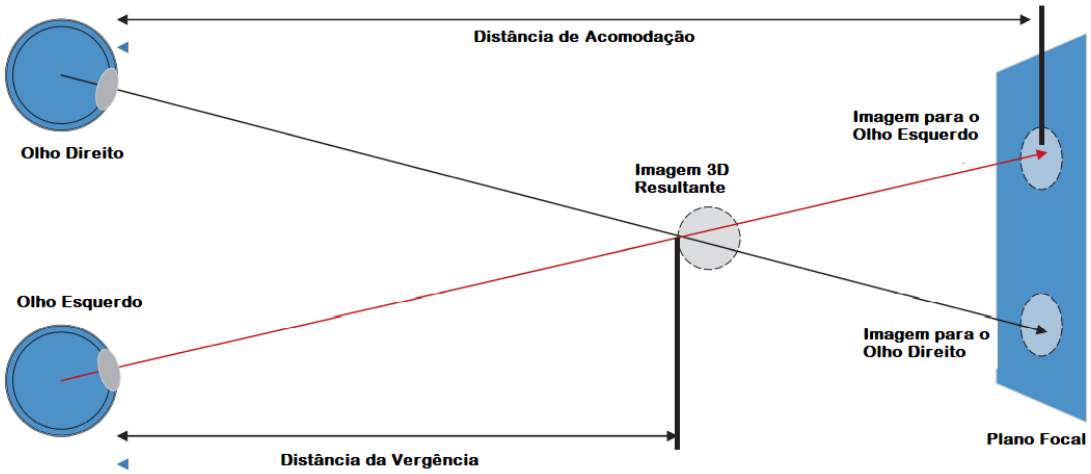
Por exemplo, ao utilizar um óculos de RA de visão estéreo, os objetos virtuais serão projetados em um *display* fisicamente próximo aos olhos do usuário, mas o registro deste objeto pode se dar à uma distância afastada dos olhos do usuário em relação ao mundo real aumentado.

Assim, os olhos do usuário tendem a voltarem-se ao centro (direção nasal) para focar no objeto. Mas o registro acontecerá com uma posição relativa ao mundo real, afastado do usuário. A convergência e a acomodação estão fortemente integradas ao sistema visual humano, então surgirá um conflito entre convergência e acomodação (ZHAN

et al., 2020).

Segundo Peddie (2017), este conflito pode gerar uma fadiga ocular e desconforto ao usuário. Veja a ilustração apresentada na Figura 9.

Figura 9 – Conflito de convergência e acomodação



Fonte: Adaptado de Peddie (2017)

Este conflito acontece porque ao observar apenas o mundo real, a convergência e a acomodação acontecem em conjunto de maneira coerente, mas com um *display* fixo, a acomodação se mantém em um único plano, enquanto a convergência varia, gerando estímulos contraditórios.

Para mitigar os efeitos negativos desse conflito perceptivo, as tecnologias de visualização em RA, como os sistemas baseados em *Video See-Through* (VST) - Visão Direta por Vídeo - e *Optical See-Through* (OST) - Visão Óptica Direta - desempenham um papel crucial. Essas abordagens oferecem diferentes formas de combinar o mundo real com elementos virtuais, influenciando diretamente a qualidade da interação e a percepção do usuário e compreender essas tecnologias de *displays* para RA é essencial para desenvolver soluções que minimizem esses conflitos.

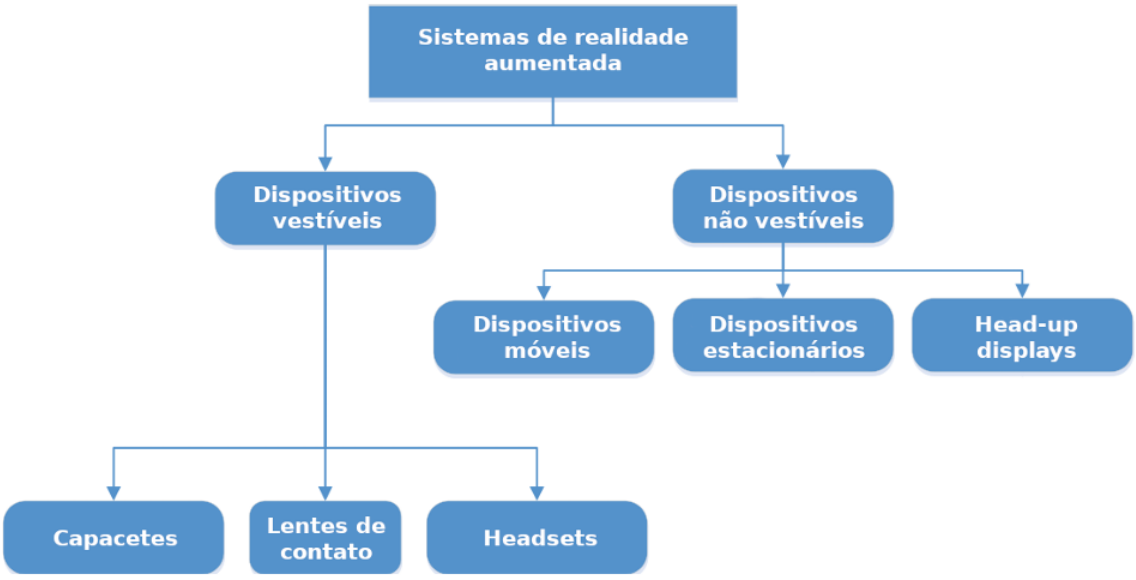
3.5 TECNOLOGIAS DE *DISPLAYS* PARA RA

Para desenvolver aplicações de RA que apresentem aos usuários um conteúdo de forma que os objetos sejam apresentados de maneira alinhada de acordo com o ponto de vista do observador, é importante conhecer as tecnologias de *displays*, bem como sua classificação e arquiteturas ópticas.

3.5.1 Taxonomia de tecnologias de *displays*

As tecnologias de *displays* para experiências de RA podem ser classificadas de diferentes maneiras. Peddie (2017) propõe uma classificação que as divide em dois grupos principais: dispositivos vestíveis e não vestíveis (apresentada na Figura 10). No grupo dos vestíveis, encontram-se capacetes, *headsets* (ou óculos inteligentes) e lentes de contato.

Figura 10 – Simplificação de uma taxonomia de tecnologias de *display* para RA



Fonte: (COVOLAN, 2022)

Peddie (2017) distingue os capacetes dos *headsets* por cobrirem toda a cabeça do usuário, incluindo as orelhas e grande parte do rosto. Já os dispositivos não vestíveis incluem dispositivos móveis, como *tablets* e *smartphones*, além de dispositivos estacionários, como televisores, projetores e monitores de alerta - HUDs.

3.5.2 HMDs

A tecnologia dos HMDs tem avançado significativamente nos últimos anos. A Meta (2023b) anuncia em 27/09/23 a nova versão do Meta Quest 3, seu óculos de RV e RA, com suas vendas iniciadas em 10 de outubro do mesmo ano. No dia 08/01/2024 é a vez da Apple (2024b) anunciar o início das vendas do Vision Pro para fevereiro de 2024 nos Estados Unidos. Estes dois HMDs (vistos na Figura 11) são o que se tem de mais avançado em tecnologias de *displays* de RA.

Para Kiyokawa (2015), de acordo com o sistema de visão humana, o HMD ideal

Figura 11 – HMDs Apple Vision Pro e Meta Quest 3
(a) Apple Vision Pro. (b) Meta Quest 3



(a) (b)

.

Fonte: (a) (APPLE, 2024a). (b) (META, 2024).

deveria ter campo de visão 120° na horizontal e 125° na vertical. A resolução angular de 0,5 minutos de arco (variação mínima do ângulo de visão para se conseguir distinguir um detalhes), alcance dinâmico de 80db (diferença entre a cor mais escura e a mais clara) e uma resolução temporal de 120Hz. Para cada aplicação, deve-se levar em consideração quais parâmetros são prioritários, pois atingi-los simultaneamente em um mesmo dispositivo não é uma tarefa fácil.

De acordo com o site oficial do Meta (2024), o Quest 3 possui campo de visão de 110° na horizontal e 96º na vertical, uma resolução angular de 25 PPD (*Pixels Per Degree* - *Pixels* por graus), o que corresponde a 2,4 minutos de arco na resolução angular. Não se tem informação oficial quanto ao alcance dinâmico. Ele possui resolução temporal de 120Hz, além de aceitar ainda 72Hz, 80Hz e 90Hz.

O Apple (2024a) Vision Pro possui campo de visão com 110° horizontal e 96° na vertical, uma resolução angular com cerca de 34 PPD, em torno de 1,76 minutos de arco. Também não se tem oficialmente a informação quanto ao alcance dinâmico, e possui resolução temporal de 100Hz, suportando ainda 90Hz e 96Hz.

Especificamente para aplicações de RA, outras questões devem ser levadas em consideração: a latência (tempo transcorrido entre um movimento de cabeça e a renderização da imagem virtual a ser apresentada), a paralaxe entre a câmera de captura das imagens do mundo real e a visão do usuário, distorções de imagens geradas pelos elementos ópticos e pelos proóprios *displays* do dispositivo, o alívio para o olho (distância entre o olho do observador e a lente ocular - a última lente), além de questões relacionadas ao conforto e ergonomia do dispositivo (KIYOKAWA, 2015).

Azuma (1997) propõe outra forma de classificar os HMDs para RA, levando em consideração a maneira pela qual as imagens reais e virtuais são combinadas e apresentadas aos usuários: *Optical See Through* (OST) - Visão Óptica Direta; e *Video See Through* (VST) - Visão Direta por Vídeo.

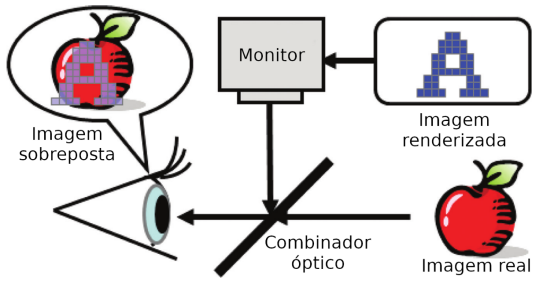
3.5.3 Abordagens OST e VST

Azuma (1997) e Kiyokawa (2015) comentam o funcionamento das abordagens de OST e VST e ambos concordam que na abordagem OST, o usuário enxerga o mundo real diretamente, sem nenhuma captura por câmera prévia, e os elementos virtuais são adicionados à sua visão através de um combinador óptico parcialmente reflexivo e transmissivo (como visto na Figura 12 a).

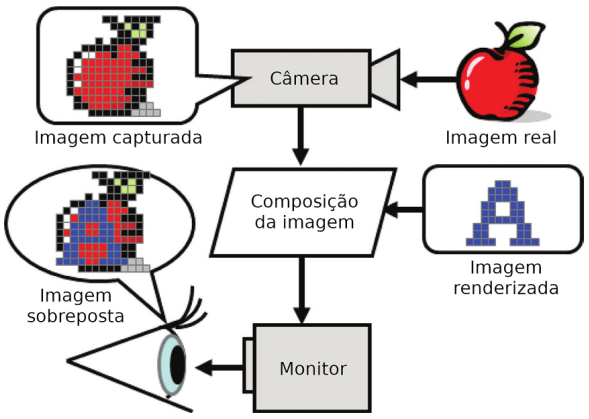
Já a abordagem VST, priva-se o usuário da visualização do mundo real direta, passando a ser capturado por uma câmera posicionada geralmente próximo à altura dos olhos do usuário (Figura 12 b). Os elementos virtuais serão combinados com as imagens do mundo real, antes de serem exibidos ao usuário, através de um *display* de vídeo para cada olho.

Figura 12 – As abordagens OST e VST em HMD´s de RA

(a) Abordagem OST



(b) Abordagem VST



Fonte: (COVOLAN, 2022).

Algumas vantagens ao se utilizar a abordagem OST: não privação da visão periférica do usuário; visualização do ambiente em tempo real (uma vez que, no mínimo, o ambiente estará 1 *frame* atrasado ao utilizar a abordagem VST, pois é o tempo gasto para capturar o *frame*, combinar com os elementos virtuais e apresentar a imagem combinada para o usuário).

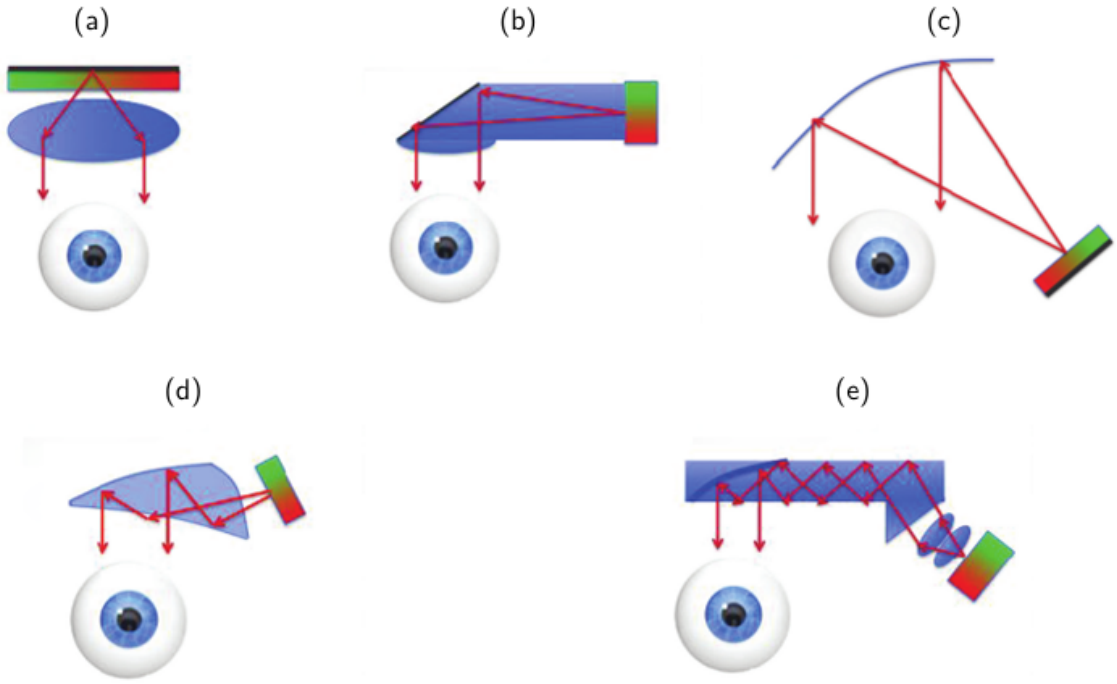
Já as vantagens ao se utilizar VST são: o fluxo de imagens do mundo real pode ser atrasado para permitir o adequado registro, apresentando ao usuário o conteúdo aumentado depois de realmente pronto; é mais simples garantir a consistência coerentes (em termos de brilho e contraste, por exemplo) entre as imagens reais e virtuais.

Mas em ambos os casos, tanto os atrasos quanto a paralaxe na visão do mundo real tendem a degradar a experiência do usuário (COVOLAN, 2022).

3.5.4 Arquiteturas ópticas para HMDs

Kress (2015) elenca as principais arquiteturas ópticas desenvolvidas para a construção de HMDs, mostradas na Figura 13.

Figura 13 – Arquiteturas ópticas para HMDs



Fonte: (KRESS, 2015)

Na Figura 13, (A), é apresentada a arquitetura mais simples, onde o *display* fica

posicionado à frente do olho do usuário e a imagem é apresentada ampliada por uma lente. Na Figura 13 (B) a situação é semelhante, mas o *display* permanece um pouco deslocado para o lado e a imagem é refletida para a direção do olho. Na arquitetura apresentada na Figura 13 (C) a imagem é direcionada a um visor, cuja superfície curva e parcialmente reflexiva direciona os feixes de luz para o campo de visão do usuário. A arquitetura apresentada na Figura 13 (D) mostra que a luz é direcionada por um prisma de três superfícies, onde a primeira superfície é transmissiva, a segunda totalmente reflexiva e a terceira parcialmente reflexiva. Já a Figura 13 (E) a luz é conduzida por uma estrutura guia totalmente reflexiva até atingir um espelho.

3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste Capítulo foi explorado a evolução das principais tecnologias de *displays* para RV e RA, com foco nos HMDs e suas interações com o sistema visual humano. Destacou-se como essas tecnologias afetam a percepção e a experiência do usuário em ambientes imersivos e aumentados, onde o alinhamento preciso entre os mundos virtual e real é crucial para garantir uma experiência eficaz e confortável.

Foram apresentados conceitos fundamentais de RV e RA, diferenciando as características que tornam cada tecnologia única em termos de imersão e interação. No caso da RV, a substituição completa do ambiente real por um mundo virtual destaca-se como um dos principais fatores que afetam a sensação de presença do usuário. Já na RA, as tecnologias de sobreposição, como VST e OST foram discutidas em termos de sua capacidade de integrar o conteúdo digital ao mundo real, com desafios significativos relacionados ao registro e à precisão visual.

Além disso, a análise das tecnologias mais recentes lançadas entre 2023 e 2024 trouxe à tona dados relevantes, como o avanço na resolução angular dos HMDs de última geração, com destaque o aprimoramento das capacidades de alcance dinâmico e campo de visão, que contribuem para amenizar problemas de acomodação e vergência oculares e também contribuem diretamente para uma experiência visual mais rica e detalhada para o usuário. Esses dados mostram como a tecnologia tem evoluído para oferecer não apenas uma experiência mais envolvente, mas também mais confortável e natural ao usuário, minimizando os efeitos negativos como desconforto visual e fadiga.

Por fim, a taxonomia das tecnologias de *displays* permitiu classificar os dispositivos em vestíveis e não vestíveis, ressaltando como essa categorização é essencial para compreender o influência que cada tipo de dispositivo exerce na experiência do usuário.

A integração dessas informações com a discussão sobre as arquiteturas ópticas dos HMDs forneceu uma visão abrangente dos desafios e avanços relacionados à qualidade visual e ao registro de elementos virtuais, aspectos fundamentais para o desenvolvimento de aplicações de RV e RA que proporcionem uma experiência natural e imersiva.

4 TRABALHOS CORRELATOS

Neste capítulo, são apresentados alguns estudos que abordam o Vale da Estranheza no contexto de personagens virtuais em ambientes de RV e RA.

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os trabalhos levantados, e que são abordados nas próximas seções, analisam questões relacionadas à percepção de personagens com foco em aspectos como realismo, estranheza e simpatia.

Embora nem todos os estudos abordem o conjunto completo de características investigadas nesta tese, eles oferecem abordagens e metodologias que contribuem para o entendimento do efeito do Vale da Estranheza em personagens virtuais.

4.2 EXPLORANDO O EFEITO DO VALE DA ESTRANHEZA NA REALIDADE VIRTUAL PARA FOBIA SOCIAL

No trabalho de Stefanova (2020), é apresentado uma pesquisa com objetivo de investigar a resposta emocional, em um ambiente de RV, de pessoas com fobia social. O Efeito do Vale Estranho foi um dos fatores cruciais na aplicação, pois para o tratamento da fobia, a autora utiliza de diferentes níveis de realismo nos personagens, sem que estes personagens atinjam o fundo do vale.

Sugere-se que este nível de realismo dos personagens seja uma das variáveis no tratamento desta fobia por exposição à RV.

A autora utiliza os *softwares* MakeHuman para construção dos personagens, o Adobe Mixamo da para criar poucas animações, o Blender para acertos de modelagem, além do Unity3D para criação de um ambiente RV que pode variar no realismo e no comportamento do público durante a seção, onde a plateia pode estar interessada ou não no assunto, dispersa ou focada no participante e concordando ou discordando de seus argumentos.

A Figura 14 apresenta os diferentes níveis de realismo criados na aplicação RV do trabalho, em (a) alto, em (b) médio e em (c) baixo.

Para visualizar o ambiente, sugere-se a utilização de óculos de RV, podendo ser também o Google Cardboard, mas não impede que os participantes também utilizem um monitor de computador. A pesquisa foi realizada com vídeos 360º no site Youtube.com,

Figura 14 – Aplicação para tratamento de fobia social



Fonte: Stefanova (2020)

onde os participantes respondem um questionário *on-line* e junto com as questões preparadas para obter os índices do Vale da Estranheza com base em Ho e MacDorman (2010). Também possui uma questão referente a qual equipamento o participante está utilizando.

Como resultados, sugere-se que o nível de ansiedade dos participantes no experimento, sem fobia social, aumenta em altos níveis de realismo dos personagens e conseguiu-se níveis de ansiedade mais baixos quando se utilizou níveis altos de realismo também em participantes com fobia social.

Uma limitação deste trabalho é a utilização de vídeos que ficam disponíveis na internet, onde o usuário assiste e preenche um formulário *on-line*. O usuário escolhe em ver o vídeo no monitor do computador ou com um óculos, mas não é possível comprovação da resposta sobre a tecnologia utilizada.

4.3 O EFEITO DO VALE DA ESTRANHEZA

O trabalho de Lay (2015) tem o objetivo principal de entender mais sobre a percepção de rostos humanos e com isso comparar com rostos não humanos (personagens virtuais). São realizados diversos estudos, onde se explora a relação entre semelhança quase humana e as respostas emocionais a estes personagens, e como os participantes processam as expressões emocionais exibidas pelos personagens. A linha de pesquisa deste trabalho é a psicologia.

No entanto, em todos os experimentos busca-se testar a existência do Vale da Estranheza. Foram utilizadas imagens de bancos de imagens geradas por CGI, diferentes para cada um dos experimentos, que apresentam imagens quase humanas, imagens com expressões faciais variadas, imagens com efeito de mescla entre humano e animal (*Morph* - veja na Figura 15), imagens de robôs, dentre outras. Os experimentos utilizaram apenas monitores comuns de computadores para apresentação das imagens.

Em todos os experimentos foram utilizados os índices de Ho e MacDorman (2010)

Figura 15 – Mesclando um rosto humano com a face de um animal



Fonte: Lay (2015)

para medir o efeito do Vale da Estranheza, e as conclusões da autora enaltecem que, mesmo estando todos em constantes exposições de a uma população quase humana, por meio de personagens gerados por CGI, robôs e androides, o efeito do Vale da Estranheza, motivado por emoção e ainda não completamente compreendido, é um efeito genuíno. "Ele pode nos encantar ou nos perturbar de maneira sutil e única", afirma a autora (LAY, 2015).

A maior limitação deste trabalho é a utilização somente de imagens, todas apresentadas em monitores de computador, e imagens diferentes em cada estudo, direcionados a testar o efeito do Vale da Estranheza em diferentes aspectos, como semelhança humana, expressões faciais e mescla de humanos com animais.

4.4 EXPLORANDO O EFEITO DO VALE DA ESTRANHEZA EM RV/RA

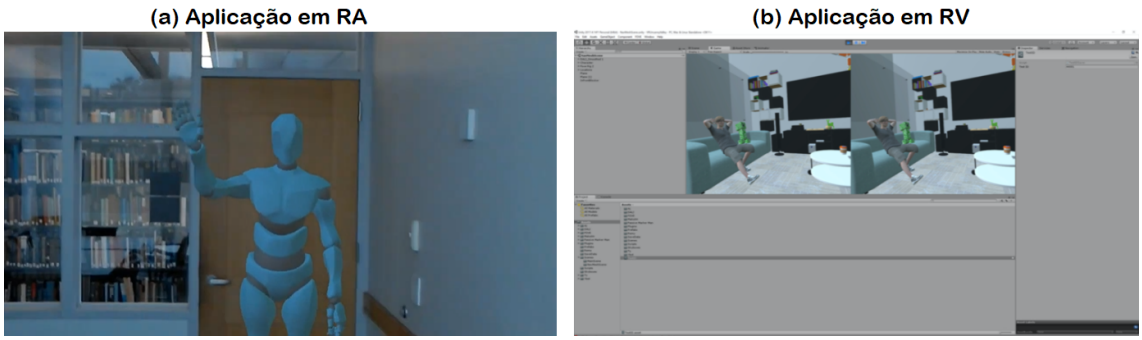
O trabalho desenvolvido por Yan (2019) tem foco na exploração do efeito do Vale da Estranheza em avatares humanoides, realizando uma comparação em ambiente de RV e RA. O objetivo principal do trabalho foi avaliar a reação das pessoas que participaram do estudo quando interagiam com avatares virtuais em diferentes níveis de aparência humana em RV e RA.

Neste trabalho foram utilizadas diferentes formas de medição das reações dos participantes, como a pesquisa subjetiva (proposta por Ho e MacDorman (2010)) e medições fisiológicas, incluindo EGG (eletroencefalograma), GSR (resposta galvânica da pele) e dilatação de pupila. A pesquisa foi realizada em duas etapas diferentes, uma com a

versão em RA e outra com versão em RV.

Na versão em RA do aplicativo, vista na Figura 16 (a), utilizou-se o Microsoft Hololens, e na versão RV, apresentada na Figura 16 (b), utilizou-se um *headset* FOVE. O estudo em RA foi realizado na biblioteca da universidade (Dartmouth College) e o estudo em RV foi desenvolvido no laboratório de informática da mesma universidade.

Figura 16 – Aplicações em RA e RV do estudo de Yan (2019)



Fonte: Yan (2019)

O procedimento usado foi sentar o participante em uma cadeira, vestir o *headset* e os sensores, e em seguida, apresentar os avatares atuando em uma animação, um por um, em ordem aleatória, tanto para RA quanto para RV. Os dados dos sensores foram coletados neste mesmo momento. Após ver as animações, o participante preenche o questionário para obtenção dos índices de Ho e MacDorman (2010).

Foram utilizados 7 avatares no estudo de RA, apresentados na Figura 17 em (a), e 5 avatares no estudo de RV, exibidos na Figura 17 em (b), todos criados no Adobe Mixamo. As aplicações RA e RV foram criadas no Unity3D.

A conclusão mais simples alcançada foi que personagens mais parecidos com humanos são mais aceitáveis e menos estranhos para os usuários. Uma segunda descoberta obtida foi que as pessoas são mais sensíveis às características faciais quando os personagens são altamente semelhantes aos humanos.

Em suas conclusões, Yan (2019) comenta que: "Quando os avatares atingem o nível 5 de semelhança humana nos experimentos, as características faciais começam a ter efeitos negativos nas pessoas"e em seguida complementa que "avatares de nível 1 de semelhança humana nos nossos experimentos são menos misteriosos do que o nível 2 em características faciais. Mas isso não é tão convincente, devido aos recursos faciais de baixa qualidade".

A principal limitação deste trabalho está na utilização de personagens virtuais

Figura 17 – Avatares utilizados nos estudos RV e RA



Fonte: Yan (2019)

diferentes nos estudos de RV e RA e na utilização total de personagens cartunescos, todos retirados do Adobe Mixamo, não tendo sido utilizado nenhum com características consideradas repugnantes ou assustadoras.

4.5 UTILIZANDO O VALE DA ESTRANHEZA A FAVOR DO DESIGN DE PERSONAGENS

No trabalho de Kiintonen (2022) examina-se várias teorias relacionadas ao efeito do Vale da Estranheza – "uma reação psicológica negativa supostamente desencadeada por produtos humanos cada vez mais realistas, como robôs e personagens 3D", segundo o autor. O objetivo deste estudo foi identificar algumas das características visuais e físicas dos personagens que estavam contribuindo para o efeito de estranheza de personagens virtuais e robôs.

Este estudo tentou oferecer maneiras alternativas de navegar no processo de design de personagens misteriosos e assustadores, utilizando o forte efeito emocional do vale estranho para o benefício do design de personagens virtuais.

Dos temas e características físicas descobertos por meio da análise, os mais proeminentes foram aplicados ao processo de design e produção de um personagem de jogo 3D animado - visto na Figura 18 em (a) - que representou o papel de um inimigo em um jogo de computador produzido por alunos com temas religiosos. Na Figura 18 em (b), a quantidade de dentes torna o personagem mais assustador.

Figura 18 – Personagem criado para estar no fundo do vale estranho



Fonte: Kiintonen (2022)

Para a modelagem do personagem, o trabalho utiliza as ferramentas ZBrush, Blender, Substance Painter (para texturas) e o jogo construído em Unity3D.

Concluiu-se que, apesar da abundância de novos estudos emergentes, os princípios básicos do misterioso efeito do Vale da Estranheza não mudaram muito desde que foram apresentados pela primeira vez por Jentsch (1997). “Nossas descobertas sugerem que as causas mais plausíveis para o vale misterioso podem ser evolutivas e, pelo menos parcialmente, enraizadas em comportamentos sociais aprendidos, internalizados na adolescência e nos estágios iniciais do desenvolvimento social”, comenta Kiintonen (2022).

A grande limitação deste trabalho é não ter explorado características mais efetivas, como os movimentos oculares, labiais e corporais. Além disso, o personagem final obtido não ter sido testado para obtenção do índice de efeitos do Vale da Estranheza impede uma real comprovação dos objetivos, que era de colocá-lo no fundo do vale.

4.6 ASPECTOS DA APARÊNCIA VISUAL DE AVATARES

Hepperle *et al.* (2022) em seu trabalho escrevem sobre os aspectos da aparência visual de avatares em plataformas de realidade virtual social (SVR) e explora a presença do efeito do Vale da Estranheza em diferentes tipos de dispositivos de exibição, como monitores 2D e HMDs.

A pesquisa é estruturada em dois experimentos principais. O primeiro experi-

mento foca na personalização de avatares em diversas plataformas SVR populares, avaliando se as ferramentas de customização disponíveis permitem a criação de avatares que efetivamente se assemelham à pessoa real que estão tentando representar. Os resultados mostram que, embora seja possível alcançar algum grau de personalização, a semelhança entre o avatar e a pessoa real é geralmente limitada. Em muitos casos, os avatares não conseguem refletir com precisão as características faciais e corporais da pessoa, o que pode afetar negativamente a identificação e a aceitação desses avatares pelos próprios usuários e por outros participantes em interações sociais virtuais.

O estudo foi conduzido inicialmente com a avaliação de dois avatares padrões e personalizados de duas pessoas mundialmente conhecidas (Angela Merkel e Barack Obama) nestas principais SVR.

O segundo experimento aborda o efeito do Vale da Estranheza, comparando a percepção de avatares em dois tipos de dispositivos: monitores 2D tradicionais e head-mounted displays (HMD). A pesquisa de Hepperle *et al.* (2022) revela que esse efeito é mais acentuado quando avatares são visualizados através de HMDs, que proporcionam uma experiência mais imersiva. A imersão oferecida pelos HMDs intensifica as reações emocionais negativas, como a estranheza, em comparação com a visualização em monitores 2D. Este resultado sugere que o aumento da imersão em ambientes virtuais pode amplificar as falhas percebidas na similaridade humana de avatares, tornando o design cuidadoso dessas representações ainda mais importante.

Nesta segunda etapa, foram feitas as avaliações de 15 avatares, vistos na Figura 19, em um sistema RV construído no Unity 3D com avatares disponíveis na plataforma Adobe Mixamo, mostrados em dois diferentes tipos de dispositivos de visualização: Monitor 2D comum de computador e um HMD de RV (HTC Vive).

Na etapa dos monitores, os participantes avaliaram os avatares exibidos em monitores 2D em termos de semelhança humana, estranheza e simpatia. A avaliação foi feita utilizando uma escala de Likert. Posteriormente, os mesmos avatares foram avaliados em HMDs, permitindo uma comparação direta entre as duas modalidades de exibição.

Os resultados das avaliações em monitores 2D foram comparados com os resultados das avaliações em HMDs para identificar diferenças significativas na percepção dos avatares.

Os resultados indicam que o efeito do vale da estranheza é mais pronunciado em HMDs do que em monitores 2D. Os avatares exibidos em HMDs foram percebidos como mais estranhos e menos simpáticos, especialmente aqueles que se aproximam do realismo humano, mas não o alcançam completamente. Para cada característica analisada, os

Figura 19 – Os 15 Avatares utilizados

01 Eyebot, 02 Turret, 03 JRRobo, 04 Lloyd, 05 Atlas, 06 Ribbot, 07 Katie, 08 Alice, 09 Freddy, 10 Medic, 11 Link, 12 Dutchess, 13 Zombie, 14 MixamoGirl, 15 Remy



Fonte: Adaptado de Hepperle *et al.* (2022)

resultados são os seguintes:

– Semelhança Humana

Monitores 2D: Os avatares exibidos em monitores 2D foram percebidos com um grau moderado de semelhança humana.

HMDs: Nos HMDs, a semelhança humana foi percebida de forma mais intensa, mas também resultou em uma maior percepção de estranheza para avatares que não alcançam um realismo convincente.

– Estranheza

Monitores 2D: A estranheza percebida foi menor em comparação com os HMDs.

HMDs: A estranheza foi significativamente maior, indicando que a imersão proporcionada pelos HMDs intensifica o efeito do vale da estranheza.

– Simpatia

Monitores 2D: Os avatares foram percebidos como mais simpáticos.

HMDs: A simpatia percebida foi menor, correlacionando-se com o aumento da estranheza.

O estudo conclui que a percepção dos avatares é fortemente influenciada pelo

tipo de dispositivo de exibição. Os HMDs, apesar de oferecerem uma experiência mais imersiva, intensificam o efeito do vale da estranheza, especialmente para avatares que não atingem um realismo completo. Isso sugere que o design de avatares para HMDs deve ser abordado com cautela, evitando um realismo incompleto que possa resultar em percepções negativas.

Este trabalho destaca a importância de considerar o dispositivo de exibição ao desenvolver avatares para aplicações de realidade virtual, sugerindo que diferentes abordagens podem ser necessárias para monitores 2D e HMDs para minimizar o efeito do vale da estranheza e maximizar a simpatia dos avatares.

Dentre as limitações deste trabalho, pode-se destacar:

- Devido às restrições impostas pela pandemia de COVID-19, os experimentos que envolveriam o uso de HMDs foram limitados, e alguns estudos que poderiam ter utilizado HMDs foram realizados apenas em monitores 2D. Isso pode ter influenciado a percepção dos avatares, uma vez que a experiência imersiva em HMDs pode diferir significativamente daquela em monitores 2D.
- A pesquisa focou principalmente na aparência visual dos avatares, sem considerar outros aspectos importantes, como comportamento não-verbal (expressões faciais, movimentos corporais e gestos). A falta de análise desses elementos pode limitar a compreensão de como os avatares são percebidos em contextos sociais virtuais.
- **Tamanho da Amostra**: O número de participantes no segundo estudo foi relativamente pequeno, com 27 pessoas divididas entre as condições de monitor 2D e HMD. Essa amostra limitada pode afetar a robustez estatística dos resultados e a generalização das conclusões para uma população maior e mais diversificada.
- **Seleção de Avatares**: Os avatares utilizados no estudo foram selecionados para cobrir uma gama de estilos, desde claramente robóticos até quase humanos. No entanto, esses avatares não abrangem toda a diversidade de avatares que poderiam ser encontrados em diferentes plataformas e contextos. Além disso, os avatares foram apresentados em poses estáticas, sem considerar animações ou interações dinâmicas que poderiam influenciar a percepção.

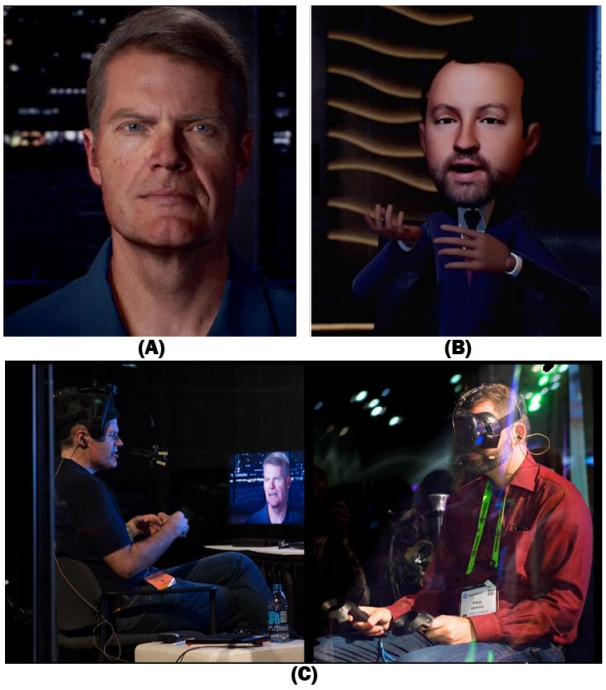
4.7 CRUZANDO O VALE DA ESTRANHEZA

Seymour *et al.* (2021) investigam, como a interação em tempo real com avatares realistas e caricaturais influencia a afinidade, confiança e preferências dos usuários. O estudo foi realizado durante a conferência SIGGRAPH, utilizando um design de pesquisa

que combinou observações qualitativas, entrevistas e uma pesquisa quantitativa. A pesquisa focou em três questões principais: se é possível criar avatares realistas que cruzem o vale da estranheza, como as percepções dos usuários diferem entre avatares com diferentes níveis de realismo, e como o ambiente virtual (3D imersivo vs. 2D tradicional) impacta essas percepções.

Um avatar hiper realista foi crido para o apresentador e entrevistador Mike Seymour, desenvolvido em colaboração com a equipe da Epic na plataforma Unreal Engine. Este avatar hiper realista contracenou com outros 18 avatares cartunescos padronizados. O entrevistador e os entrevistados se viam apenas no ambiente de realidade virtual. Um exemplo de uma das seções pode ser visto na Figura 20.

Figura 20 – Avatares de entrevistador, entrevistado e os reais entrevistador e entrevistado
(a) o avatar do entrevistador Mike Seymour, em (b) o avatar caricatural de um dos entrevistados e em (c) os reais respectivos Mike Seymour e seu entrevistado.



Fonte: Adaptado de Seymour *et al.* (2021)

Os espectadores foram divididos em dois grupos diferentes: 4 pessoas utilizaram óculos de RV HTC Vive, e só viam o ambiente RV, e os demais visualizavam em um monitor de computador colocado na parte superior de onde estavam o entrevistador e o entrevistado, tendo visão do ambiente virtual pelo monitor e podendo ver os dois pessoalmente em um palco.

O estudo foi conduzido em duas etapas principais simultâneas, com avatares observados em ambientes 2D e 3D.

- **Ambiente 2D (Monitores)**: os participantes assistem a entrevista entre os avatares exibidos no monitor 2D, avaliando afinidade, confiança e preferências utilizando uma escala de Likert, preenchendo um formulário ao final.

- **Ambiente 3D (HMDs)**: os mesmos avatares foram avaliados pelos espectadores que utilizaram os HMDs, onde a cada entrevista apenas 4 pessoas utilizam estes óculos RV.

Os resultados das avaliações em monitores 2D foram comparados com os resultados das avaliações em HMDs para identificar diferenças significativas na percepção dos avatares. Os resultados indicam que o avatar realista gera maior afinidade e confiança em comparação com os caricaturais. Além disso, o avatar realista foi preferido como agente virtual, especialmente quando visualizados em um ambiente RV imersivo. A pesquisa concluiu que é possível cruzar o vale da estranheza com avatares altamente realistas, particularmente em ambientes 3D.

Para cada item analisado, os resultados concluem, resumidamente que:

- Afinidade

  Ambiente 2D: Os avatares exibidos em monitores 2D foram percebidos com um grau moderado de afinidade.

  Ambiente 3D: Nos HMDs, a afinidade foi percebida de forma mais intensa, especialmente para o avatar hiper realista.

- Confiança

  Ambiente 2D: A confiança percebida foi menor em comparação com os HMDs.

  Ambiente 3D: A confiança foi significativamente maior, indicando que a imersão proporcionada pelos HMDs intensifica a percepção de confiança nos avatares.

- Preferências

  Ambiente 2D: Não houve significativa diferença entre a preferência entre os avatares caricaturais e o avatar hiper realista.

  Ambiente 3D: Nos HMDs, o avatar hiper realistas foi claramente preferido em comparação com os caricaturais.

O estudo conclui que a percepção dos avatares é fortemente influenciada pelo

tipo de dispositivo de exibição e pelo nível de realismo dos avatares. Os HMDs, apesar de oferecerem uma experiência mais imersiva, intensificam a afinidade e confiança nos avatares realistas. Isso sugere que o design de avatares para HMDs deve considerar o alto realismo para maximizar a afinidade e a confiança dos usuários.

Pode-se destacar como limitações encontradas:

- **Viés de Amostra**: A amostra foi composta principalmente por participantes do SIGGRAPH, que são profissionais ou entusiastas da área de design gráfico e tecnologia. Esses indivíduos provavelmente têm mais familiaridade com avatares digitais e realidade virtual, o que pode reduzir o efeito da novidade e não representar a população em geral.
- **Custo e Complexidade da Tecnologia**: O estudo utilizou um avatar altamente realista, "Digital MIKE"(Figura 20 a), que exigem hardware e software de alta performance para renderização em tempo real. Esse nível de complexidade pode não ser acessível ou representativo das experiências de realidade virtual comuns ao público geral, limitando a aplicabilidade dos resultados.
- **Falta de Movimentos**: O avatar altamente realista utilizado foi modelado apenas com foco na face e no torso superior (Figura 20 a), não realizando nenhum tipo de movimento corporal (exceto os faciais). Os avatares caricaturais possuem as cabeças grandes e desproporcionais frente aos membros superiores e pescoço, mas obedecem e reproduzem os movimentos do entrevistado (Figura 20 em B) em tempo real.

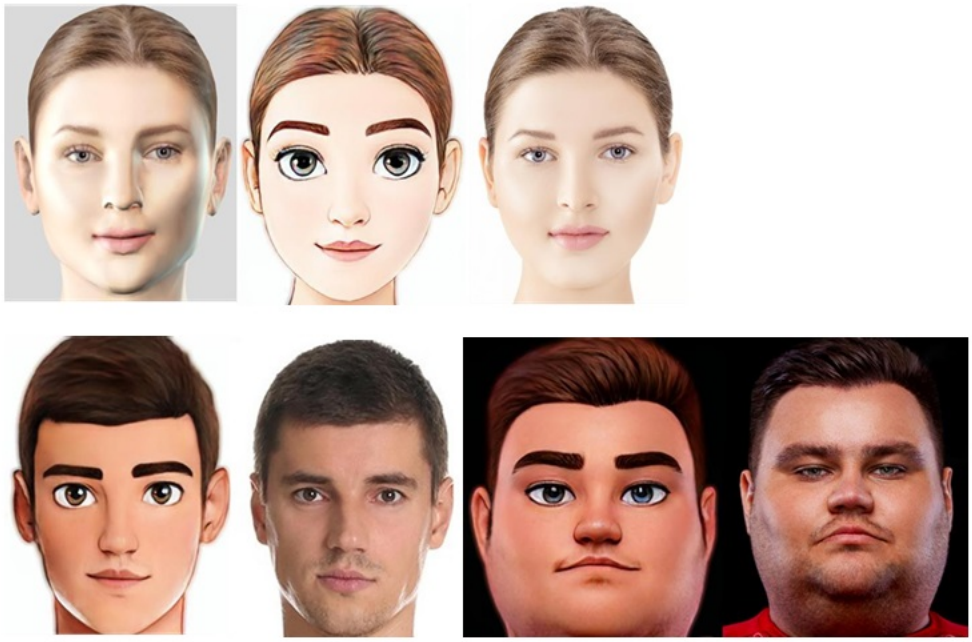
4.8 AVATARES INTROVERTIDOS E EXTROVERTIDOS

KIM (2020) investiga como a interação em tempo real com avatares extrovertidos e introvertidos influencia a afinidade, confiança e preferências dos usuários, considerando o efeito do Vale da Estranheza e os sinais conversacionais.

O estudo examina como diferentes níveis de realismo dos avatares (cartunesco ou hiper-realista) e sinais conversacionais (extrovertido ou introvertido) afetam a percepção de confiabilidade, simpatia e a disposição dos participantes em fazer amizade com os avatares.

Foi conduzido um experimento online com 119 participantes, utilizando uma combinação de avatares (visto na Figura 21) 2x2 (realismo: cartunesco ou hiper-realista e sinais conversacionais: extrovertido ou introvertido). Os participantes foram expostos aos avatares com diferentes níveis de realismo e traços de personalidade e responderam a questionários avaliando confiabilidade, simpatia e disposição para fazer amizade.

Figura 21 – Avatares e modelos originais utilizados no estudo



Fonte: Adaptado de KIM (2020)

Os resultados indicam que avatares hiper-realistas foram percebidos como menos confiáveis e menos simpáticos, comparados aos avatares cartunescos. Além disso, avatares extrovertidos foram percebidos como mais agradáveis e mais propensos a formar amizades do que avatares introvertidos. A combinação de avatares hiper-realistas e sinais extrovertidos mostrou-se mais eficaz em aumentar a disposição para fazer amizade, apesar do efeito do Vale da Estranheza.

O estudo conclui que o design de avatares deve considerar cuidadosamente o nível de realismo e os sinais conversacionais para minimizar o efeito do Vale da Estranheza e maximizar a disposição para a amizade. A interação em ambientes virtuais imersivos requer avatares que equilibrem o realismo e a apresentação de traços de personalidade positivos para serem mais eficazes na construção de conexões sociais.

Este trabalho não cita detalhes da apresentação dos avatares aos 119 participantes. Deixa claro apenas que todo o estudo aconteceu pela internet, onde os participantes visualizaram os avatares em um monitor 2D de computador e responderam a um questionário também *online*.

Dentre as limitações, tem-se:

– **Amostra**: Todos os 119 participantes foram recrutados em uma plataforma online, o que pode ter influenciado o tipo de participante envolvido. A maioria dos participantes era branca e de uma faixa etária específica. Esse fator pode não representar a

diversidade global de usuários em plataformas de realidade virtual e pode influenciar os resultados

- **Condições Limitadas de Realismo**: O estudo focou apenas em dois níveis de realismo (cartunesco e hiper-realista), o que limita a compreensão de como outros níveis de realismo intermediários ou mais variados podem impactar a percepção de confiança, simpatia e disposição para amizade.
- **Restrições na Representação dos Avatares**: Os avatares utilizados foram limitados a um conjunto específico de características visuais e comportamentais (por exemplo, avatares caucasianos e de gênero binário), o que restringe a aplicabilidade dos resultados para representações mais diversas de avatares que podem ser mais relevantes em contextos globais.

4.9 ANÁLISE DOS TRABALHOS RELACIONADOS

A partir da análise dos estudos revisados, observa-se uma série de limitações comuns que sugerem a existência de lacunas na investigação sobre o efeito do Vale da Estranheza em personagens virtuais. Uma das principais deficiências é a ausência de uma abordagem unificada que contemple a relação entre o realismo visual, os movimentos dinâmicos (faciais e corporais) e a imersão proporcionada por diferentes *displays*. A maioria dos estudos, como os de Lay (2015), Hepperle *et al.* (2022) e Seymour *et al.* (2021), concentra-se exclusivamente no realismo visual dos personagens, ignorando o impacto de movimentos dinâmicos nas percepções de estranheza. Essa limitação impede uma compreensão mais profunda de como a animação de personagens — como as expressões faciais, movimentos oculares, labiais ou os gestos corporais — influencia a resposta emocional dos usuários em cenários imersivos.

Outra deficiência relevante observada, especialmente nos estudos de Stefanova (2020) e KIM (2020), é a utilização de vídeos *online* ou experimentos não imersivos, sem o controle total dos dispositivos utilizados pelos participantes. Isso limita a capacidade de analisar como diferentes tipos de *displays* (HMDs, monitores, e dispositivos móveis) influenciam a percepção do Vale da Estranheza, uma vez que a imersão e a interatividade são fatores cruciais para entender essa percepção em contextos de realidade virtual e aumentada.

Além disso, uma limitação comum em muitos estudos é a falta de representações de personagens em movimento ou de uma avaliação detalhada de expressões faciais e corporais em ambientes interativos. Por exemplo, no estudo de Lay (2015), as imagens

apresentadas são estáticas, o que impede a análise dos efeitos de movimentos dinâmicos. De modo semelhante, Hepperle *et al.* (2022) focou-se apenas na aparência visual dos personagens, sem considerar a influência dos movimentos faciais ou corporais sobre a percepção de realismo ou estranheza. Essa abordagem estática impede uma compreensão mais completa de como o movimento afeta a resposta dos usuários, um fator especialmente relevante em ambientes virtuais imersivos, onde o dinamismo e a interação desempenham um papel fundamental.

4.10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas análises apresentadas, observa-se que os estudos sobre o Vale da Estranheza no contexto de personagens virtuais enfrentam algumas limitações recorrentes. O Quadro 4 mostra, de forma reduzida, os trabalhos selecionados como correlatos a esta tese.

Quadro 4 – Comparação dos Trabalhos Correlatos (continua)

Trabalho (Autor, Ano)	**Forma de Apresentar os Personagens**	**Forma de Visualizar**	**Principal Conclusão**	**Principal Limitação**
Stefanova (2020)	3D, avatares com diferentes níveis de realismo	RV (óculos ou monitor)	Níveis altos de realismo reduziram a ansiedade em participantes com fobia social	Uso de vídeos online sem controle sobre a tecnologia de visualização
Lay (2015)	Imagens 2D estáticas de rostos quase humanos	Monitor	O Vale da Estranheza é um efeito emocional genuíno	Apenas imagens estáticas, sem interatividade ou movimento
Yan (2019)	Avatares 3D cartunescos	RA (Hololens), RV (FOVE)	Avatares mais humanos são mais aceitos, mas características faciais exageradas causam desconforto	Diferentes avatares usados para RA e RV
Kiintonen (2022)	3D, personagem de jogo com design assustador	Monitor	O Vale da Estranheza pode ser utilizado para design de personagens perturbadores	Não testou os personagens para medir o índice de estranheza

Quadro 4 - Comparação dos Trabalhos Correlatos (conclusão)

Trabalho (Autor, Ano)	**Forma de Apresentar os Personagens**	**Forma de Visualizar**	**Principal Conclusão**	**Principal Limitação**
Hepperle et al. (2022)	Avatares 3D realistas e cartunescos	HMD (HTC Vive), Monitor 2D	O Vale da Estranheza é mais pronunciado em HMDs	Foco apenas na aparência visual, sem interações dinâmicas
Seymour et al. (2021)	Avatares hiper-realistas e caricaturais	HMD (HTC Vive), Monitor 2D	Avatares hiper-realistas geraram maior afinidade e confiança em HMDs	Amostra composta por especialistas do SIGGRAPH
Kim (2020)	Avatares 2D hiper-realistas e cartunescos	Monitor	Avatares extrovertidos foram mais simpáticos e propensos a amizades	Estudo online sem experiência imersiva

Fonte: Elaborado pelo autor.

Entre as principais deficiências, destacam-se a falta de integração entre o realismo visual e os movimentos dinâmicos dos personagens, bem como a ausência de uma análise mais aprofundada sobre a influência de diferentes tipos de *displays* na percepção dos usuários. Muitos estudos concentraram-se exclusivamente no aspecto visual estático dos personagens, sem considerar como movimentos faciais e corporais podem influenciar a resposta emocional e a percepção de estranheza.

Além disso, a utilização de metodologias que não controlam completamente o tipo de *display* utilizado pelos participantes, como o uso de vídeos *online*, limita a análise da imersão proporcionada por tecnologias como HMDs, monitores e dispositivos móveis. A falta de controle sobre essas variáveis reduz a capacidade de compreender plenamente o efeito do Vale da Estranheza em ambientes interativos.

Portanto, torna-se evidente a necessidade de investigações mais abrangentes que considerem tanto o realismo visual quanto os movimentos dinâmicos dos personagens, além de explorar mais detalhadamente as diferenças entre os tipos de *displays*, incluindo

HMDs de *RA*. Essas lacunas indicam que há espaço para aprofundar a compreensão do efeito do Vale da Estranheza, considerando a interação entre os personagens virtuais e os diferentes ambientes imersivos nos quais são visualizados.

Apesar de a maioria dos trabalhos focarem principalmente na *RV*, apenas um estudo revisado utilizou *RA*, sugerindo que essa tecnologia é uma variável interessante e ainda pouco explorada no contexto do Vale da Estranheza.

No próximo capítulo, será apresentada a metodologia desenvolvida nesta tese, que busca justamente explorar essas lacunas.

5 METODOLOGIA ADOTADA

Este capítulo apresenta o desenvolvimento dos sistemas de Realidade Virtual e Aumentada utilizados para realização dos experimentos.

5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

De acordo com Phillips e Pugh (2010), existem basicamente três tipos principais de pesquisa acadêmica: teste, resolução de problemas e exploratória. A pesquisa de teste visa validar teorias existentes em diferentes contextos. A pesquisa de resolução de problemas aplica métodos acadêmicos a questões práticas, mas pode ser desafiadora por equilibrar a solução prática com a pesquisa. Já a pesquisa exploratória aborda temas pouco conhecidos, exigindo o desenvolvimento de novas teorias e métodos.

Com base na categorização de Phillips e Pugh (2010), a presente pesquisa, a qual utilizou um método quantitativo, que será descrito na próxima seção, para medir a percepção dos participantes em ambientes de RV e RA para testar as hipóteses (apresentadas na seção 1.5), pode ser classificada como uma pesquisa de teste.

A principal característica de uma pesquisa de teste é validar teorias existentes em novos contextos, e isso se aplica diretamente à pesquisa descrita. O objetivo é medir a percepção dos participantes sobre o Vale da Estranheza em personagens humanoides 3D usando diferentes dispositivos de visualização (monitores, HMDs-RV e HMDs-RA). As hipóteses que foram testadas refletem uma tentativa de validar teorias e conceitos existentes sobre o Vale da Estranheza, semelhança, simpatia e estranheza em um contexto específico de dispositivos e personagens virtuais.

5.1.1 Visão geral do método proposto

Inicialmente é importante estabelecer a terminologia utilizada no método, no que diz respeito aos tipos de dispositivos de visualização (*displays)* para ambientes de RV e RA, utilizados neste trabalho. Neste sentido, será utilizada a seguinte terminologia:

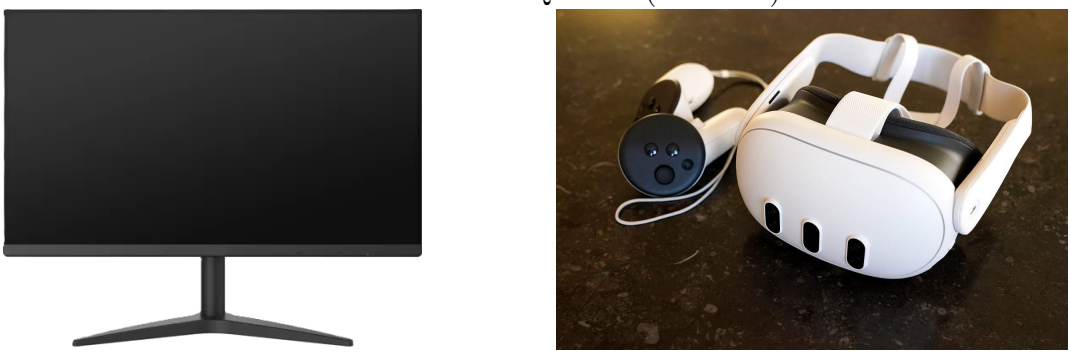
- **Monitor:** para representar o monitor de computador, ou seja, tela 2D, *display* ou *desktop* (visualização não imersiva);
- **HMD-RV:** para representar um capacete de visualização imersiva de realidade virtual (visualização imersiva);
- **HMD-RA:** para representar um capacete de visualização imersiva de realidade

aumentada (visualização imersiva).

Os tipos de *displays* utilizados nesta tese podem ser visualizados na Figura 22.

Figura 22 – Diferentes tipos de *displays*

(a) Monitor de Computador (não imersivo). (b) Capacete de realidade virtual e aumentada Meta Quest 3 (imersivo).



(a) (b)

Fonte: Elaborado pelo autor.

No método utilizado, os 3 tipos de displays, representados pelos termos: “Monitor”, “HMD-RV” e “HMD-RA”, constituem as variáveis independentes investigadas. Por sua vez, as 8 variáveis dependentes da pesquisa são representadas pelos termos: “semelhança” (humana), “estranheza” (percebida), “simpatia”, “presença”, “naturalidade dos movimentos oculares”, “naturalidade dos movimentos labiais”, “naturalidade dos movimentos corporais”, “naturalidade dos movimentos combinados”.

Nesta pesquisa, o método escolhido para estabelecer as relações entre estas variáveis foi o quantitativo, visto que, apesar das variáveis dependentes representarem percepções (subjetivas) dos usuários participantes dos experimentos, utilizou-se questionários com a escala Likert, composta por múltiplos itens com respostas em formato numérico (por exemplo, valores de 1 a 9, para classificar a semelhança humana de um personagem, sendo 1 (muito mecânico) e 9 (muito humano)), gerando dados que puderam ser analisados estatisticamente. A utilização de questionários com a escala Likert para avaliar a percepção dos usuários em relação ao fenômeno do Vale da Estranheza caracteriza-se como uma avaliação quantitativa.

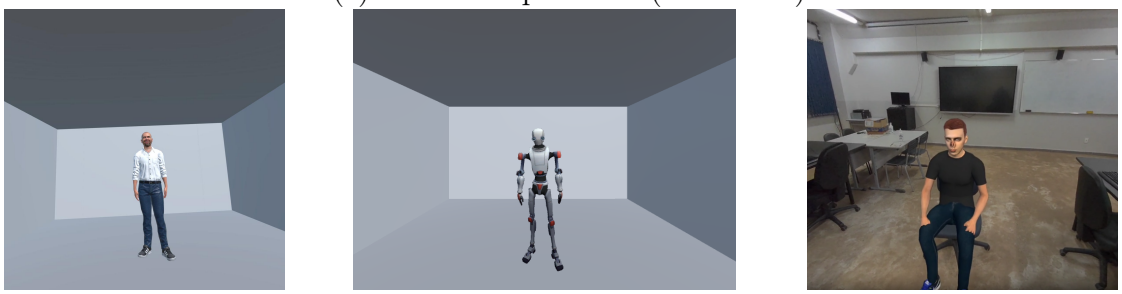
Para a coleta dos dados correspondentes às variáveis, foram criados dois ambientes virtuais: um ambiente de realidade virtual e outro ambiente de RA.

O ambiente de realidade virtual foi implementado com duas modalidades de interface, sendo uma não imersiva (para experimentos com monitor, visto na Figura 23 b)

e outra imersiva (para experimentos com um HMD-RV, vide Figura 23 a.

O segundo ambiente, por sua vez, é de realidade aumentada para experimentos com um HMD-RA (Figura 23 c)

Figura 23 – Diferentes ambientes virtuais desenvolvidos (imersivos e não-imersivos)
(a) Ambiente para RV (HMD-RV). (b) Ambiente para RV (Monitor).
(c) Ambiente para RA (HMD-RA).



(a) (b) (c)

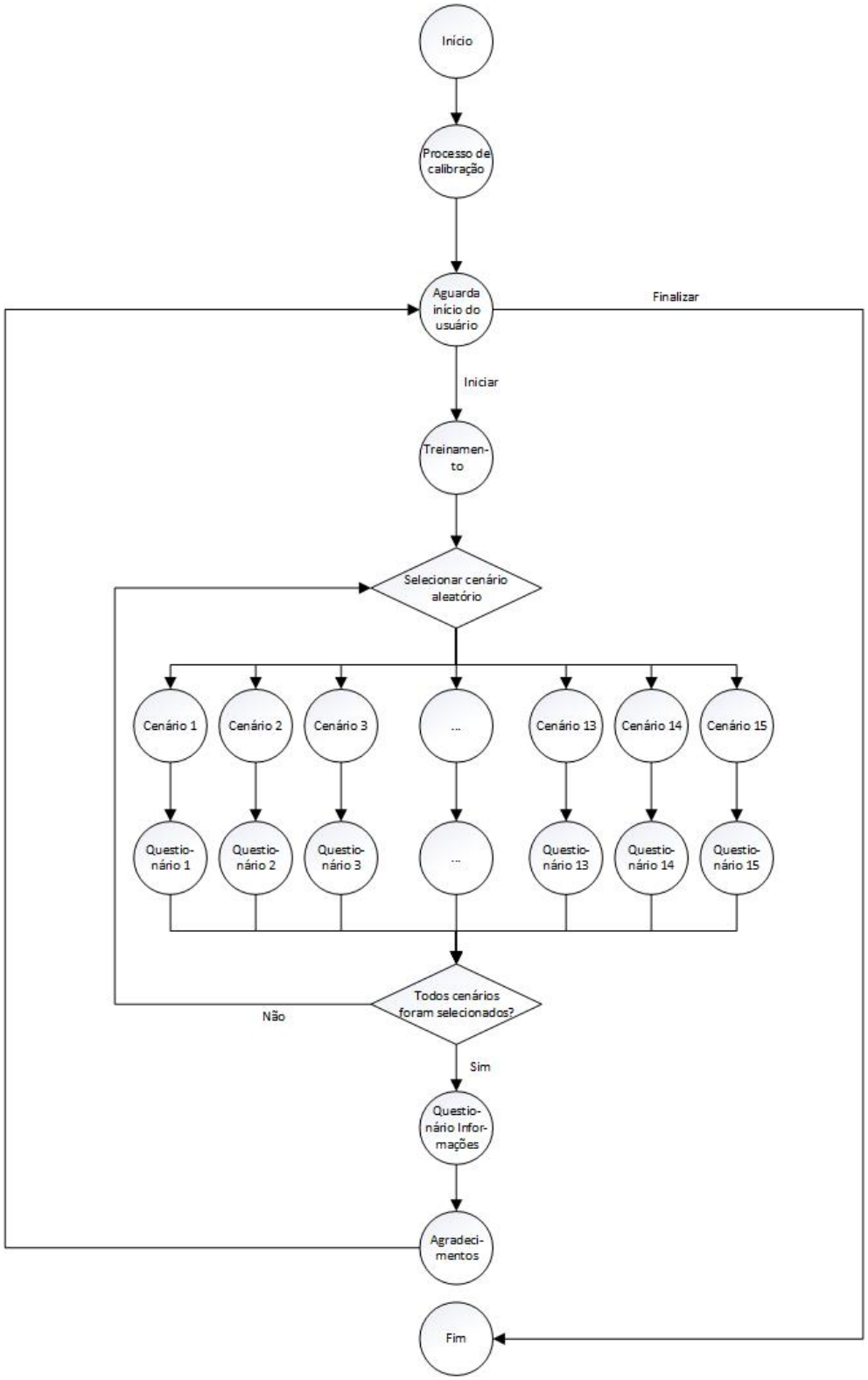
Fonte: Elaborado pelo autor.

Nos três ambientes, o participante permanece sentado em uma cadeira designada a ele. No ambiente RV não imersivo, o usuário utiliza um computador com um *mouse* para interagir com a aplicação e um monitor padrão, com resolução Full HD (1920 x 1080 *pixels*). No ambiente imersivo, tanto em RA quanto em RV, utilizou-se um capacete Meta Quest 3, com resolução de 2064×2208 *pixels* por olho, e controles Touch Plus. No caso do ambiente imersivo, foi determinado que, para uma melhor visualização dos personagens, o usuário deve estar 3 metros (aproximadamente) da posição onde a calibração determina a referência onde os personagens serão carregados. A Figura 24 apresenta a estrutura geral dos dois ambientes implementados..

Foram criados diversos cenários em ambos ambientes. O primeiro cenário é uma cena de calibração. Nos ambientes imersivos, é necessário calibrar o ambiente, determinado as fronteiras e limites para o HMD funcionar (obrigatório sempre que se liga o Meta Quest 3). Em seguida, a calibração do ambiente é iniciada. Neste cenário, é apresentado ao operador um personagem e, através do controle Toutch Plus, pode-se determinar que ponto do ambiente o personagem deve aparecer. O operador determina o ponto de vista e marca uma posição de referência.

Todos os cenários de RV são construídos, na interface imersiva e na interface não imersiva, simulando uma sala neutra, em tons de cinza, sem portas, janelas e nenhum tipo de elemento que possa distrair o participante. Para os cenários em RA, foi preparada

Figura 24 – Estrutura geral dos dois ambientes implementados



Fonte: Elaborado pelo Autor.

uma sala de aula física, sem muitos elementos do lado e atrás, onde o personagem será apresentado. O operador deve escolher a posição de referência de forma que nenhum objeto da sala possa interferir nas animações de movimentos corporais, sem nenhum obstáculo físico, para não quebrar a imersão do usuário.

Após a calibração, tem início o primeiro cenário que o usuário participante do experimento tem contato: o ambiente de treinamento (Figura 25). No treinamento, o usuário responde a 4 perguntas simples, sobre elementos simples. Este cenário foi desenvolvido principalmente para usuários sem experiência com os HMDs e utilização dos controles Touch Plus, para que entendam o básico do funcionamento das interações de ambientes RV e RA. Usuários do ambiente não imersivo também passam pelo mesmo treinamento, utilizando o *mouse*.

Figura 25 – Cenário de treinamento



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Encerrado o treinamento, o operador se retira da sala e deixa o usuário sozinho. Este usuário será guiado pelos cenários pela própria aplicação, que o conduzirá aos 15 cenários para visualizar os 15 personagens, que são mostrados de forma aleatória para cada participante. Em cada cena, o personagem irá aparecer na posição indicada na calibração, inicialmente estático. Após um período estático (5 segundos), o personagem começa a realizar os movimentos.

A maioria dos personagens (11 no total) reproduzem movimentos oculares e labiais (sincronizados com a fala) que foram capturados previamente com FaceCapture, uma biblioteca do Unity com aproximadamente 5 segundos (Figura 26a). Alguns destes

personagens, depois da execução desta animação, começam a seguir os movimentos dos usuários com os olhos, caso movam-se (mas sem sair da cadeira) para os lados. Os outros 4 personagens restantes não reproduzem movimentos capturados por não terem olhos, corpo ou face completamente humanoide ou boca. Até o fim desta etapa, os personagens ainda permanecem na mesma posição inicial.

Após a etapa da animação facial, os personagens iniciam uma animação de caminhar. Desta forma, os personagens irão se deslocar da posição inicial até próximo do usuário (em torno de 1,2m de distância), como na Figura 26b . Esse deslocamento leva em torno de 5 segundos. Para esse deslocamento, utilizou-se animações de caminhar do Adobe Mixamo. Apenas um dos personagens não caminha, por não ter corpo humanoide.

Ao se aproximar do usuário, os personagens irão agora executar uma animação personalizada no Unity, fazendo um movimento de inclinação e esticando os braços e as mãos, como se fosse tocar o usuário (Figura 26c), e retornando à posição normal. Esse movimento consome 5 segundos. O personagem então entra em estado de espera (*idle*) por mais 3 segundos, realizando um movimento de respiração. Assim se encerra a participação do personagem, passando para o próximo cenário.

Logo após a apresentação do personagem, é acionado o cenário do questionário. O questionário sempre é apresentado entre a exibição de um personagem e outro, e contém um total de 12 perguntas pontuais sobre as percepções do usuário em relação aos personagens, à apresentação e ao ambiente, como mostra a Figura 27. Todo este processo acontece sem nenhuma intervenção do operador.

Como mencionado anteriormente, os questionários estão construídos seguindo a escala Likert, utilizada pela maioria dos métodos que medem o Efeito do Vale da Estranheza, como as proposições de Bartneck *et al.* (2009) e Ho e MacDorman (2017). A escala varia de 1 a 5 pontos, 1 a 7 pontos ou 1 a 9 pontos, em sua maioria. Quanto maior o número de pontos, maior o refinamento nas respostas, porém escalas menores são menos complexas para os usuários.

Optou-se por usar a escala intermediária (1 a 7 pontos) nos experimentos, à exceção da avaliação da semelhança do personagem com um humano, que utilizou a maior escala de pontos recomendada, de 9 pontos, vista na Figura 27. No Apêndice A.1 encontra-se a interface para coleta das respostas às 12 questões sobre um personagem apresentado anteriormente ao participante.

As 12 questões apresentadas no questionário foram feitas de acordo com a necessidade de coleta de dados para responder às 10 hipóteses propostas nesta tese. As questões feitas foram:

Figura 26 – Cenário de apresentação dos personagens

(a) Personagem realizando movimento ocular e labial. (b) Personagem caminhando em direção ao usuário. (c) Personagem se inclina e tenta realizar um toque no usuário.



(a)



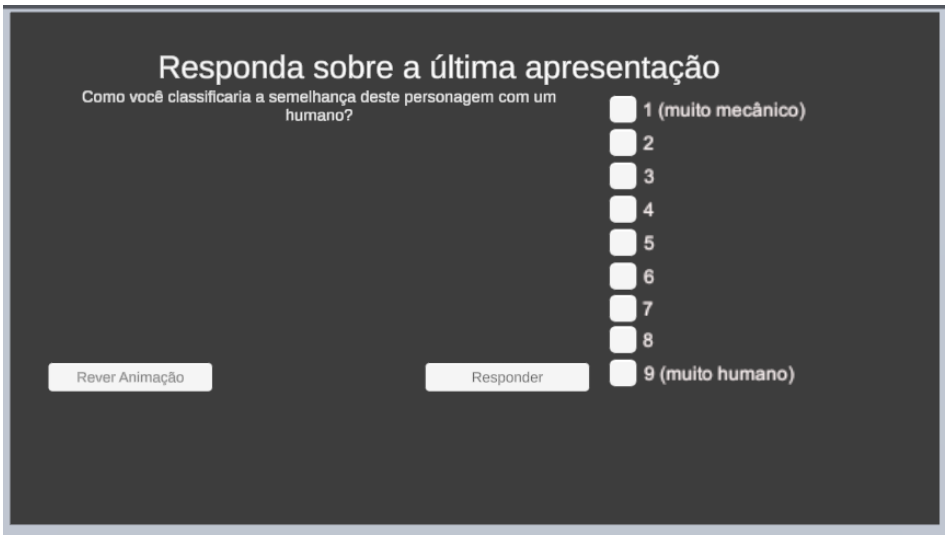
(b)



(c)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 27 – Cenário de questionário



Fonte: Elaborado pelo Autor.

- Como você classificaria a semelhança deste personagem com um humano?
- Quão estranho você considera este personagem?
- Quão simpático você considera este personagem?
- Quão presente você se sentiu no ambiente de RV ou RA?
- Quão real este ambiente de RV é para você?
- Como você descreveria sua experiência?
- Os movimentos oculares (piscar e direcionar o olhar) deste personagem parecem naturais?
- Os movimentos labiais (sincronizados com a fala) deste personagem parecem naturais?
- Os movimentos corporais (andar - aproximar - inclinar - tentar te tocar) deste personagem parecem naturais?
- Os movimentos - no geral - estão bem sincronizados entre si?
- Este personagem parece estranho com todos os movimentos?
- Este personagem parece simpático com todos os movimentos?

Ao terminar de apresentar os 15 personagens e os 15 questionários (com as 12 perguntas em cada questionário), é realizado um questionário para coleta de informações sobre o próprio usuário , como a faixa etária, faixa escolar, experiência com ambientes imersivos, dentre outras perguntas, no total de 12. A interface deste questionário é a mesma dos demais questionários (veja os questionários no Anexo A.2). As perguntas deste questionário de coleta de informações são:

- Quão imerso você se sentiu no ambiente de RV/RA?
- Como você descreveria sua experiência?
- Quão satisfeito você ficou com esta experiência?
- Qual seu sexo?
- Qual sua faixa etária?
- Qual sua escolaridade?
- Você possui experiência com algum dispositivo de realidade virtual?
- Com que frequência você utiliza dispositivo de realidade virtual?
- Você possui algum tipo de deficiência visual?
- Você possui algum tipo de daltonismo?
- Você possui algum tipo de deficiência auditiva?
- Você possui labirintite?

Ao completar este último questionário, o teste se encerra. Uma mensagem de agradecimento aparece e o usuário é instruído a retirar o capacete e os controles e colocá-

los no lugar indicado.

Os cenários e questionários foram construídos de forma a apresentar a mesma sequência (personagem estático, animação facial - ocular e labial - e animação corporal) em todos os personagens, fazendo também as mesmas questões sobre cada cena. Desta forma, pode-se comparar, separar ou agrupar as respostas para responder as hipóteses propostas.

Importante lembrar que todas as instruções aos participantes foram transmitidas antes dele ter qualquer contato com o experimento e, caso decidam participar, assinam um termo de participação e consentimento do uso de suas respostas. As instruções, além de escritas, foram também transmitidas verbalmente pelo operador, que elucida qualquer dúvida antes do início dos experimentos. As instruções e o termo de consentimento podem ser vistos no Apêndice B.

5.2 ESTRUTURA LÓGICA E IMPLEMENTAÇÃO DOS AMBIENTES DE RV E RA

5.2.1 Componentes de *Hardware*

Para o desenvolvimento dos ambientes de RV e RA utilizou-se os seguintes componentes de *hardware*:

5.2.1.1 Computador

Utilizou-se um computador com processador Intel Core i7-4790K, com CPU 4.00GHz, memória RAM de 16,0 GB, com uma placa de vídeo NVidia GeForce RTX 3050, 2 unidades de SSD, sendo uma Western Digital WD Green 480Gb e um GoldenFir de 1Tb, com sistema operacional Windows 11 Educational de 64bits.

Este computador possui um monitor LG UltraWide de 29", com resolução 2K pixel, um monitor Samsung 21"com resolução 1k pixel e uma televisão LG 42"com resolução até 2k pixel.

5.2.1.2 Apple iPhone 15 Pro

Para captura de movimentos e fotos para criação dos personagens, utilizou-se de um *smartphone* Apple iPhone 15 Pro (Figura 28).Este modelo foi lançado em setembro de 2023 com processador A17 Pro (CPU de 6 núcleos), placa gráfica com GPU de 6 núcleos, Neural Engine de 16 núcleos, com 256Gb de armazenamento interno, tela OLED sem

bordas de 6,1 polegadas, resolução de 2556 x 1179 pixels a 460 ppp Super Retina XRD, câmera de 48MPixel, com estabilização óptica de imagem, Zoom óptico 3x e Zoom digital 15x.

Figura 28 – Apple iPhone 15 Pro



Fonte: Elaborada pelo autor.

A Câmera frontal do iPhone 15 possui 12MPixel, com TrueDepth, Face ID e Sensor Lidar. Possui sensores GPS, Barômetro, Acelerômetro. Rede Wi-fi 5G e 6G, rede celular 5G e Sistema Operacional iOS 17.

5.2.1.3 Meta Quest 3

Para as apresentações em RV e RA, utilizou-se um capacete de realidade virtual e aumentada (VST) Meta Quest 3 (Figura 29). Lançado em outubro de 2023, ele possui um processador Snapdragon XR2 Gen 2, 8GB de memória RAM, 512GB de armazenamento interno, caixas acústicas integradas (e saída com conector 3.5mm para fones e dispositivos externos.

Possui ainda ajuste de profundidade, um par de monitores LCD com resolução 2064x2208 *pixels* (por olho), até 120Hz, com campo de visão 96° na vertical e 110° na horizontal, duas câmeras coloridas (RGB) para captura de imagens para realidade aumentada, posicionadas a frente de cada olho. No centro do capacete, um sensor de profundidade.

Ele possui detecção de movimentos com 6 graus de liberdade. Nas laterais inferiores possui duas pequenas câmeras monocromáticas utilizadas para rastreamentos dos controles Toutch Plus, um para cada mão, com sensores infravermelhos para rastreamentos de suas posições. O Meta Quest 3 possui bateria interna de 5000mAh, que possibilita de até 2 a 3 horas de uso contínuo por carga, variando com o tipo de aplicação executada.

Figura 29 – Capacete Meta Quest 3 - partes



Fonte: Meta (2023a).

5.2.2 Componentes de *Software*

Para o desenvolvimento dos ambientes de RV e RA utilizou-se os seguintes componentes de *softwares*:

- **Unity 3D versão 2022.3.25f1:** motor de jogos da Unity Technologies. Foi usado na construção dos ambientes de RV e RA, permitindo a criação das simulações dos personagens e objetos virtuais em cenários tridimensionais.
- **Meta SDK All-In-One versão 66.0.1:** ferramentas de desenvolvimento de *software* para o capacete Meta Quest 3. Utilizado, nesta tese, para desenvolver e implementar ambientes de RV e RA no Unity, garantindo compatibilidade com o *hardware* Meta.
- **Blender 4.0:** *software* de criação 3D gratuito e de código aberto. Utilizado, nesta tese, para realizar ajustes nos modelos 3D dos personagens e em suas texturas, garantindo maior precisão e qualidade visual.
- **Voice Mod 3.8.13:** *software* de modulação de voz em tempo real, projetado para alterar e transformar a voz dos usuários em uma variedade de formas e estilos. Foi usado para criar as vozes dos personagens cartunescos da tese.
- **Readyplayer.me**[1]**:** é uma plataforma *online* que permite a criação de avatares e personagens 3D personalizados a partir de uma foto ou de um modelo base da plataforma. Nesta tese, foi utilizado para gerar personagens virtuais cartunescos.
- **AvatarSDK.com**[2]**:** é uma plataforma *online* especializada na criação de personagens e avatares 3D a partir de fotografias ou imagens faciais. Nesta tese, foi utilizado para gerar personagens virtuais não tão realistas, porém melhores que os

[1] https://readyplayer.me/
[2] https://avatarsdk.com/

cartunescos em termos de semelhança com humanos.

- **Union Avatars**[3]**:** plataforma *online* que oferece ferramentas avançadas para a criação de avatares e personagens 3D personalizados, cartunescos ou fotorrealistas, com foco em integração para ambientes de realidade virtual, realidade aumentada, e jogos. Foi utilizado na criação de personagens nesta tese.
- **Avaturn**[4]**:** ferramenta *online* dedicada à criação de personagens 3D e avatares realistas personalizados. Essa plataforma necessita de 3 fotos para criação do modelo 3D, criando assim personagens virtuais mais realistas. Foi utilizada para criação dos personagens mais realistas desta tese.
- **Mixamo**[5] **:** ferramenta desenvolvida pela Adobe, esta plataforma *online* da que oferece uma vasta biblioteca de animações 3D e modelos de personagens prontos. Permite animar os modelos existentes na plataforma ou modelos criados em outros *softwares* ou plataformas. Foi utilizado nesta tese para criar os movimentos corporais dos personagens.
- **Unity FaceCapture:** biblioteca do Unity que permite integração com produtos da Apple, capturando a través de um sistema chamado FaceID (que une câmera infravermelha, projetor de pontos e processador neural do dispositivo) para animar, em tempo real, um personagem 3D no Unity. Foi utilizado nesta tese para captura dos movimentos oculares e labiais dos personagens, além de realizar a gravação do áudio em sincronia com estes movimentos.
- **Linguagem Python:** linguagem de programação de alto nível com uma vasta biblioteca disponível para diversos propósitos. Nesta tese, utilizou-se o Python juntamente com bibliotecas de estatística para realização das análises dos dados obtidos nos experimentos.

Apesar de não ser um item de *software*, para utilização do Unity Face Capture é necessário que o dispositivo esteja sempre estático em relação à face que está sendo capturada. Neste projeto foi utilizado um Apple iPhone 15 Pro (descrito na Seção 5.2.1.2). Foi necessário desenvolver um capacete para que fossem capturados os movimentos faciais com esse *smartphone*, visto na Figura 30.

Utilizou-se um capacete de plástico e um bastão de *selfie* com aste telescópica e um suporte de *smartphones*.

[3] https://app.unionavatars.com
[4] https://avaturn.me
[5] https://www.mixamo.com

Figura 30 – Capacete desenvolvido para o Unity FaceCapture



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2.3 Estrutura lógica dos ambientes de RV e RA construídos

A unidade fundamental no Unity é o *GameObject*. A cena virtual desenvolvida no Unity é organizada por meio de uma hierarquia composta por uma combinação de *GameObjects*, formando um grafo de cena. Os *GameObjects* possuem informações ou características conhecidas como componentes (*components*). Esses componentes podem conter dados específicos, como transformação (posição, escala e rotação); modelo 3D associado; câmera virtual; áudio; iluminação; animação; e, especialmente, *scripts* que adicionam funcionalidades específicas ao *GameObject* correspondente (UNITY3D, 2022).

O Unity é um motor de jogos e trabalha com o contexto de cenas. Uma Cena (*Scene*) representa um ambiente virtual onde todos os elementos de um jogo ou aplicação interagem entre si. Cada cena é composta por uma coleção de *GameObjects* organizados hierarquicamente, permitindo que o desenvolvedor crie os diferentes ambientes ou níveis dentro do projeto.

As cenas podem incluir diversos tipos de elementos, como objetos 3D, luzes, câmeras, sistemas de partículas, sons, animações e *scripts*. Essas cenas funcionam como unidades discretas de um projeto, que podem ser carregadas ou descarregadas em tempo de execução, facilitando a criação de jogos com múltiplos níveis ou aplicações complexas que requerem a mudança entre diferentes ambientes.

No Unity 2022, o gerenciamento de cenas se torna ainda mais eficiente, com funcionalidades aprimoradas para a criação, navegação e transição entre cenas, permitindo a implementação de fluxos de trabalho mais complexos e eficientes (UNITY3D, 2022).

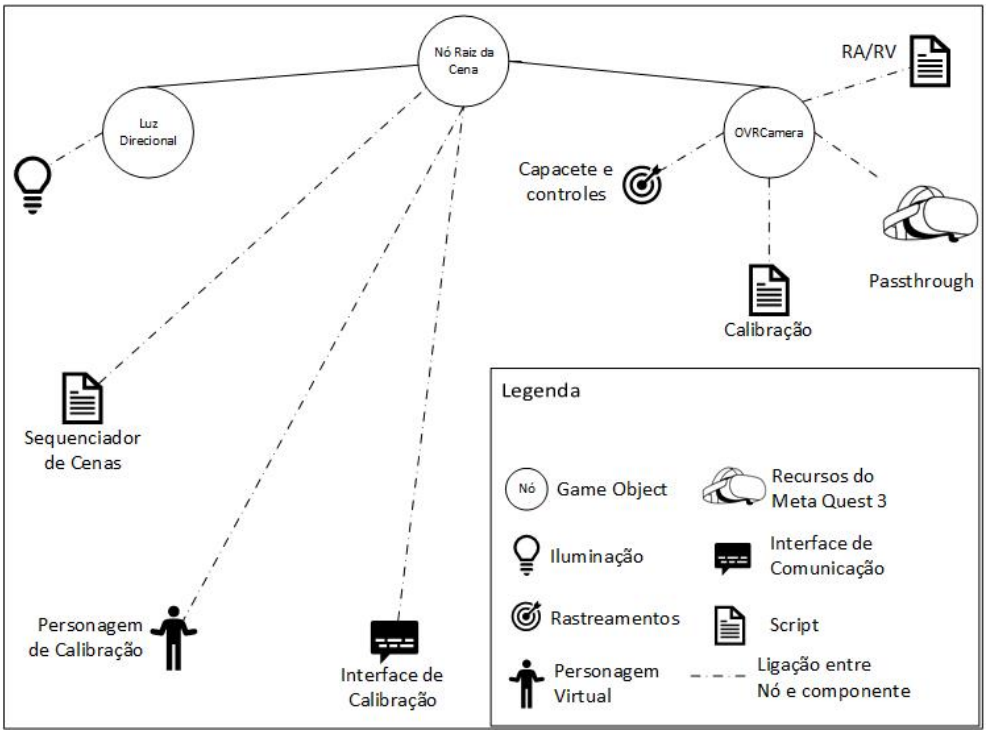
O ambiente aqui proposto possui o fluxo como mostrado na Figura 24. Desta

forma, nas próximas seções são detalhadas as principais cenas construídas no Unity para realizar a apresentação dos personagens e questionários e obter as respostas dos usuários participantes dos experimentos.

5.2.3.1 Cena de Calibração

Na construção dos ambientes virtual e aumentado, criou-se uma estrutura lógica baseada em cenas. Desta forma, a Figura 31 apresenta a estrutura da cena de calibração.

Figura 31 – Grafo da cena de Calibração

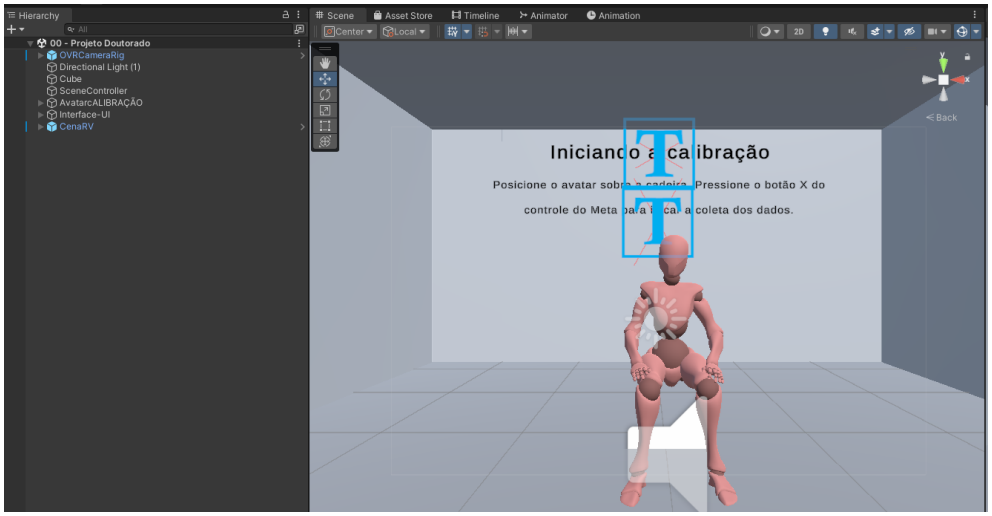


Fonte: Elaborado pelo Autor.

A Figura 32 mostra a imagem da cena de calibração. Nesta cena, os principais *GameObjects* são:

- **Gerenciador de Cena**: este componente é um *GameObject* vazio (sem nenhuma visibilidade na cena). Ele é responsável por armazenar outros *GameObjects*, *scripts* ou mesmo para melhor organizar visibilidade dos objetos no ambiente de desenvolvimento Unity. A este componente estão associados:
  - **Sequenciador de Cenas**: Este é um dos principais *scripts* do ambiente, pois é ele quem gerencia toda a sequencia de cenários presentes na aplicação. Inicialmente, a cena de calibração é automaticamente carregada. No entanto,

Figura 32 – Cena de Calibração



Fonte: Elaborado pelo Autor.

este sequenciador que organizará a sequencia aleatória de cenas que deverá ser acionada. Após finalizada a calibração, o *script* irá randomizar as cenas e determinar a ordem de apresentação destas cenas durante este experimento. O sequenciador sempre inicia com a cena de Treinamento, depois com a ordem randomizada determinada, é responsável por chamar as cenas e os respectivos questionários em sequência, até que todas tenham sido exibidas. Concluídas as cenas, o questionário informativo é acionado, para capturar as informações detalhadas do participante, e em seguida agradecer pela participação. Em seguida, é feito um novo sorteio aleatório da ordem das cenas. Em seguida, é carregada a cena de treinamento novamente para que um novo usuário inicie a responder o experimento. Este *script* também é responsável por criar o novo usuário e armazenar o novo teste na base de dados.

– **Personagem de Calibração**: Este *Gameobject* é um personagem estático, sem nenhum tipo de *script* ou animação associado. É utilizado apenas como uma referência visual para que o operador possa realizar a calibração, vendo exatamente o ponto selecionado para que os avatares apareçam nas demais cenas do experimento.

– Interface de Calibração: Esta interface no Unity é um conjunto de dois *Gameobjects*: um *Canvas* e um *EventSystem*. o *Canvas* permite a renderização de elementos 2D, como imagens, vídeos e textos, no ambiente 3D, gerando uma espécie de plano em uma determinada posição. O *EventSystem* atua como o núcleo do sistema de eventos de entrada, processando e distribuindo eventos de

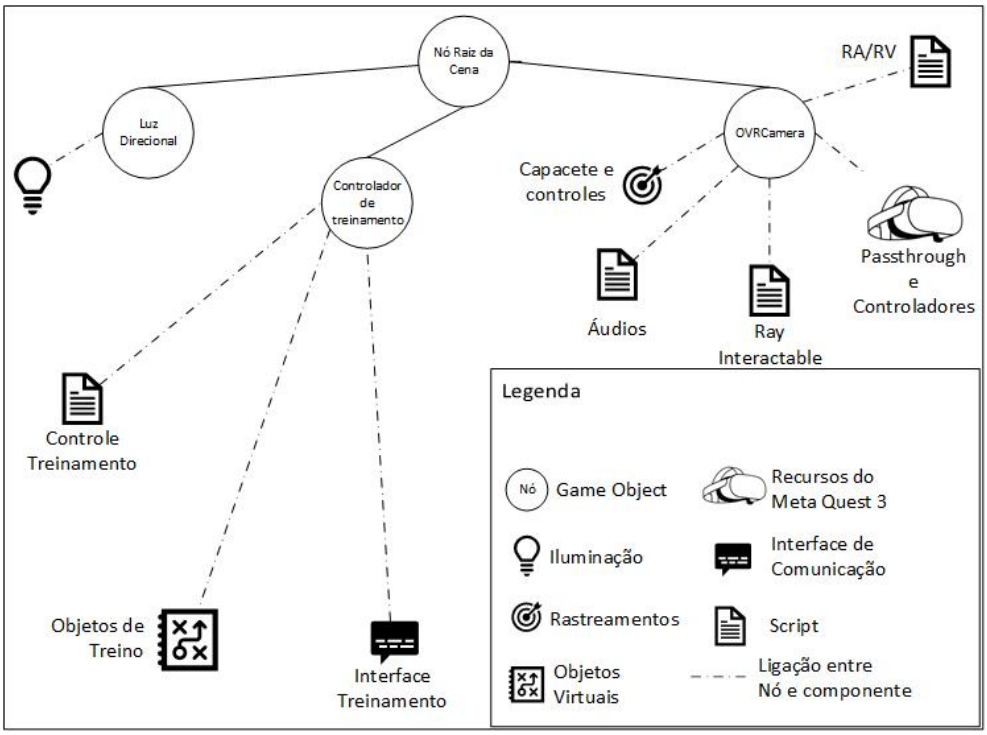
interação, como cliques, toques, e navegação por teclado ou controlador. Ele monitora os eventos de entrada do usuário e os direciona para os elementos apropriados, como botões, *sliders* e outras interações na tela.

- **Luz Direcional**: É uma luz virtual que incide sobre os objetos e ambiente virtual. É responsável pelo brilho e sombras do ambiente. A este nó está associado um elemento de iluminação direcional do Unity.
- **OVRCamera**: é o componente essencial do Meta SDK All-in-One, desenvolvido para integrar funcionalidades avançadas de realidade virtual e aumentada em projetos Unity. Ele fornece uma configuração de câmera otimizada para uso com dispositivos Meta Quest, permitindo a captura precisa dos movimentos do usuário, incluindo a posição e a orientação da cabeça e dos controladores. O OVRCamera facilita a configuração das câmeras (esquerda e direita) e seus respectivos âncoras, como o CenterEyeAnchor, que acompanha o movimento da cabeça, e os LeftHandAnchor e RightHandAnchor, que seguem os movimentos dos controladores esquerdo e direito, respectivamente.

  A este *GameObject* estão associados os seguintes componentes:

  - ***Script* RA/RV**, que permite alternar o funcionamento entre o RA (ativando um recurso chamado *Passthrough* do Meta Quest 3 (que permite converter o capacete de RV para RA) e o RV (quando o recurso está desativado).
  - ***Script* Calibração**, responsável por receber dos controladores os comandos do operador para posicionar o personagem na posição desejada e registrar a posição na memória, pois ela será o ponto de carregamento de todos os demais personagens durante o teste.
  - **Rastreamento de Capacetes e controles**: Este componente ligado no OVRCamera permite acesso aos sensores de rastreamento do óculos. Para a calibração, é necessário receber as posições apontadas pelo controlador e este componente é a ponte entre o *script* e o Meta Quest 3.
  - ***Passthrough***: É um recurso do Meta Quest 3 que permite acesso às imagens capturadas pelas câmeras em tempo real e integrar com a aplicação em RA. O *script* RV/RA aciona este recurso para determinar que tipo de ambiente será apresentado ao usuário.

Figura 33 – Grafo da cena de Treinamento

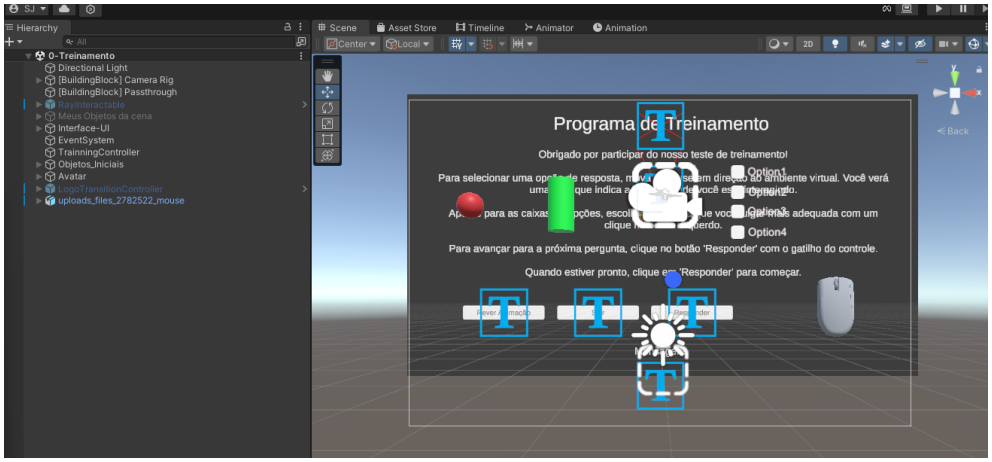


Fonte: Elaborado pelo Autor.

5.2.3.2 Cena de Treinamento

A Figura 34 mostra a imagem da cena de calibração. Nesta cena, os principais *GameObjects* são:

Figura 34 – Cena de Treinamento



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Nesta cena, os principais *GameObjects* são:

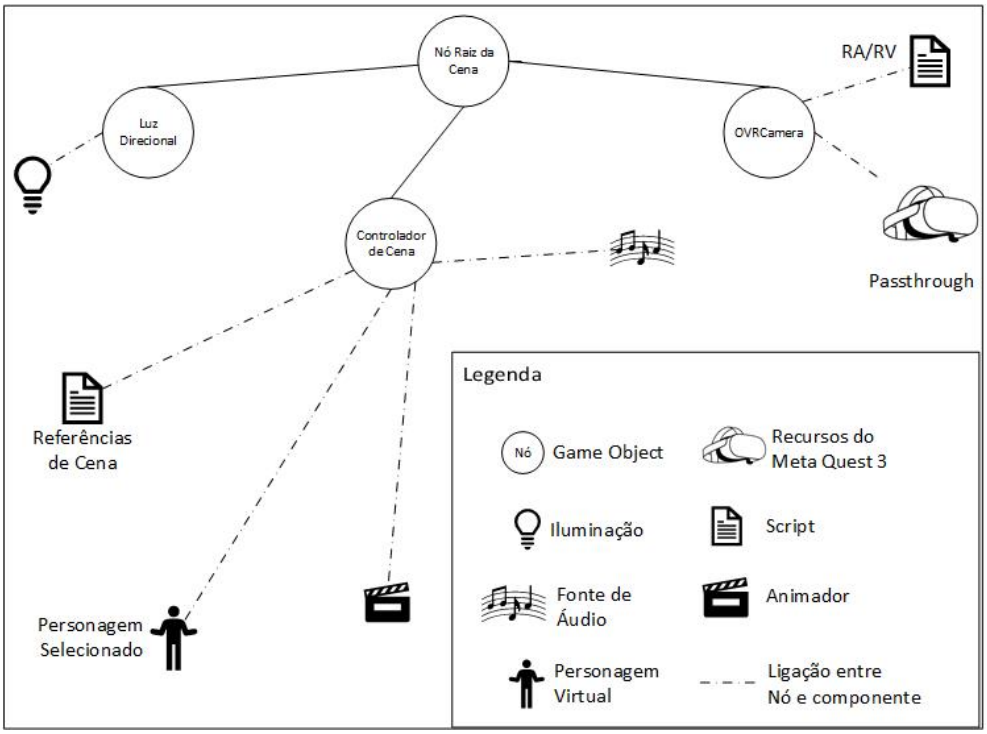
- **Controlador de treinamento**: este componente é um *GameObject* vazio (sem visibilidade na cena). Associados a este componente estão:
  - **Controle de treinamento**: Este *script* é responsável por controlar a dinâmica do treinamento. Ele faz o controle da apresentação da animação do treinamento, bem como por controlar a quantidade de vezes que esta animação foi solicitada (o usuário pode rever no máximo por 3 vezes a animação, e quando este número de vezes é atingido, o botão Rever Animação não é mostrado na cena). Ele é responsável também por acessar e exibir as perguntas e respostas nos componentes da Interface de Treinamento. Este controle também é responsável por armazenar as respostas do usuário na base de dados.
  - **Objetos de Treino**: Estes *Gameobjects* são três objetos presentes na cena de treinamento, apenas como elementos visuais: esfera, um cilindro e um cubo, cada um com uma cor primária diferente (vermelho, verde e amarelo). Estes objetos estão presentes a quase todo o treinamento. Na pergunta 3 do treinamento, apenas a esfera permanece visível, e uma animação a faz parecer quicar, sendo em seguida arguido ao participante se ele viu o objeto se mover.
  - **Interface de Treinamento**: Esta interface permite a renderização das perguntas, respostas e mensagens ao usuário durante todo o treinamento. A interface consiste em uma tela com fundo cinze escuro e letras em branco. São exibidos como texto um título, na parte superior, a pergunta, logo abaixo do título, e uma mensagem de *feedback* abaixo. Como botões apresenta-se Rever Animação e Responder. Como opções no lado direito, estão valores de 1 a 4, onde apenas o primeiro e o último elemento contém um texto para contextualizar os níveis (por exemplo 1 - Concordo e 4 - Discordo). O *script* de controle de treinamento alimenta os elementos de título, opções e botões com as informações carregadas do banco de dados.
- **Luz Direcional**: É uma luz virtual que incide sobre os objetos e ambiente virtual. É responsável pelo brilho e sombras do ambiente. A este nó está associado um elemento de iluminação direcional do Unity, simulando uma luz ambiente (sol) constante.
- **OVRCamera**: é o componente que fornece a configuração de câmera otimizada para uso com dispositivos Meta Quest, conforme dito anteriormente.
  A este *GameObject* nesta cena, estão associados:
  - ***Script* RA/RV**, que permite alternar o funcionamento entre o RA (ativando um recurso chamado *Passthrough*, conforme explicado anteriormente).

- ***Script Ray Interactable***: O *Ray Interactable* é um componente utilizado em aplicações Unity, especialmente em projetos de RV e RA, para permitir a interação com objetos na cena por meio de raios (*raycasts*). O *script Ray Interactable* criado detecta quando um raio, emitido a partir dos controladores colide com um objeto interativo na cena, criados no componente Interface de Treinamento. Quando essa colisão ocorre, o *Ray Interactable* pode desencadear uma variedade de eventos, como selecionar uma opção ou clicar em um botão. Desta forma, é possível capturar as respostas dos usuários diretamente na interface, sem necessidade de questionários externos ou intervenção verbal do operador.
- **Rastreamento de Capacetes e controles**: Este componente ligado no OVRCamera permite acesso aos sensores de rastreamento do óculos. Para a calibração, é necessário receber as posições apontadas pelo controlador e este componente é a ponte entre o *script* e o Meta Quest 3.
- ***Passthrough e Controladores***: o componente *Passthrough* é o que permite converter o capacete de RV para RA. Associando também o componente de *Controladores* a esse *GameObject*, o acesso aos dados dos controles Toutch Plus (como coordenadas, funções acionadas, etc) e do rastreio das mãos (reconhecimento de gestos e movimentos) ficam disponíveis na aplicação. Optou-se por desabilitar o rastreio das mãos para simplificar a utilização para os usuários sem experiência com RA/RV. Os dados obtidos por esse componente serão utilizados pelo *script Ray Interactible*.
- ***Scripts* Audios** - Este *script* associado ao *OVRCamera* permite que o *script Ray Interactable* reproduza sons de cliques quando alguma opção ou botão é selecionado ou pressionado, fornecendo um *feedback* não só visual, mas também auditivo.

5.2.3.3 Cena de Apresentação dos Personagens

A cena de apresentação dos personagens é similar à cena de treinamento, com diferenças na interatividade. Nesta cena, não há nenhum tipo de controle interativo (seja dos controladores ou dos rastreadores). Ela foi projetada para não permitir nenhuma intervenção do usuário enquanto todo o experimento estiver em execução. A Figura 35 apresenta o grafo da cena.

Figura 35 – Grafo da cena de Apresentação dos Personagens



Fonte: Elaborado pelo Autor.

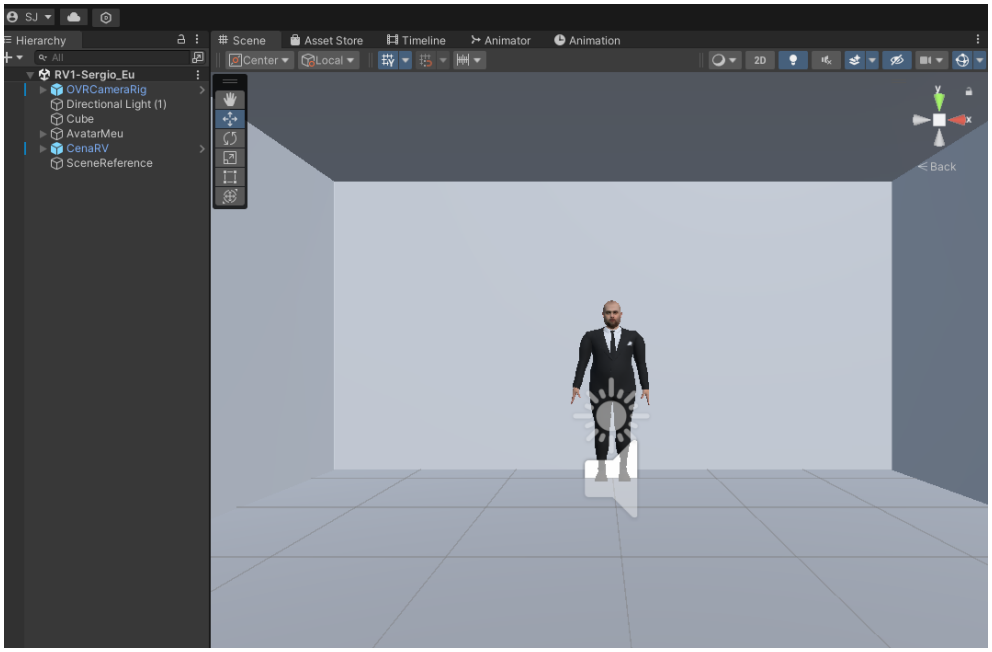
Os 15 personagens são exibidos nesta cena da mesma forma, com o carregamento do personagem selecionado para o experimento de forma aleatória pelo controlador de cenas descrito anteriormente. A Figura 36 mostra a cena de apresentação.

A Figura 36 mostra a imagem da cena de calibração. Nesta cena, os principais *GameObjects* são:

Os *GameObjects* desta cena são:

- **Controlador de Cena**: Este componente é um *GameObject* vazio (sem visibilidade na cena). Associados a este componente estão:
  - **Referências de Cena**: Este *script* é responsável por controlar os elementos herdados da calibração. Ele recebe as informações de qual personagem deve ser carregado, qual posição o personagem deve ser renderizado (de acordo com a escolha do operador na calibração), o nome do componente de animação do personagem (que pode ser *Animator* ou *Playable Director*), e carrega o arquivo de áudio que será reproduzido como fala do personagem (quando o personagem possui fala). Todas as informações são configuradas nos objetos apropriados pelo *script* antes do início da execução da cena.
  - **Personagem Selecionado**: Este *GameObject* carrega o personagem que foi selecionado aleatoriamente na cena anterior pelo Controlador de Cenas e o

Figura 36 – Cena de Apresentação dos Personagens



Fonte: Elaborado pelo Autor.

renderiza na posição indicada durante a calibração.

  - **Fonte de Áudio**: Este componente, associado ao *Sound Source* do personagem, é responsável pela reprodução do áudio carregado de acordo com as informações definidas nas Referências de Cena.

  - **Animador**: Este componente gerencia as animações do personagem, conforme as informações recebidas nas Referências de Cena. Dependendo do personagem, pode utilizar o *Animator* ou o *Playable Director*.

- **Luz Direcional**: É uma luz virtual que incide sobre os objetos e o ambiente virtual. Ela é responsável pelo brilho e sombras do ambiente. Este nó está associado a um elemento de iluminação direcional do Unity, simulando uma luz ambiente (sol) constante.
- **OVRCamera**: É o componente que fornece a configuração de câmera otimizada para uso com dispositivos Meta Quest, conforme mencionado anteriormente. A este *GameObject*, nesta cena, estão associados:

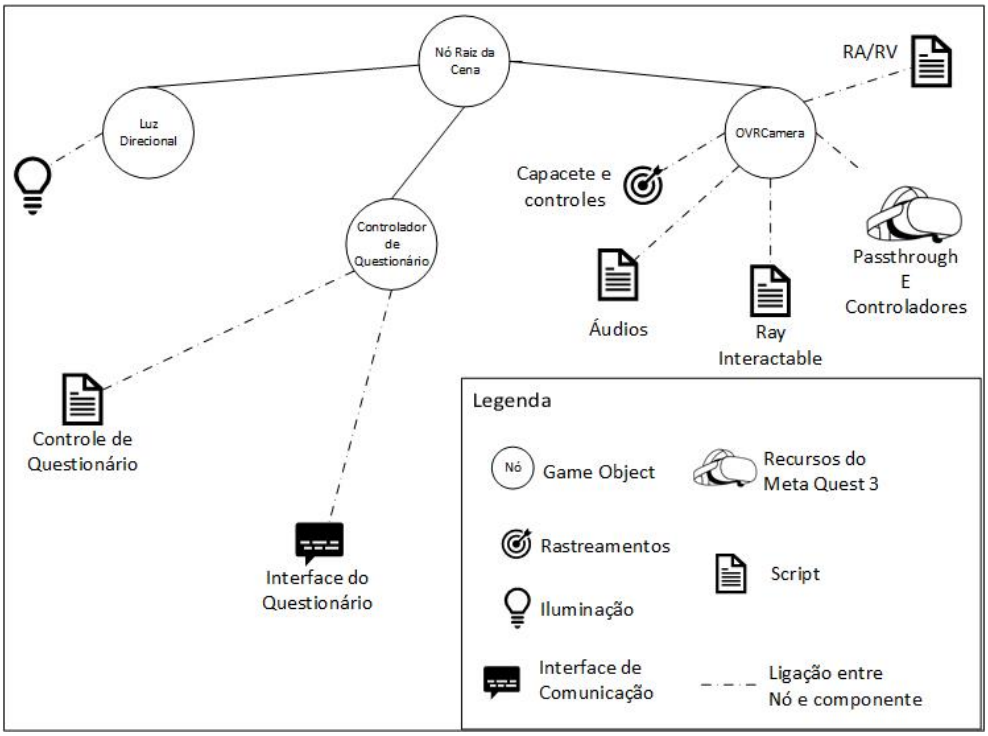
  - ***Script* RA/RV**: Permite alternar o funcionamento entre RA (ativando um recurso chamado *Passthrough*). O *Passthrough* permite converter o capacete de RV para RA.

5.2.3.4 Cena do Questionário

A cena de apresentação dos questionários, da mesma forma que a Cena de Apresentação dos Personagens, apresenta os 15 questionários da mesma forma, com o carregamento das perguntas e opções de resposta selecionados de acordo com o personagem apresentado naquele momento.

Esta cena também é utilizada para realização do questionário de coleta de informações do usuário, como sendo o último questionário exibido após todos os questionários de personagens, mostrando a mensagem de agradecimentos ao final. Conforme o gráfico da Figura 37.

Figura 37 – Grafo da cena de Questionário



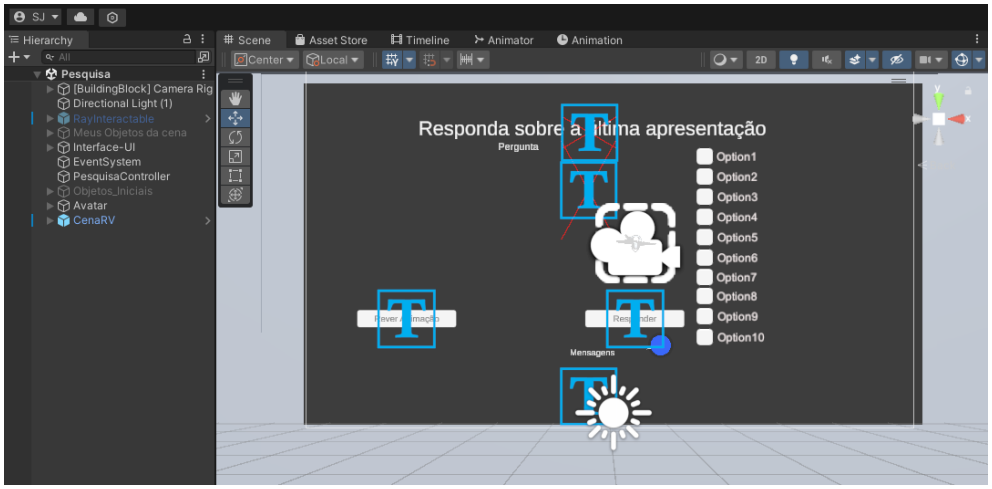
Fonte: Elaborado pelo Autor.

A Figura 38 mostra a cena de questionário.

Os principais *GameObjects* desta cena são:

- **Controlador de Questionário**: Este componente é um *GameObject* vazio (sem visibilidade na cena). Associados a este componente estão:
  - **Controlador de Questionário**: Este componente, é responsável por gerenciar a apresentação e o fluxo das perguntas do questionário durante o experi-

Figura 38 – Cena de Questionário



Fonte: Elaborado pelo Autor.

mento. Ele é um *script* que controla diversos aspectos da interação do usuário com o questionário. O componente faz o carregamento das perguntas e respostas apropriadas ao personagem que foi apresentado. O *script* ainda controla a navegação entre as perguntas, garantindo que apenas uma pergunta seja exibida por vez. Ao final do questionário, as respostas coletadas são salvas localmente e em um banco de dados. O *script* ainda é responsável por permitir repetições, gerenciando o contator de repetições. Este contador de repetições é verificado e atualizado conforme necessário. O *script* interage diretamente com o controlador de cenas (descrito na Seção 5.2.3.3) para obter o nome do personagem e para informar quando o questionário foi concluído, possibilitando a transição para a próxima cena do experimento.

  - **Interface do Questionário**: Esta interface permite a renderização das perguntas, respostas e mensagens ao usuário. A interface consiste em uma tela com fundo cinze escuro e letras em branco. São exibidos como texto um título, na parte superior, a pergunta, logo abaixo do título, e uma mensagem de *feedback* abaixo. Como botões apresenta-se Rever Animação e Responder. Como opções no lado direito, estão valores de 1 a 7 ou 1 a 9 (dependendo a escala Likert utilizada), onde apenas o primeiro e o último elemento contém um texto para contextualizar os níveis (por exemplo 1 - Nada Estranho e 7 - Muito Estranho). O *script* de Controle de Questionário alimenta os conteúdos de título, opções e botões com as informações carregadas do banco de dados.

- **Luz Direcional**: Luz virtual que incide sobre os objetos e o ambiente virtual, como

descrito nas seções anteriores.

- **OVRCamera**: O funcionamento do OVRCamera é exatamente igual ao apresentado na Seção 5.2.3.2.

5.3 DESENVOLVIMENTO DOS PERSONAGENS

Os personagens utilizados nesta tese foram escolhidos com o propósito de investigar o Efeito Vale da Estranheza.

Para isso, os personagens foram dispostos em uma linha de crescimento de semelhança humana, abrangendo diferentes níveis de realismo:

- Personagens Estilizados: Representam o extremo menos realista, com traços intencionalmente artificiais ou exagerados, oferecendo um ponto de partida distante da aparência humana, cartunescos.
- Personagens Semi-Realistas: Situam-se no meio da linha, combinando traços mais detalhados com certa estilização, refletindo uma fase de transição na percepção de semelhança.
- Personagens com Características Peculiares: Personagens que apresentam um grau significativo de semelhança humana, mas com imperfeições propositalmente inseridas, como deformidades físicas ou traços incompletos. Essas peculiaridades foram incluídas para intensificar o efeito de estranheza, explorando a reação dos usuários a representações que se aproximam, mas não atingem o realismo completo.
- Personagens Realistas: No extremo mais realista, esses personagens apresentam alta fidelidade aos traços humanos, com o objetivo de explorar se a semelhança intensa supera ou intensifica o Vale da Estranheza.

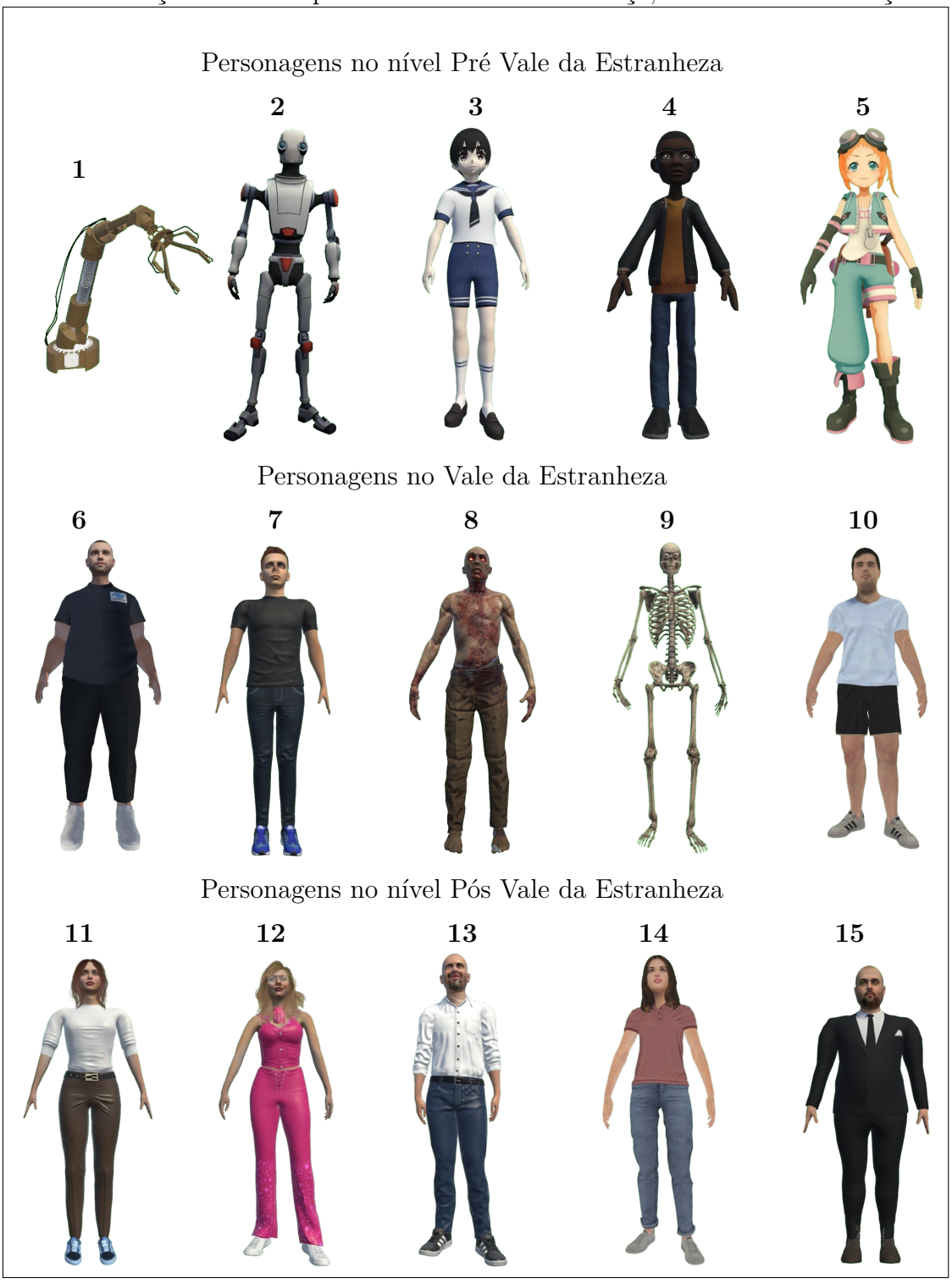
A Figura 39 apresenta todos os personagens utilizados. Os personagens de 1 a 5 esão na região pré Vale da Estranheza. De 6 a 10 os personagens que estão dentro do Vale e de 11 a 15 os personagens do pós Vale da Estranheza.

Essa abordagem permite analisar como diferentes graus de realismo afetam a percepção dos usuários, contribuindo para uma compreensão mais profunda do Efeito do Vale da Estranheza.

Para a criação e seleção destes personagens, utilizou-se das ferramentas e repositórios apresentados na Seção 5.2.2.

Figura 39 – Personagens em ordem crescente de semelhança

Semelhança humana esperada:1 - menor semelhança; 15 maior semelhança.



Fonte: Elaborado pelo Autor

5.3.1 Personagens desenvolvidos

Braço Robótico

Apesar de não ter uma forma humana, este personagem (visto na Figura 40) foi escolhido na Asset Store do Unity, para tentar abranger a região inicial da curva do Vale da Estranheza.

É um braço robótico industrial, articulado em suas garras e juntas, que foi animado fazendo os movimentos naturais de um braço trabalhando, cuja função é remover objetos cilíndricos de uma posição para outra.

Figura 40 – Personagem Braço Robótico



Fonte: Adaptado de Unity Asset Store (2023)

Este personagem não tem fala nem se desloca no ambiente. Faz movimentos circulares e de abertura e fechamento da garra para pegar um cilindro do seu lado direito e movê-lo para o lado esquerdo, girando em seu eixo principal. Possui sons que representam motores hidráulicos controlando esses movimentos.

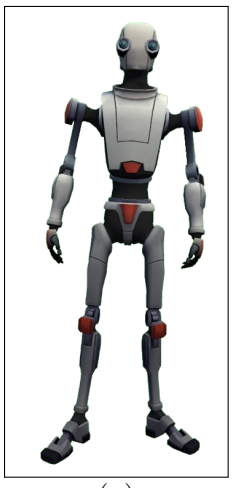
Kyle

Apesar de não possuir uma aparência completamente humana, este personagem (visto na Figura 41) representa um ponto inicial no crescimento da curva do Vale da Estranheza.

Este robô bípede, com design simplificado e articulações visíveis, com traços familiares aos humanos, que pode influenciar a percepção dos participantes no experimento. Os olhos se direcionam artificialmente para o participante através de *scripts*. Ele não possui movimentos labiais, por não possuir boca nem mandíbula.

Figura 41 – Personagem Kyle - Robô bípede

(a) Personagem de corpo inteiro. (b) Face do personagem.



(a)



(b)

Fonte: Adaptado de Unity Asset Store (2023)

André

Este personagem, chamado André (visto na Figura 42), apresenta um estilo visual inspirado em *anime*, aproximando-se da aparência humana, mas ainda preservando traços estilizados. Ele possui movimentos corporais, oculares e labiais, embora seus olhos sejam desproporcionalmente grandes, característica comum no estilo *anime*. André teve seus movimentos labiais e oculares controlados por *scripts*.

Daniel

O personagem Daniel (visto na Figura 43) apresenta um estilo *cartoon*, com características estilizadas que destacam sua identidade animada, como as mãos exageradamente grandes em relação ao corpo. Ele possui movimentos oculares e labiais fluidos, mas suas proporções peculiares, especialmente nas mãos, pescoço e cabeça, o posicionam no início da curva do Vale da Estranheza. O UnityFaceCapture foi utilizado para capturar os movimentos faciais do personagem.

Bia

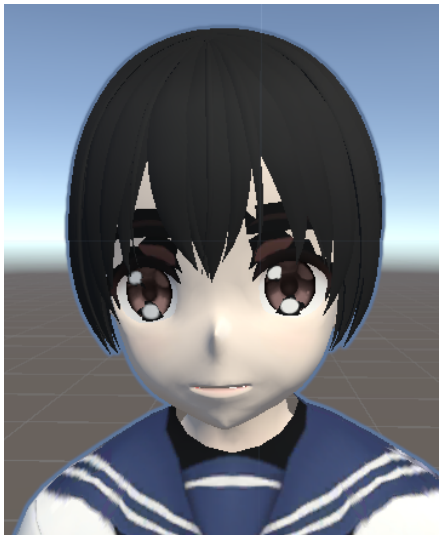
A personagem Bia (mostrada na Figura 44) apresenta uma forma estilizada e vibrante, com um visual marcante. Ela possui movimentos oculares e labiais completos, além de exibir movimentos corporais suaves. Bia foi escolhida para representar o ponto mais alto da curva antes do Vale da Estranheza. Seus movimentos faciais foram capturados

Figura 42 – Personagem André

(a) Personagem de corpo inteiro. (b) Face do personagem.



(a)



(b)

Fonte: Adaptado de Unity Asset Store (2023)

Figura 43 – Personagem Daniel

(a) Personagem de corpo inteiro. (b) Face do personagem.



(a)



(b)

Fonte: Adaptado de Unity Asset Store (2023)

com o Unity FaceCapture, o que contribui para garantir uma sincronia perfeita entre seus movimentos labiais e a fala, além dos movimentos oculares.

Figura 44 – Personagem Bia
(a) Personagem de corpo inteiro. (b) Face do personagem.



(a) (b)

Fonte: Adaptado de Unity Asset Store (2023)

Serjão

Este personagem, chamado Serjão (visto na Figura 45), é o primeiro a começar a descer em direção ao Vale da Estranheza, apresentando uma aparência que se aproxima mais do realismo humano, mas ainda com traços muito estilizados. O personagem possui os movimentos oculares e faciais, além de ter a animação de caminhar, se aproximar e tentar tocar o usuário. No caso deste personagem, optou-se por usar um *script* de sincronismo labial com o arquivo de áudio da fala para deixá-lo mais artificial propositalmente.

José

Este personagem, chamado José (visto na Figura 46), foi criado na plataforma Avaturn.me, que permite a construção de personagens altamente personalizados com base em fotos. José foi desenvolvido para se aproximar do fundo do Vale da Estranheza, com uma aparência que reflete um alto nível de realismo, mas que apresenta uma imperfeição significativa: a ausência do nariz, o que pode gerar um desconforto nos observadores.

José é um dos dois personagens gerados por inteligência artificial, sendo criado a

Figura 45 – Personagem Serjão

(a) Personagem de corpo inteiro. (b) Face do personagem.



(a)



(b)

Fonte: Adaptado de ReadyPlayer.me.

Figura 46 – Personagem José

(a) Personagem de corpo inteiro. (b) Face do personagem.



(a)



(b)

Fonte: Adaptado de Avaturn.me.

partir de uma imagem de uma pessoa que não existe. Para isso, utilizou-se o ChatGPT[6], (no modelo 4.0) da OpenAI, para que ele determinasse a melhor forma de obter um texto descritivo (*prompt*) para obter uma imagem fotorrealista de uma pessoa imaginária. Pediu-se para gerar "a face fotorrealista de um rapaz, aparentado próximo a 20 anos, com cabelos curtos e castanhos, olhos castanhos escuros, em frente a um fundo de tela verde. Este rapaz tem um corte que remove seu nariz, expondo a cavidade nasal, mas tem os olhos, boca e todo o restante da face perfeitamente normais". O resultado pode ser visto na Figura 47.

Figura 47 – Imagem utilizadas para José gerar
(a) José, de perfil esquerdo. (b) José de frente. (c) José, de perfil direito.

(a) (b) (c)



Fonte: Elaborado pelo Autor, com auxílio de Inteligência Artificial.

A imagem foi fornecida ao Avaturn.me, como a foto de uma pessoa, para que se gere um personagem com as características extraídas desta imagem. O personagem José foi gerado. Mas possuía nariz, a plataforma não é preparada para não gerar qualquer parte do personagem. A textura cobriu toda região nasal do personagem e, com o auxílio do Blender, removeu-se a protuberância nasal do personagem. O personagem utiliza *scripts* para os movimentos oculares e labiais.

Zumbi

Este personagem, chamado Zumbi (visto na Figura 48) é esperado que esteja no fundo do Vale da Estranheza, apesar de apresentar a melhor qualidade em termos de textura e iluminação entre os personagens utilizados no experimento.

Neste personagem foi adicionado uma animação diferente ao caminhar, simulando

[6] Disponível em https://openai.com/chatgpt/ Acesso em 03/03/2024

Figura 48 – Personagem Zumbi

(a) Personagem de corpo inteiro. (b) Face do personagem.



(a)



(b)

Fonte: Adaptado de Unity AssetStore (2023)

o andar de zumbis em filmes ou jogos de computador, como se arrastasse as pernas ao invés de caminhar naturalmente. O personagem não fala, apenas emite grunhidos.

Esqueleto

O Esqueleto (apresentado na Figura 49) foi escolhido para representar o ponto mais profundo do Vale da Estranheza. Sua aparência esquelética, com olhos nas cavidades oculares, intensifica a sensação de estranheza.

A face do Esqueleto, com olhos que parecem inapropriados em um crânio desprovido de carne, adicionam elementos perturbadores ao personagem. Os olhos do Esqueleto possuem o *script* que faz com que o Esqueleto direcione os olhos para o participante, dando uma sensação que pode ser desconfortante para algumas pessoas. Este personagem não fala.

Neto

O personagem, chamado Neto e visto na Figura 50, tem a intenção de representar um salto em direção aos personagens realistas. Um fator que contribui para não deixar Neto mais alto na curva é o fato dos movimentos inseridos. Os braços são curvos em excesso, assim como o pescoço aparece desproporcional ao utilizar a animação de caminhar, aproximar e tentar tocar.

Figura 49 – Personagem Esqueleto

(a) Personagem de corpo inteiro. (b) Face do personagem.



(a) (b)

Fonte: Adaptado de Unity AssetStore (2023)

Neto possui animações faciais capturadas pelo Unity FaceCapture, mas nos modelos do *Avatarsdk.com*, os *scripts* para direcionar o olhar ao participante não funcionaram. Após a animação, os olhos permanecem fixos para frente, perdendo o contato visual com o usuário.

O personagem Neto é a representação de uma pessoa real, cuja Figura 51 apresenta a foto utilizada em sua geração.

Maria

Esta personagem, chamada Maria (visto na Figura 52), exibe uma aparência mais refinada e detalhada, reduzindo algumas das imperfeições observadas em Neto, mas ainda mantendo certos elementos que a posicionam ligeiramente abaixo do realismo completo.

Os movimentos de piscar foram colocados para funcionar aleatoriamente de 2 a 5 segundos através de *script*, que também faz Maria direcionar o olhar para o usuário com o HMD.

Luciani

Esta personagem, chamada Luciani (visto na Figura 53), apresenta uma série de características que refletem um nível de realismo misturado com traços estilizados. Luciani exibe uma aparência detalhada, mas com algumas inconsistências visuais que

Figura 50 – Personagem Neto

(a) Personagem de corpo inteiro. (b) Face do personagem.



(a)



(b)

Fonte: Adaptado de Avatarsdk.com.

Figura 51 – Foto utilizada para gerar Neto



Fonte: Elaborado pelo Autor

contribuem para uma leve sensação de estranheza.

Os cabelos, embora bem modelados, mostram uma uniformidade que não é típica do cabelo humano real, o que contribui para uma sensação de artificialidade. A expressão facial de Luciani também apresenta uma rigidez perceptível.

Esta personagem também foi gerada a partir de uma pessoa real, como mostra a Foto 54.

Os movimentos oculares e labiais foram capturados pelo Unity FaceCapture, o que proporciona movimentos mais precisos. Por este motivo, Luciani tem um passo a frente em relação à personagem Maria.

Figura 52 – Personagem Maria

(a) Personagem de corpo inteiro. (b) Face do personagem.



(a) (b)

Fonte: Adaptado do Avaturn.me.

Figura 53 – Personagem Luciani

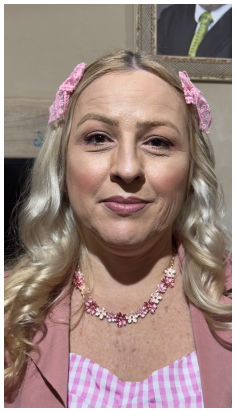
(a) Personagem de corpo inteiro. (b) Face do personagem.



(a) (b)

Fonte: Adaptado do Avatarsdk.com.

Figura 54 – Foto utilizada para gerar a personagem Luciani



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Rodrigo

Rodrigo (visto na Figura 55), exibe uma aparência que se aproxima mais do realismo, mas ainda carrega algumas características que podem provocar uma leve estranheza.

Figura 55 – Personagem Rodrigo

(a) Personagem de corpo inteiro. (b) Face do personagem.



(a)



(b)

Fonte: Adaptado do Unionavatars.com.

Observa-se algumas imperfeições, como a textura da pele, principalmente no rosto. Essa característica pode contribuir para uma percepção de artificialidade. A Foto 56 foi a foto fornecida ao Avatarsdk.com para que fosse gerado este personagem.

Figura 56 – Foto utilizada para gerar Rodrigo



Fonte: Elaborado pelo Autor.

A expressão facial de Rodrigo, que parece indicar um leve sorriso constante, pode ser percebida como pouco natural, especialmente devido à falta de variação nas emoções expressas.

Os movimentos faciais de Rodrigo foram produzidos artificialmente, com utilização do *script* de sincronia labial, *script* de movimentos oculares para seguir o usuário com os olhos e piscar aleatoriamente de 2 a 5 segundos.

Sofia

Esta personagem, chamada Sofia (visto na Figura 57), apresenta uma combinação de características que a colocam em um nível intermediário na curva do Vale da Estranheza, demonstrando uma aparência geral realista, mas ainda com traços que contribuem para uma leve estranheza.

Sofia, assim como José, foi gerada totalmente por inteligência artificial, desde a concepção das imagens (quando foi solicitado ao ChatGPT[7] da OpenAI, no modelo 4.0) que gerasse o texto para criação da imagem "a face fotorrealista de uma moça, aparentando próximo a 20 anos, com cabelos médios, castanhos, olhos azuis, em frente a um fundo verde") para criar as imagens vistas na Figura 58.

Foram adicionados os *scripts* para sincronia labial, piscar dos olhos e acompanhar os movimentos do usuário com o olhar. Optou-se por não utilizar a captura dos movimentos para ter o personagem totalmente sem influência humana natural.

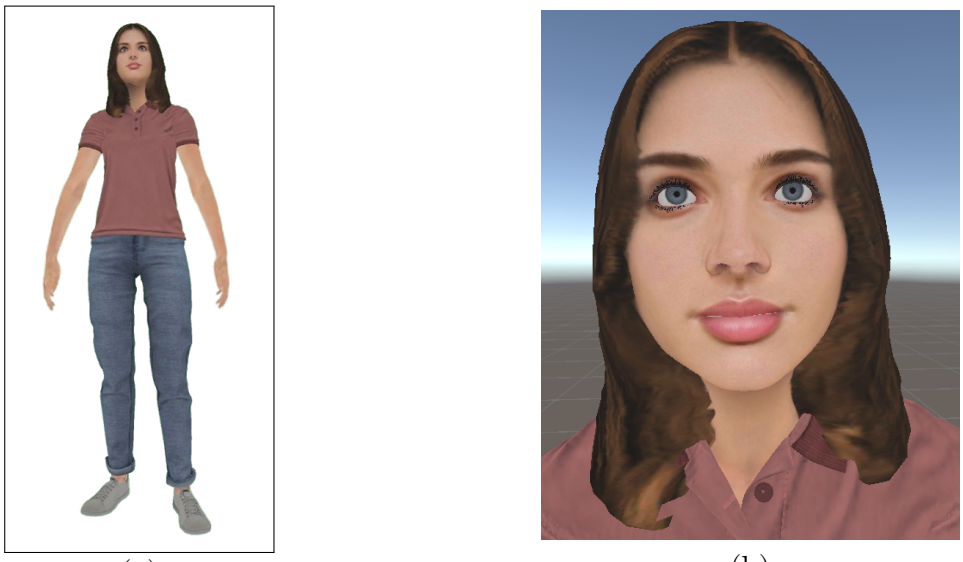
Sérgio

Este personagem, chamado Sérgio (visto na Figura 59), representa a tentativa de alcançar um alto nível de realismo, com proporções corporais e faciais bem definidas e

[7] https://openai.com/chatgpt/

Figura 57 – Personagem Sofia

(a) Personagem de corpo inteiro. (b) Face do personagem.



(a) (b)

Fonte: Adaptado do Unionavatars.com.

Figura 58 – Fotos geradas para criação de Sofia

(a) Sofia, em perfil esquerdo. (b) Sofia de frente. (c) Sofia, em perfil direito.

(a) (b) (c)



Fonte: Elaborado pelo Autor com inteligência artificial.

um estilo visual que busca transmitir seriedade e profissionalismo. No entanto, como em outros personagens criados nesta plataforma, ainda há alguns elementos que contribuem para uma leve estranheza.

Figura 59 – Personagem Sérgio
(a) Personagem de corpo inteiro. (b) Face do personagem.



(a) (b)

Fonte: Adaptado do Avaturn.me.

Para criar este personagem foram utilizadas 3 fotos, que podem ser vistas na Figura 60.

Figura 60 – Fotos utilizadas na criação do personagem Sérgio
(a) Sérgio - esquerda. (b) Sérgio - centro. (c) Sérgio - direita.



(a) (b) (c)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os movimentos oculares, labiais e faciais de Sérgio foram todos capturados com o Unity FaceCapture, incluindo o áudio sincronizado com os movimentos. Os movimentos corporais são do Adobe mixamo, fazendo o personagem caminhar, se aproximar do usuário e tentar tocá-lo.

5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foram apresentados o método adotado na pesquisa, as ferramentas empregadas, a estrutura lógica e a implementação dos ambientes virtuais, além do desenvolvimento e seleção dos personagens, com o intuito de explorar diferentes pontos ao longo da curva do Vale da Estranheza.

No próximo capítulo tem-se a descrição dos experimentos realizados e a análise dos resultados obtidos.

6 EXPERIMENTOS E ANÁLISES DE RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados: o ambiente experimental criado para os testes, as ferramentas estatísticas utilizadas, o tipo de amostragem e os critérios para a seleção de participantes adotados. Tem-se, ainda, a descrição e discussão de cada um dos experimentos realizados, os resultados obtidos e as análises dos mesmos.

6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A seguir são descritos os ambientes experimentais utilizados neste trabalho.

6.1.1 Configuração do ambiente experimental

Para realização dos experimentos, utilizou-se dois ambientes. O primeiro foi gentilmente cedido pela Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), na Unidade de Frutal e o segundo ambiente foi um laboratório de informática da Faculdade Barretos (em Barretos-SP).

O primeiro ambiente foi uma sala de aulas, que teve todas as carteiras movidas para os cantos e o fundo da sala, onde deixou-se apenas uma cadeira, não giratória e sem rodas, para que o usuário participante do experimento se acomodasse. A Figura 61 apresenta um esquema da configuração da sala.

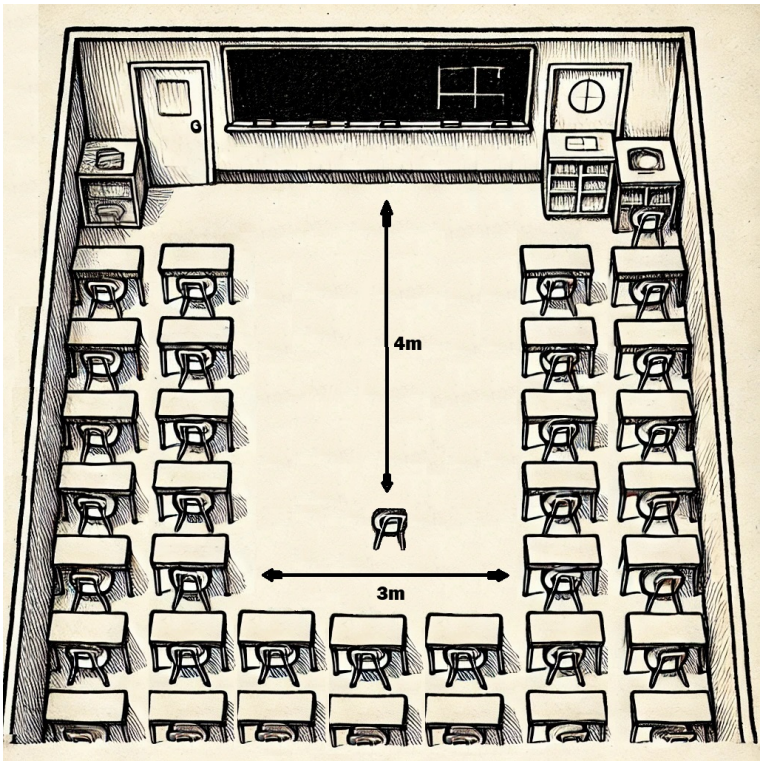
O usuário permanece o tempo todo sentado na cadeira, onde os personagens e as animações, tanto em realidade virtual, quanto em realidade aumentada, são executadas a sua frente, em direção à lousa. Procurou-se deixar o ambiente o mais neutro possível, porém com alguns elementos reais para a apresentação em realidade aumentada. Figura 62 apresenta duas imagens capturadas durante a realização dos experimentos.

Antes do início dos testes, deve-se realizar o processo de calibração padrão do Meta Quest 3. Antes de qualquer utilização deste capacete, deve-se determinar o limite de segurança, região em que não contem obstáculos para permitir movimentos do usuário durante uso de realidade virtual.

O próprio Meta Quest 3 possui o sistema de calibração, com os limites definidos anteriormente salvos em sua memória. Porém se estiver em um ambiente novo ou se desejar recalibrar um dos limite pre-existentes, assim que o capacete é ligado o sistema oferece estas opções, que também podem ser acessadas em seu menu de configurações.

Com o uso das câmeras, sensores e dos controles, é possível escolher a região

Figura 61 – Esquema do ambiente para realização dos testes com HMDs



Fonte: Elaborada pelo autor com o uso de inteligência artificial.

Figura 62 – Ambiente criado para execução dos experimentos

Em (a), visão frontal, mostrando o fundo da sala e o usuário na cadeira, e em (b) visão do espaço a frente, onde os experimentos com HMDs acontecem.



(a) (b)

Fonte: Elaborado pelo autor.

segura e definir possíveis obstáculos (como mesas, cadeira, paredes, portas, etc) caso necessário. Para execução dos experimentos, delimitou-se apenas as fronteiras das dimensões indicadas na Figura 61.

Para utilização da aplicação em realidade aumentada desenvolvida, uma calibra-

ção extra é necessária antes de iniciar o primeiro teste. O operador, sentado na cadeira posicionada ao centro da sala, marca um ponto de referência, onde o personagem inicialmente irá aparecer antes da execução da animação. A Figura 63 mostra um personagem, no ambiente de calibração, posicionado sentado sobre uma cadeira real na sala.

Figura 63 – Ambiente de calibração da aplicação de Realidade Aumentada



Fonte: Elaborado pelo autor.

Este procedimento é necessário apenas antes da execução do primeiro usuário iniciar a série de experimentos, pois ela será repetida utilizando o mesmo ponto de referência, até que se feche a aplicação.

6.1.2 Participantes do experimento

A escolha do número de participantes para os experimentos orientou-se por critérios metodológicos rigorosos, visando garantir a validade estatística e a representatividade dos resultados. Para definir o tamanho da amostra, utilizou-se o cálculo do poder estatístico por meio do software G*Power[1] (FAUL *et al.*, 2009), considerando-se um nível de significância de 0,05 e um poder estatístico de 0,71. Este cálculo indica que seriam

[1] https://www.psychologie.hhu.de/arbeitsgruppen/allgemeine-psychologie-und-arbeitspsychologie/gpower

necessários pelo menos 129 participantes para detectar diferenças significativas entre os grupos experimentais.

A definição do poder estatístico para este trabalho levou em consideração as limitações práticas relacionadas ao número de dispositivos HMDs disponíveis para a realização dos experimentos. Especificamente, a pesquisa necessitou do uso de capacete Meta Quest 3, sendo que apenas um dispositivo estava disponível para conduzir todos os testes de realidade aumentada. Essa restrição impactou diretamente a capacidade de recrutar um número maior de participantes e de realizar sessões experimentais adicionais. Cada seção dura, aproximadamente, 1 hora. A autonomia da bateria do Meta Quest 3 é de 2 a 3 horas, sendo necessárias mais 2 horas para recarga completa.

Dado esse cenário, optou-se por um poder estatístico em torno de 70%, o que foi considerado aceitável para esta pesquisa, conforme discutido por Murphy e Myors (2004), em situações onde limitações práticas tornam difícil atingir um poder estatístico de 80%, um poder de 70% pode ser justificado, especialmente em estudos exploratórios que visam identificar tendências ou padrões iniciais. Embora um poder estatístico mais alto seja preferível, a escolha de 70% foi uma medida balanceada entre as limitações práticas e a necessidade de obter resultados estatisticamente significativos.

A seleção dos participantes seguiu critérios específicos para assegurar a homogeneidade do grupo em termos de características demográficas e experiência prévia com tecnologias imersivas. Foram incluídos indivíduos com idades entre 18 a 65 anos, sem distinção de sexo, e com nível educacional mínimo de ensino médio concluído. Além disso, foram considerados critérios de inclusão como a ausência de deficiências visuais ou auditivas (graves) ou portadores de epilepsia, que poderiam sofrer desconfortos ou enfrentar algum outro tipo de problema durante a execução dos experimentos.

Os participantes foram recrutados por meio de convite voluntário na UEMG - Universidade do Estado de Minas Gerais - Unidade de Frutal, e na Faculdade Barretos (em Barretos-SP). Todos os voluntários receberam informações detalhadas sobre os objetivos da pesquisa, os procedimentos experimentais, e os potenciais riscos e benefícios associados à participação. Aqueles que consentiram em participar assinaram um Termo de Consentimento (mostrado no Apêndice B) e receberam orientações verbais antes do início de sua participação.

A amostra final foi composta por 129 participantes, 65 homens e 64 mulheres, distribuídos igualmente (43 participantes) entre os grupos de realidade aumentada (22 homens, 21 mulheres), realidade virtual (21 homens, 22 mulheres) e monitor de computador (22 homens e 21 mulheres). Essa distribuição permitiu a análise comparativa

dos diferentes contextos experimentais, assegurando que os resultados fossem robustos e generalizáveis dentro das limitações do estudo.

6.2 FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS UTILIZADAS NOS EXPERIMENTOS

Nos experimentos deste trabalho, utilizou-se as algumas ferramentas estatísticas para análise dos resultados. As principais ferramentas são descritas na sequência.

- **Análise das Médias**: é uma ferramenta simples, mas eficaz, para visualizar e comparar as médias de diferentes grupos ou condições, permitindo uma compreensão imediata das diferenças (AGRESTI; FINLAY, 2021). A interpretação dessas médias baseia-se na comparação das alturas das barras ou pontos entre os grupos, revelando diferenças visuais nas médias. No entanto, essa análise deve ser complementada por outras estatísticas, como intervalos de confiança ou testes de significância, para avaliar a robustez dessas diferenças.
- **A Análise de Variância (ANOVA)**: é uma técnica estatística usada para comparar as médias de três ou mais grupos, verificando se há diferenças significativas entre elas. A estatística F, que compara a variação entre e dentro dos grupos, é determinante na ANOVA. Se F é igual a 1, a diferença é ao acaso, mas se o valor de F for alto ($F > 1$) pode indicar diferenças entre as médias, e isso é confirmado pelo valor-p: se for menor que 0,05, rejeita-se a hipótese de que as médias são iguais (MONTGOMERY, 2013). Também é importante analisar a linha "Residual"na tabela ANOVA, pois valores de F e p resultando em NaN (*Not a Number* - Valor não numérico) podem indicar que a variação entre os grupos foi totalmente explicada, restando pouca variação residual, especialmente se as observações dentro dos grupos forem muito similares (FIELD, 2013).
- **Teste *post-hoc* de Tukey**: também conhecido como Tukey's Honestly Significant Difference (HSD), é utilizado após uma ANOVA identificar diferenças significativas entre grupos, comparando cada par de médias para determinar quais grupos diferem significativamente (RABE-HESKETH; EVERITT, 2007). Na interpretação dos resultados, a diferença de médias é analisada junto com o valor-p ajustado, que controla a taxa de erro tipo I em múltiplas comparações, assegurando que a chance de falsos positivos seja mantida em um nível aceitável (FIELD, 2013). Se o valor-p ajustado for menor que 0,05, rejeita-se a hipótese de igualdade para aquele par, e conclui-se que há uma diferença significativa. Além disso, se o intervalo de confiança

fornecido pelo teste de Tukey não incluir zero, isso confirma a existência de uma diferença significativa entre as médias dos grupos comparados.

- **Gráficos Boxplot**: são representações visuais que resumem a distribuição de dados, mostrando a mediana, os quartis (Q1 e Q3), e os valores mínimos e máximos, além de destacar potenciais *outliers* - pontos fora da média. A caixa central representa os 50% centrais dos dados (intervalo interquartil), enquanto os "bigodes"se estendem até os valores mínimo e máximo dentro de 1,5 vezes esse intervalo (FIELD, 2013). A posição da mediana indica a simetria dos dados: se centrada, os dados são simétricos; se deslocada, podem ser assimétricos. A altura da caixa reflete a variabilidade, e *outliers* são mostrados como pontos fora dos bigodes. Comparando Boxplots de diferentes grupos, é possível observar variações na mediana, na dispersão dos dados e verificar a sobreposição entre as distribuições (AGRESTI; FINLAY, 2021).
- **Gráficos de médias com intervalos de confiança**: são usados para comparar as médias de diferentes grupos, acompanhados de intervalos que indicam a precisão dessas estimativas, geralmente com 95% de confiança (WASSERMAN, 2004). A interpretação desses gráficos se concentra na sobreposição dos intervalos: se não houver sobreposição entre dois grupos, isso sugere uma diferença estatisticamente significativa entre as médias; se houver, a diferença pode não ser significativa. Além disso, intervalos de confiança mais curtos indicam estimativas mais precisas, enquanto intervalos mais longos sugerem maior incerteza (AGRESTI; FINLAY, 2021). Esses gráficos permitem visualizar claramente as diferenças entre grupos e a confiabilidade das médias estimadas.
- **Gráficos de dispersão**: são usados para visualizar a relação entre duas variáveis quantitativas, exibindo os dados como pontos em um sistema de coordenadas, permitindo identificar padrões, tendências e a força da relação entre as variáveis (MONTGOMERY, 2013). A disposição dos pontos revela se a relação é positiva, negativa ou inexistente. A análise de regressão complementa essa visualização ajustando uma linha ou curva que melhor descreve a relação. A inclinação da linha indica a direção e magnitude da relação, enquanto o coeficiente de determinação (R^2) mede o quanto a linha de regressão explica a variabilidade dos dados; um R^2 alto indica um bom ajuste, e um R^2 baixo sugere uma relação fraca ou não linear (WEISBERG, 2014).

Foram desenvolvidos *scripts* em linguagem Python, responsáveis por acessar a base de dados gerada na aplicação dos experimentos, realizar as análises ANOVA, *post-*

hoc de Tukey e gerar os gráficos de médias, gráfico boxplot, gráfico de media com intervalo de confiança e gráfico de regressão e dispersão.

6.3 VISÃO GERAL DOS EXPERIMENTOS

O Quadro 5 apresenta uma visão geral dos experimentos realizados. Adotou-se a seguinte notação:

- **Exp.**: Refere-se ao número do experimento realizado.
- **Objetivo**: Descreve o objetivo principal do experimento, ou seja, o que se pretende avaliar ou investigar.
- **Cenário**: Indica o tipo de ambiente ou situação em que o experimento foi conduzido, como "Personagens em movimento"ou "Personagens estáticos".
- **Var. Indepen (Tipo de dispositivo)**: Refere-se à variável independente do experimento, que neste caso é o tipo de dispositivo utilizado (por exemplo, HMD-RA, HMD-RV, Monitor).
- **Var. Dependentes**: Indica as variáveis dependentes, ou seja, as medidas ou efeitos que são avaliados em resposta às variações da variável independente (por exemplo, Presença, Naturalidade dos Movimentos).
- **Hipóteses**: as hipóteses a serem comprovadas, ou não, pelo experimento, de acordo com a Seção 1.5 do Capítulo 1. As hipóteses estão aqui replicadas:
  - **H1.1 -** Não há diferença significativa na percepção de semelhança dos personagens humanoides 3D estáticos entre os dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.
  - **H1.2 -** Não há diferença significativa na percepção de estranheza dos personagens humanoides 3D estáticos entre os dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.
  - **H1.3 -** Não há diferença significativa na percepção de simpatia dos personagens humanoides 3D estáticos entre os dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.
  - **H1.4 -** Não há diferença significativa na percepção de semelhança dos personagens humanoides 3D em movimento entre os dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.
  - **H1.5 -** Não há diferença significativa na percepção de estranheza dos personagens humanoides 3D em movimento entre os dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

H1.6 - Não há diferença significativa na percepção de simpatia dos personagens humanoides 3D em movimento entre os dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

H2.1 - Não há diferença significativa na percepção de movimentos oculares dos personagens humanoides 3D entre os dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

H2.2 - Não há diferença significativa na percepção de movimentos labiais dos personagens humanoides 3D entre os dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

H2.3 - Não há diferença significativa na percepção de movimentos corporais dos personagens humanoides 3D entre os dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

H2.4 - Não há diferença significativa na percepção de movimentos combinados (oculares, labiais e corporais) dos personagens humanoides 3D entre os dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

H3.1 - Não há diferença significativa na percepção de semelhança entre personagens humanoides 3D estáticos e com movimentos combinados nos dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

H3.2 - Não há diferença significativa na percepção de estranheza entre personagens humanoides 3D estáticos e com movimentos combinados nos dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

H3.3 - Não há diferença significativa na percepção de simpatia entre personagens humanoides 3D estáticos e com movimentos combinados nos dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

H4.1 - Não há diferença significativa na percepção de presença do usuário nos ambientes virtuais e aumentados, no que diz respeito à naturalidade dos personagens humanoides 3D, entre os dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

Quadro 5 – Visão geral dos experimentos (continua)

Exp.	Objetivo	Cenário	Var. Indepen (Tipo de dispositivo)	Var. Dependentes	Hipóteses
1	Avaliar semelhança e estranheza	Personagens Estáticos	HMD-RA, HMD-RV, Monitor	Semelhança; Estranheza	H1.1 e H1.2
2	Avaliar simpatia e estranheza	Personagens Estáticos	HMD-RA, HMD-RV, Monitor	Simpatia; Estranheza	H1.2 e H1.3
3	Avaliar a naturalidade dos movimentos oculares	Personagens com Movimentos oculares (Piscar e acompanhar o usuário com os olhos)	HMD-RA, HMD-RV, Monitor	Naturalidade dos Movimentos Oculares	H2.1
4	Avaliar a naturalidade dos movimentos labiais	Personagens com Movimentos (boca se move com áudio de fala sincronizado)	HMD-RA, HMD-RV, Monitor	Naturalidade dos Movimentos Labiais	H2.2
5	Avaliar a naturalidade dos movimentos corporais	Personagens com Movimentos (caminha em direção ao usuário, tenta tocá-lo com as mãos)	HMD-RA, HMD-RV, Monitor	Naturalidade dos Movimentos Corporais	H2.3
6	Avaliar a naturalidade dos personagens com todos os movimentos combinados	Personagens com Movimentos (caminha, fala, pisca, olha, tenta tocá-lo)	HMD-RA, HMD-RV, Monitor	Naturalidade dos Movimentos Combinados	H2.4

Quadro 5 - Visão geral dos experimentos (conclusão)

Exp.	Objetivo	Cenário	Var. Indepen (Tipo de dispositivo)	Var. Dependentes	Hipóteses
7	Avaliar a estranheza entre personagens estáticos e personagens com todos os movimentos	Personagens iniciam Estáticos e depois acrescentam-se os Movimentos (caminha, fala, pisca, olha, tenta tocá-lo)	HMD-RA, HMD-RV, Monitor	Estranheza Percebida	H3.2
8	Avaliar a percepção da simpatia dos personagens estáticos e com todos os movimentos	Personagens iniciam Estáticos e depois acrescentam-se os Movimentos (caminha, fala, pisca, olha, tenta tocá-lo)	HMD-RA, HMD-RV, Monitor	Simpatia	H3.3
9	Avaliar a percepção de semelhança com seres humanos, estáticos e com todos os movimentos	Personagens iniciam Estáticos e depois acrescentam-se os Movimentos (caminha, fala, pisca, olha, tenta tocá-lo)	HMD-RA, HMD-RV, Monitor	Semelhança	H3.1
10	Avaliar a presença percebida pelos usuários e a naturalidade dos movimentos dos personagens	Personagens iniciam Estáticos e depois acrescentam-se os Movimentos (caminha, fala, pisca, olha, tenta tocá-lo)	HMD-RA, HMD-RV, Monitor	Presença; Naturalidade dos movimentos	H4.1

Fonte: Elaborado pelo autor.

6.4 EXPERIMENTO 1 - ANÁLISE DA PERCEPÇÃO DE SEMELHANÇA E A ESTRANHEZA DOS PERSONAGENS ESTÁTICOS

Nesta seção, apresenta-se a análise estatística sobre a percepção de semelhança e estranheza dos personagens estáticos, visualizados em três diferentes dispositivos: HMD-RA, HMD-RV e Monitor. Essa análise visa compreender a influência do fenômeno conhecido como Efeito do Vale da Estranheza no contexto de diferentes tecnologias de visualização.

6.4.1 Resultados da ANOVA

Aplicou-se uma análise de variância (ANOVA) e os resultados da ANOVA indicam diferenças significativas tanto para a semelhança quanto para a estranheza, com $F = 8{,}45$, $p < 0{,}001$ e $F = 10{,}23$, $p < 0{,}001$, respectivamente. Esses resultados sugerem que o tipo de dispositivo utilizado influencia de maneira substancial as percepções dos participantes, com variações entre as diferentes tecnologias de visualização.

6.4.2 Resultados do Teste Post-Hoc de Tukey

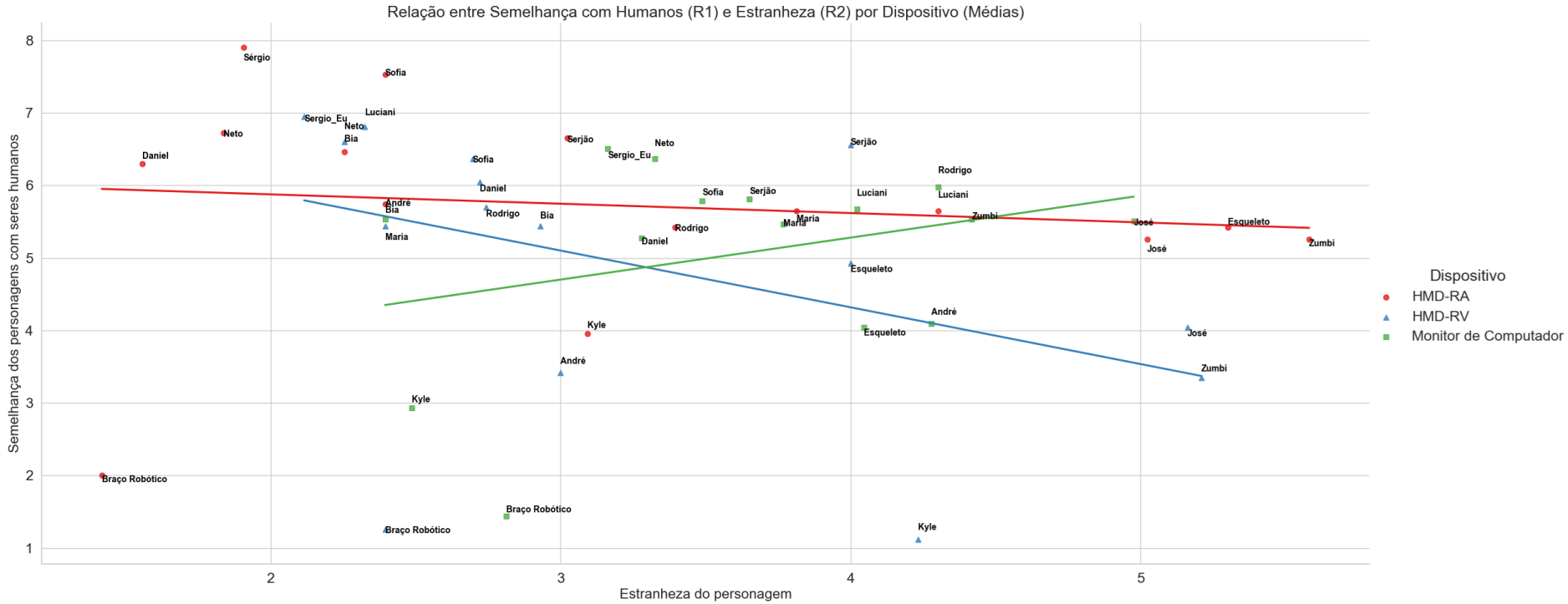
O teste *post-hoc* de Tukey mostra que o HMD-RA apresentou uma percepção significativamente maior de semelhança com seres humanos quando comparado tanto ao Monitor (diferença de médias = 0,6636, $p < 0{,}001$) quanto ao HMD-RV (diferença de médias = 0,7922, $p < 0{,}001$). No entanto, não houve diferença significativa na percepção de semelhança entre o HMD-RV e o Monitor (diferença de médias = -0,1287, $p = 0{,}6143$).

Quanto à estranheza, os resultados indicam que o Monitor apresenta uma percepção significativamente maior de estranheza em comparação ao HMD-RA (diferença de médias = 0,4744, $p < 0{,}001$) e ao HMD-RV (diferença de médias = 0,4155, $p < 0{,}001$). Não foi observada diferença significativa na percepção de estranheza entre o HMD-RA e o HMD-RV (diferença de médias = 0,0589, $p = 0{,}8273$).

6.4.3 Gráficos de Dispersão e Regressão

Para ilustrar a relação entre semelhança e estranheza, o gráfico de dispersão e regressão (Figura 64). Observa-se que quanto maior a semelhança com humanos (eixo y), menor tende a ser a estranheza (eixo x) nos dispositivos imersivos, ao contrário do dispositivo não imersivo, cuja relação é inversa.

Figura 64 – Dispersão e Regressão da Semelhança dos personagens com seres humanos vs Estranheza dos personagens em relação aos dispositivos



Fonte: Elaborado pelo autor.

Essa observação é consistente com o conceito do Vale da Estranheza e sugere que a busca por um maior realismo nos personagens pode inadvertidamente intensificar o desconforto dos usuários.

O experimento completo pode ser visto no Apêndice C.

6.5 EXPERIMENTO 2- ANÁLISE DA PERCEPÇÃO DE SIMPATIA E A ESTRANHEZA DOS PERSONAGENS ESTÁTICOS

Nesta seção, é apresentada uma análise detalhada sobre a percepção de simpatia e estranheza dos personagens estáticos, conforme observado pelos participantes em três dispositivos distintos: HMD-RA, HMD-RV e Monitor. O objetivo é compreender como esses dispositivos influenciam as respostas emocionais dos usuários em relação aos personagens.

6.5.1 Resultados da ANOVA

Para investigar essa influência, foi realizada uma análise de variância (ANOVA), que revelou diferenças estatisticamente significativas tanto na percepção de simpatia quanto na de estranheza dos personagens. Especificamente, a ANOVA mostrou que o tipo de dispositivo utilizado impacta de maneira significativa a percepção de simpatia ($F = 15{,}74$, $p < 0{,}001$). Isso sugere que os personagens são percebidos de maneira mais simpática ou agradável dependendo do dispositivo através do qual são visualizados. Da mesma forma, a ANOVA indicou um efeito significativo do dispositivo na percepção de estranheza ($F = 12{,}91$, $p < 0{,}001$), demonstrando que a percepção de desconforto ou estranheza também varia de acordo com o meio de visualização.

6.5.2 Resultados do Teste Post-Hoc de Tukey

Para detalhar onde essas diferenças ocorrem entre os dispositivos, foi conduzido um teste *post-hoc* de Tukey. Os resultados mostram que o HMD-RA é associado a uma percepção de simpatia dos personagens significativamente maior quando comparado ao Monitor (diferença de médias = 0,5421, $p < 0{,}001$). Além disso, o HMD-RA também tem uma percepção maior de simpatia em relação ao HMD-RV (diferença de médias = 0,3676, $p < 0{,}01$). No entanto, não foram encontradas diferenças significativas na percepção de simpatia entre o HMD-RV e o Monitor (diferença de médias = 0,1745, $p = 0{,}4981$).

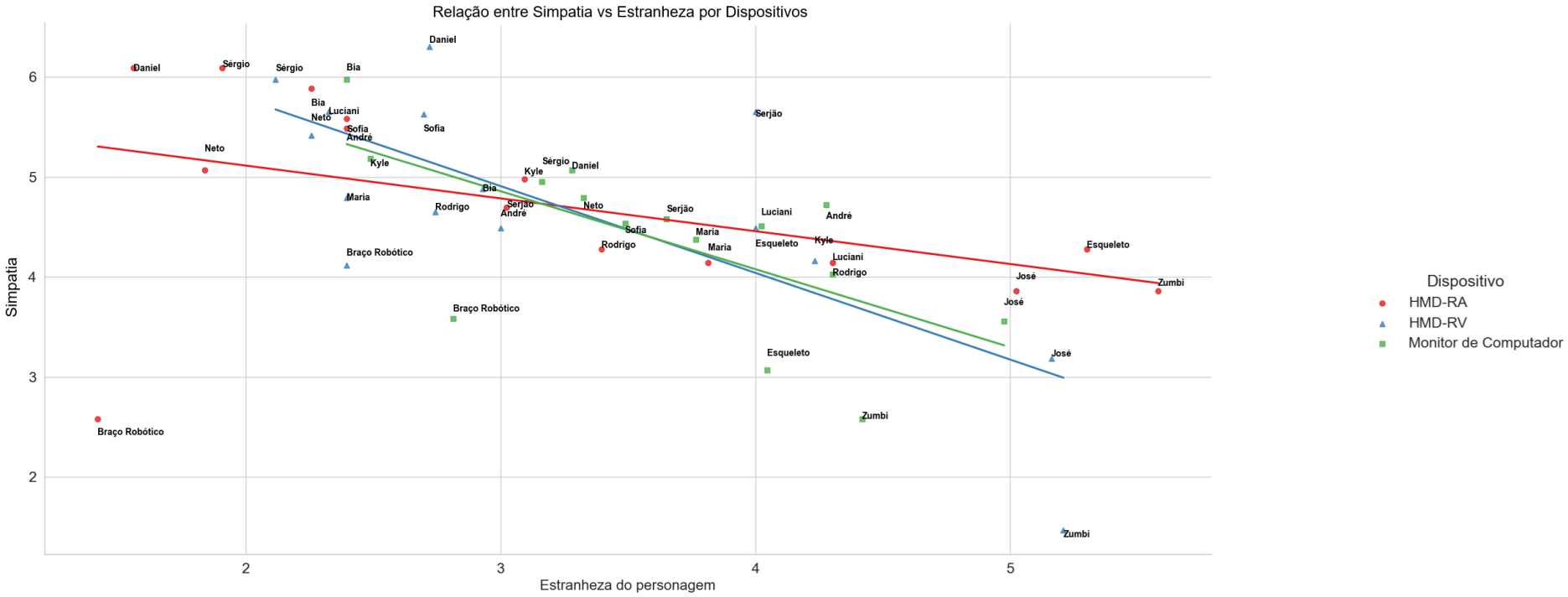
No que diz respeito à estranheza, os resultados indicam que o Monitor apresenta uma percepção significativamente maior de estranheza nos personagens em comparação ao HMD-RA (diferença de médias = 0,3867, $p < 0,001$) e ao HMD-RV (diferença de médias = 0,2978, $p < 0,01$). Por outro lado, não houve diferença significativa na percepção de estranheza entre o HMD-RA e o HMD-RV (diferença de médias = 0,0889, $p = 0,6654$). Esses achados sugerem que o Monitor tende a intensificar a percepção de estranheza dos personagens em comparação aos dispositivos de realidade aumentada e virtual.

6.5.3 Gráficos de Dispersão e Regressão

Foi gerado um gráfico de dispersão e regressão (Figura 65) para explorar a relação entre simpatia e estranheza. Esse gráfico revela que, independentemente do dispositivo, há uma correlação inversa entre simpatia e estranheza: à medida que a simpatia aumenta, a estranheza tende a diminuir. Isso fornece uma visão mais profunda sobre como as percepções emocionais dos usuários estão interligadas.

O experimento completo pode ser visto no Apêndice D.

Figura 65 – Dispersão e Regressão da Simpatia vs Estranheza dos personagens



Fonte: Elaborado pelo autor.

6.6 EXPERIMENTO 3 - ANÁLISE DA NATURALIDADE DOS MOVIMENTOS OCULARES DOS PERSONAGENS

A análise da naturalidade dos movimentos oculares dos personagens em diferentes dispositivos revela importantes *insights* sobre como os usuários percebem esses movimentos em ambientes virtuais.

6.6.1 Resultados da ANOVA

A análise estatística, utilizando uma ANOVA de uma via, identificou diferenças estatisticamente significativas na percepção de naturalidade dos movimentos oculares entre os dispositivos testados ($F = 5.34$, $p < 0.01$).

6.6.2 Resultados do Teste Post-Hoc de Tukey

Os resultados do teste *post-hoc* de Tukey mostram que a percepção de naturalidade dos movimentos oculares é significativamente maior no HMD-RA em comparação ao Monitor (diferença de médias = 0,680, $p < 0,001$) e ao HMD-RV (diferença de médias = 0,440, $p < 0,01$). Não foi observada uma diferença significativa entre o HMD-RV e o Monitor (diferença de médias = 0,240, $p = 0,225$). Esses resultados indicam que a Realidade Aumentada, proporcionada pelo HMD-RA, oferece uma experiência mais natural e imersiva para os usuários, em termos de percepção dos movimentos oculares dos personagens.

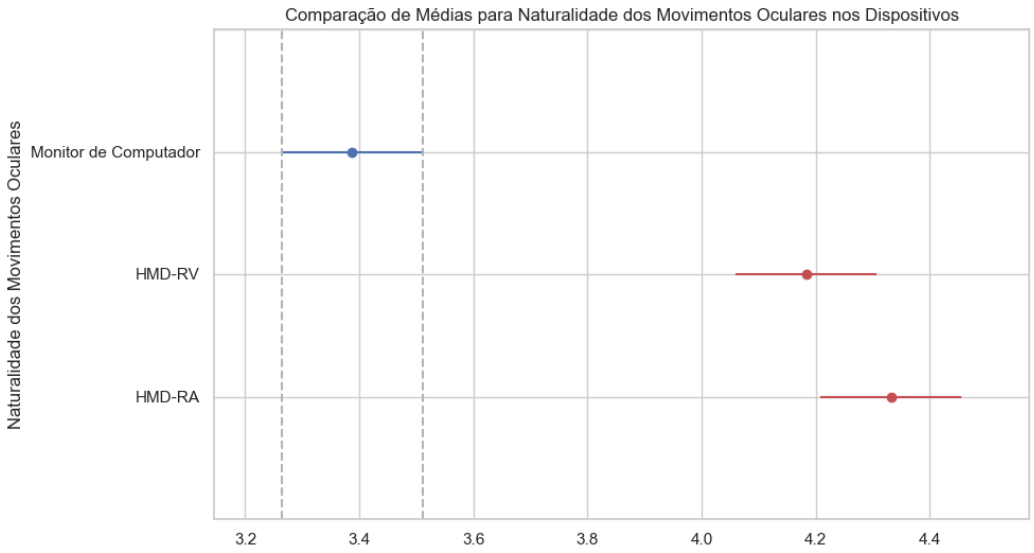
6.6.3 Gráficos das Médias com Intervalos de Confiança

O Gráfico de Médias com Intervalos de Confiança (Figura 66) ilustra essas diferenças. Pode-se observar que o HMD-RA não apenas apresenta a maior média de naturalidade, mas também a menor amplitude dos intervalos de confiança, o que sugere uma maior consistência nas respostas dos participantes.

Esses resultados destacam a capacidade de aprimorar a interação visual com personagens virtuais dos HMD-RA. Sua superioridade, em termos de naturalidade percebida dos movimentos oculares, aponta para um potencial significativo na criação de experiências mais imersivas e convincentes em ambientes digitais.

O experimento completo pode ser visto no Apêndice E.

Figura 66 – Médias com Intervalos de Confiança para os Movimentos Oculares dos Personagens



Fonte: Elaborado pelo autor.

6.7 EXPERIMENTO 4 - ANÁLISE DA NATURALIDADE DOS MOVIMENTOS LABIAIS DOS PERSONAGENS

A avaliação da naturalidade dos movimentos labiais dos personagens é feita para entender como diferentes dispositivos influenciam a percepção dos usuários em ambientes virtuais. A análise comparativa foi realizada utilizando os três dispositivos: Monitor, HMD-RV e HMD-RA. Conforme visto na seção anterior, os movimentos labiais são capturados com o FaceCapture do Unity e a utilização de um Apple iPhone 15 Pro.

6.7.1 Resultados da ANOVA

A análise de variância (ANOVA) revelou diferenças estatisticamente significativas na percepção de naturalidade dos movimentos labiais entre os dispositivos testados ($F = 6.12$, $p < 0.01$). Desta forma, a análise de *post-hoc* de Tukey é necessária para comparar os dispositivos entre si e identificar as diferenças.

6.7.2 Resultados do Teste Post-Hoc de Tukey

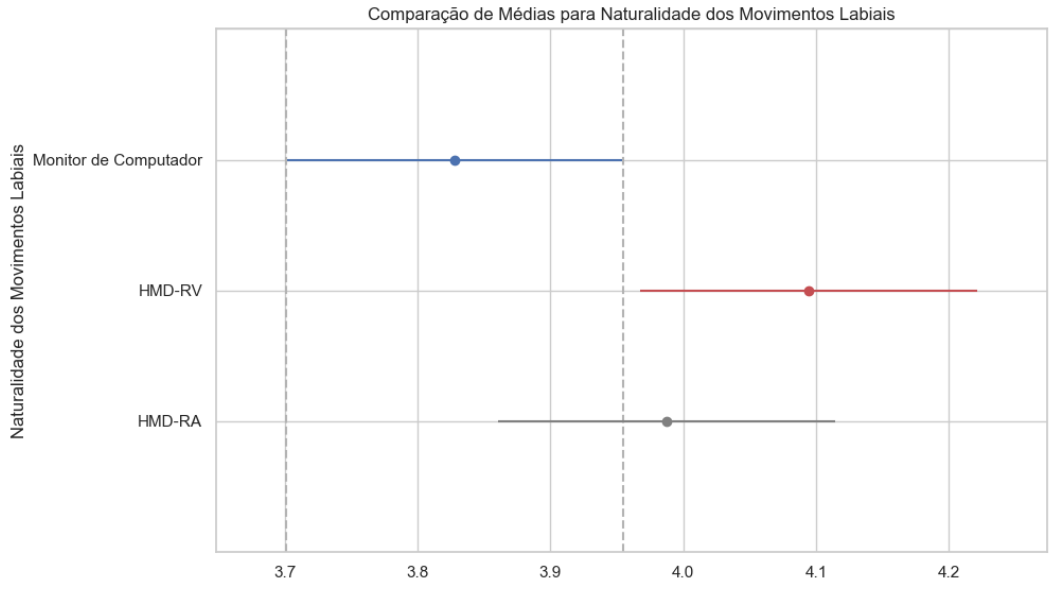
Os resultados do teste post-hoc de Tukey indicam que a naturalidade percebida dos movimentos labiais é significativamente maior no HMD-RA em comparação ao Mo-

nitor (diferença de médias = 0,742, p < 0,001) e ao HMD-RV (diferença de médias = 0,529, p < 0,01). Por outro lado, a diferença entre o HMD-RV e o Monitor não foi estatisticamente significativa (diferença de médias = 0,213, p = 0,154). Esses resultados sugerem que a Realidade Aumentada, proporcionada pelo HMD-RA, melhora a percepção de naturalidade dos movimentos labiais.

6.7.3 Gráficos das Médias com Intervalos de Confiança

O Gráfico de Médias com Intervalos de Confiança (Figura 67) proporciona uma visualização clara dessas diferenças. A análise das médias mostra que o HMD-RA não apenas alcança a maior percepção de naturalidade, mas também apresenta intervalos de confiança mais estreitos, indicando uma maior consistência nas respostas dos participantes.

Figura 67 – Médias com Intervalos de Confiança para os Movimentos Labiais dos Personagens



Fonte: Elaborado pelo autor.

A consistência observada nos resultados do HMD-RA, comparada à variabilidade nos resultados obtidos com o Monitor, evidencia que a Realidade Aumentada é superior em criar uma experiência mais realista e natural no que se refere à movimentação labial dos personagens.

O experimento completo pode ser visto no Apêndice F.

6.8 EXPERIMENTO 5 - ANÁLISE DA NATURALIDADE DOS MOVIMENTOS CORPORAIS DOS PERSONAGENS

A análise da naturalidade dos movimentos corporais dos personagens, quando visualizados em diferentes dispositivos, é essencial para compreender como a tecnologia influencia a percepção dos usuários em ambientes virtuais. Os movimentos corporais, conforme visto na seção anterior, foram retirados da plataforma Adobe Mixamo.

6.8.1 Resultados da ANOVA

O estudo comparou a percepção dos movimentos corporais utilizando três dispositivos: Monitor, HMD-RV e HMD-RA. A análise de variância (ANOVA) indicou diferenças estatisticamente significativas na percepção de naturalidade dos movimentos corporais entre os dispositivos ($F = 7.45$, $p < 0.01$). Sendo assim, o teste *post-hoc* de Tukey pode indicar entre quais dispositivos as diferenças ocorrem.

6.8.2 Resultados do Teste Post-Hoc de Tukey

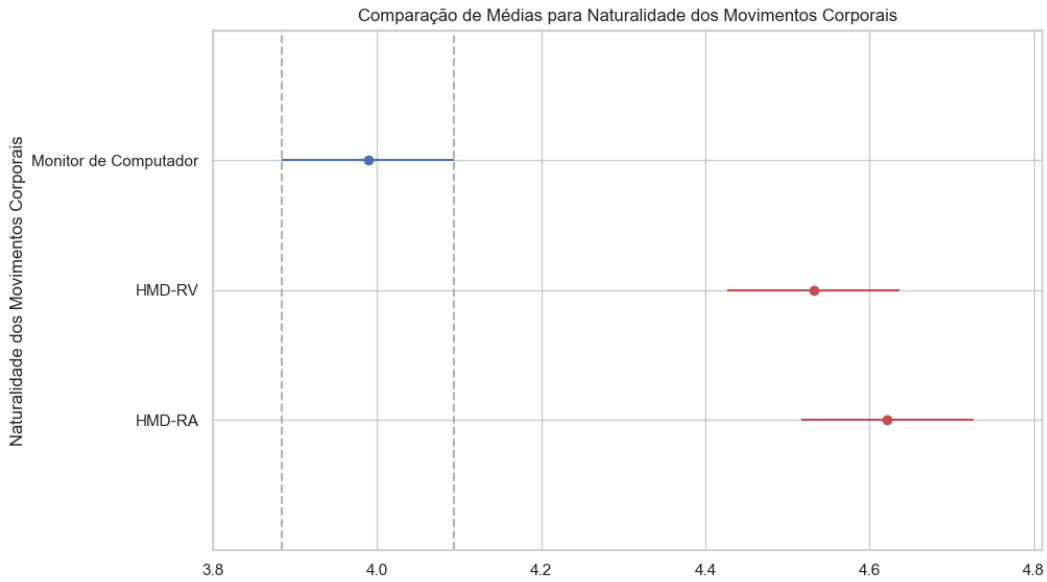
Os resultados do teste *post-hoc* de Tukey revelam que a naturalidade dos movimentos corporais percebida pelos usuários é significativamente maior no HMD-RA em comparação ao Monitor (diferença de médias = 0,815, $p < 0,001$) e ao HMD-RV (diferença de médias = 0,612, $p < 0,01$). Além disso, a diferença entre o HMD-RV e o Monitor também foi significativa (diferença de médias = 0,203, $p = 0,045$), indicando que o HMD-RV proporciona uma percepção de naturalidade superior ao Monitor, embora inferior ao HMD-RA.

6.8.3 Gráficos das Médias com Intervalos de Confiança

O Gráfico de Médias com Intervalos de Confiança (Figura 68) destaca claramente essas diferenças. A análise das médias demonstra que o HMD-RA apresenta a maior percepção de naturalidade, com intervalos de confiança mais estreitos, sugerindo uma maior consistência nas respostas dos participantes. O Monitor, por outro lado, mostrou uma variabilidade maior nas respostas, refletindo uma percepção menos estável e natural dos movimentos corporais dos personagens.

Esses resultados reforçam a eficácia da Realidade Aumentada em proporcionar uma experiência mais imersiva e natural, especialmente no que se refere à movimentação

Figura 68 – Médias com Intervalos de Confiança para os Movimentos Labiais dos Personagens



Fonte: Elaborado pelo autor.

corporal dos personagens.

O experimento completo pode ser visto no Apêndice G.

6.9 EXPERIMENTO 6 - ANÁLISE DA NATURALIDADE DOS PERSONAGENS COM TODOS OS MOVIMENTOS COMBINADOS

A avaliação da naturalidade dos personagens, considerando todos os movimentos combinados (oculares, labiais e corporais), oferece uma visão abrangente de como os diferentes dispositivos influenciam a percepção do usuário em ambientes virtuais.

6.9.1 Resultados da ANOVA

A análise de variância (ANOVA) revelou diferenças estatisticamente significativas na percepção da naturalidade dos movimentos combinados entre os dispositivos ($F = 8.32$, $p < 0.01$). Para verificar em quais dispositivos as diferenças acontecem, o teste *post-hoc* de Tukey é aplicado.

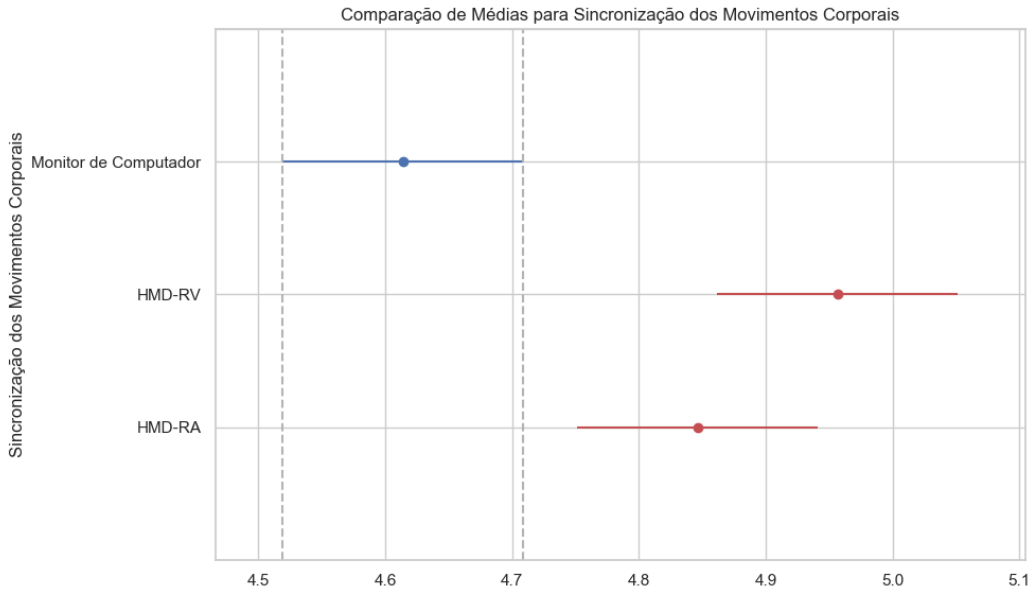
6.9.2 Resultados do Teste Post-Hoc de Tukey

Os resultados mostram que a naturalidade percebida dos personagens é significativamente maior quando visualizada no HMD-RA em comparação ao Monitor (diferença de médias = 0,902, $p < 0,001$) e ao HMD-RV (diferença de médias = 0,713, $p < 0,01$). A diferença entre o HMD-RV e o Monitor também foi significativa (diferença de médias = 0,189, $p = 0,039$), sugerindo que, embora ambos os dispositivos ofereçam uma experiência mais natural em relação ao Monitor, o HMD-RA se destaca como a tecnologia mais eficaz.

6.9.3 Gráficos das Médias com Intervalos de Confiança

O Gráfico de Médias com Intervalos de Confiança (Figura 69) ilustra de forma clara essas diferenças.

Figura 69 – Médias com Intervalos de Confiança para os Movimentos dos Personagens



Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que o HMD-RA não apenas apresenta a maior média de naturalidade dos movimentos combinados, mas também exibe intervalos de confiança mais reduzidos, indicando uma resposta mais consistente entre os participantes. O Monitor, ao contrário, apresentou maior variabilidade, sugerindo uma percepção menos estável dos movimentos dos personagens.

Estes resultados são particularmente importantes para o desenvolvimento de fu-

turas aplicações em Realidade Aumentada. A combinação de todos os movimentos reforça a vantagem dessa tecnologia em proporcionar uma imersão mais realista e satisfatória para o usuário, podendo atenuar o Efeito do Vale da Estranheza.

O experimento completo pode ser visto no Apêndice H.

6.10 EXPERIMENTO 7 - ANÁLISE DA ESTRANHEZA DOS PERSONAGENS ESTÁTICOS E COM MOVIMENTOS

O experimento sobre a percepção de estranheza dos personagens, tanto estáticos quanto em movimento, apresenta uma comparação da influência do movimento na percepção de estranheza dos personagens nos diferentes dispositivos.

6.10.1 Resultados da ANOVA

Este estudo comparou os três dispositivos: Monitor, HMD-RV e HMD-RA, buscando identificar variações significativas na percepção de estranheza quando os movimentos são inseridos nos personagens. A análise de variância (ANOVA) confirmou a existência de diferenças estatisticamente significativas entre os dispositivos analisados ($F = 9.75$, $p < 0.01$). O teste *post-hoc* de Tukey determina onde estão as diferenças.

6.10.2 Resultados do Teste Post-Hoc de Tukey

Os resultados do teste *post-hoc* de Tukey revelam que a estranheza percebida pelos usuários foi substancialmente maior ao visualizar personagens no Monitor, em comparação com o HMD-RA (diferença de médias = 0,3867, $p < 0,001$) e o HMD-RV (diferença de médias = 0,2978, $p < 0,01$). Por outro lado, a diferença entre o HMD-RA e o HMD-RV não foi estatisticamente significativa (diferença de médias = 0,0889, $p = 0,6654$), sugerindo que ambos os dispositivos de realidade imersiva proporcionam uma experiência semelhante em termos de estranheza.

6.10.3 Gráfico BoxPlot

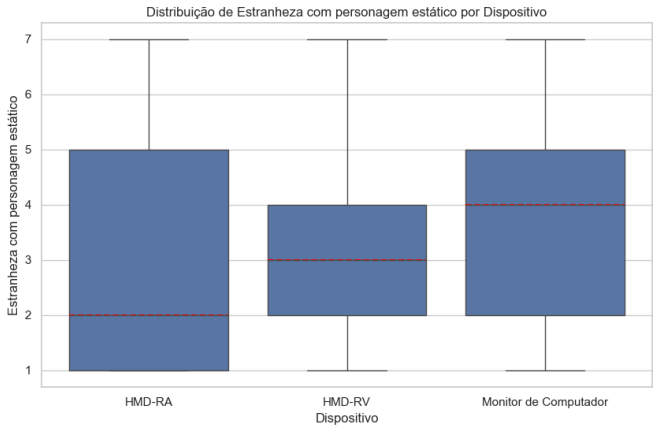
O Gráfico Boxplot (Figura 70) proporciona uma visualização clara da distribuição da estranheza percebida nos diferentes dispositivos. Nos personagens estáticos (Figura 70a), o Monitor apresentou a maior percepção de estranheza, com uma mediana de 4, destacando-se pela maior variabilidade nas respostas. Em contraste, o HMD-RA e o HMD-

RV tiveram medianas mais baixas, de 2 e 3, respectivamente, indicando uma percepção de estranheza mais contida.

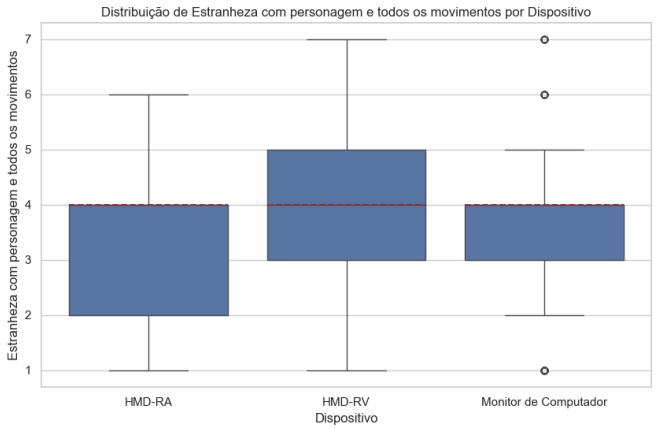
Quando se consideram todos os movimentos dos personagens (Figura 70b), a estranheza percebida foi mais elevada no HMD-RA, com uma mediana de 4, enquanto o HMD-RV e o Monitor mantiveram medianas semelhantes, mas com menor variabilidade no Monitor. Esses resultados sugerem que a presença de movimentos aumenta a percepção de estranheza nos dispositivos de realidade imersiva, especialmente no HMD-RA.

Figura 70 – Estranheza dos personagens estáticos e com movimentos

(a) estranheza percebida nos personagens estáticos pelos usuários. (b) estranheza percebida pelos usuários nos personagens com todos os movimentos.



(a)



(b)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados indicam que o Monitor tende a intensificar a percepção de es-

tranheza, especialmente com personagens estáticos, enquanto o HMD-RA e o HMD-RV mostram uma percepção mais moderada e consistente, apesar de também apresentarem uma maior estranheza quando os personagens estão em movimento. Isso sugere que, embora os dispositivos de realidade imersiva ofereçam uma experiência visual mais natural, o Monitor pode gerar maior desconforto em cenários estáticos. Em suma, a escolha do dispositivo deve considerar tanto a naturalidade quanto a estranheza, especialmente em aplicações que envolvem personagens em movimento.

O experimento completo pode ser visto no Apêndice I.

6.11 EXPERIMENTO 8 - ANÁLISE DA SIMPATIA DOS PERSONAGENS ESTÁTICOS E COM MOVIMENTOS

A avaliação da simpatia dos personagens, tanto na forma estática quanto com todos os movimentos combinados, foi realizada para investigar como os diferentes dispositivos de visualização influenciam a resposta emocional dos usuários.

6.11.1 Resultados da ANOVA

A análise de variância (ANOVA) revelou diferenças estatisticamente significativas na percepção de simpatia dos personagens entre os dispositivos ($F = 7.89$, $p < 0.01$). As diferenças entre os dispositivos são apuradas no teste *post-hoc* de Tukey.

6.11.2 Resultados do Teste Post-Hoc de Tukey

Os testes *post-hoc* de Tukey indicam que para personagens estáticos, o Monitor foi associado a uma simpatia significativamente menor em comparação ao HMD-RA (diferença de médias = 0,3674, $p < 0,001$) e ao HMD-RV (diferença de médias = 0,3566, $p < 0,001$). Não houve diferença significativa na simpatia entre o HMD-RA e o HMD-RV (diferença de médias = -0,0109, $p = 0,992$) .

Para personagens com todos os movimentos, o Monitor novamente apresentou uma simpatia significativamente menor em comparação ao HMD-RA (diferença de médias = 0,2934, $p < 0,01$) e ao HMD-RV (diferença de médias = 0,2715, $p < 0,01$). Similarmente ao caso estático, não houve diferença significativa entre o HMD-RA e o HMD-RV (diferença de médias = 0,0219, $p = 0,961$).

6.11.3 Gráficos das Médias com Intervalos de Confiança

O Gráfico de Médias com Intervalos de Confiança para personagens estáticos (Figura 71a) mostra que tanto o HMD-RV quanto o HMD-RA apresentam intervalos de confiança mais estreitos e medianas mais altas em comparação ao Monitor, o que reflete uma percepção de simpatia mais positiva e consistente nos dispositivos de realidade imersiva.

O HMD-RV é o dispositivo que mais promove a simpatia dos personagens em movimento (Figura 71b), enquanto o HMD-RA apresenta uma média de simpatia comparável ao Monitor de Computador, e em alguns casos, ligeiramente inferior. Esses resultados podem indicar que, para personagens em movimento, o HMD-RV proporciona uma experiência mais positiva em termos emocionais, enquanto o HMD-RA pode não ser tão eficaz nesse aspecto específico.

Esta análise sugere que, ao considerar a simpatia dos personagens em movimento, o HMD-RV se destaca como o dispositivo preferido, enquanto o HMD-RA não alcança o mesmo nível de resposta positiva, como acontece ao considerar os personagens estáticos. Esta diferença pode refletir ao analisar um personagem quando considerado o Efeito do Vale Estranho.

O experimento completo pode ser visto no Apêndice J.

6.12 EXPERIMENTO 9 - ANÁLISE DA SEMELHANÇA DOS PERSONAGENS ESTÁTICOS E COM MOVIMENTOS

O objetivo é avaliar a percepção de semelhança dos personagens com seres humanos, considerando tanto os personagens estáticos quanto aqueles com todos os movimentos.

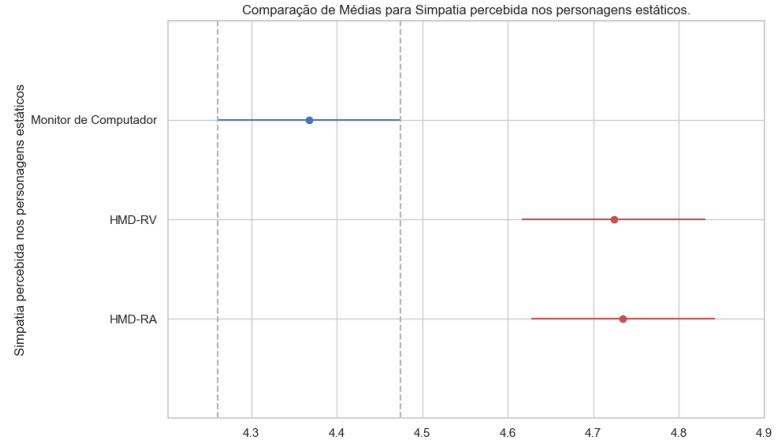
6.12.1 Resultados da ANOVA

A análise de variância (ANOVA) aplicada aos dados de semelhança com seres humanos percebida nos personagens estáticos revela que o fator "Dispositivo"tem um efeito altamente significativo na percepção de semelhança, com estatística F = 19,33 e um valor-p extremamente baixo ($4{,}8e^{-9}$), muito abaixo do nível de significância usual de 0,05.

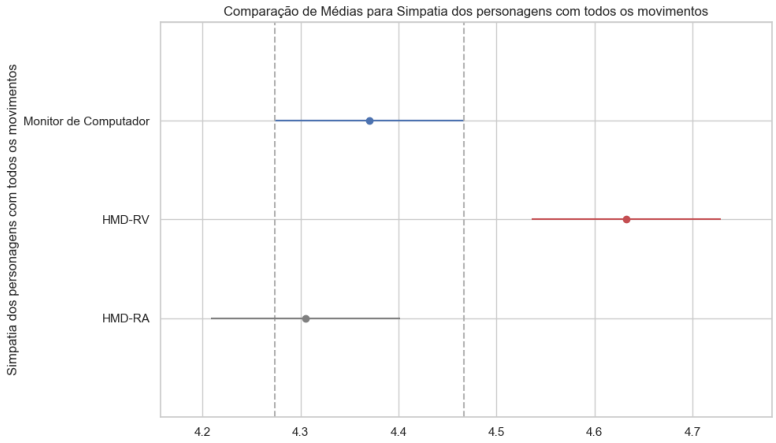
Da mesma forma, a ANOVA para a semelhança com seres humanos percebida nos personagens com todos os movimentos também mostra o mesmo. A estatística F =

Figura 71 – Médias de Simpatia dos personagens estáticos e com todos os movimentos por Dispositivos

(a) médias de Simpatia das avaliações realizadas pelos usuários observando personagens estáticos. (b), médias de Simpatia indicada pelas avaliações dos usuários observando personagens com todos os movimentos.



(a)



(b)

Fonte: Elaborado pelo autor.

9,35 e o valor-p de ($9{,}1e^{-5}$) indicam que existem diferenças significativas na percepção de semelhança com seres humanos entre os dispositivos quando os personagens estão estáticos e em movimento.

6.12.2 Resultados do Teste Post-Hoc de Tukey

Para personagens estáticos, O HMD-RA e o HMD-RV apresentaram uma semelhança significativamente maior com seres humanos em comparação ao Monitor. A

diferença de médias entre o HMD-RA e o Monitor foi de 0,662 ($p < 0,001$), enquanto entre o HMD-RV e o Monitor foi de 0,792 ($p < 0,001$). Não houve uma diferença significativa entre o HMD-RA e o HMD-RV (diferença de médias = -0,130, $p = 0,614$).

Ao considerar os movimentos, a análise também revelou que tanto o HMD-RA quanto o HMD-RV continuam a ser percebidos como mais semelhantes a seres humanos em comparação ao Monitor, com diferenças de médias de 0,475 e 0,512, respectivamente ($p < 0,001$). Não houve diferença significativa entre o HMD-RA e o HMD-RV para personagens em movimento.

6.12.3 Gráficos BoxPlots

O Gráfico Boxplot para personagens estáticos (Figura 72a) mostra que tanto o HMD-RA quanto o HMD-RV proporcionam uma percepção de semelhança com seres humanos mais elevada e consistente, com medianas em 6, enquanto o Monitor apresenta uma mediana inferior, em 5. A maior dispersão de dados no Monitor indica uma percepção menos uniforme de semelhança para personagens estáticos.

Para personagens com todos os movimentos (Figura 72b), os HMD-RA e HMD-RV mantêm uma percepção estável de semelhança com seres humanos, com medianas em 5. No entanto, o Monitor apresenta uma mediana inferior, em 4, e maior variabilidade, sugerindo que a percepção de semelhança é mais baixa e inconsistente quando os personagens estão em movimento.

Os gráficos boxplot mostram que os dispositivos HMDs oferecem uma percepção de semelhança consistente e elevada, tanto para personagens estáticos quanto para personagens em movimento. O Monitor, embora ainda relevante, tende a apresentar uma percepção mais baixa de semelhança, particularmente quando os personagens estão em movimento.

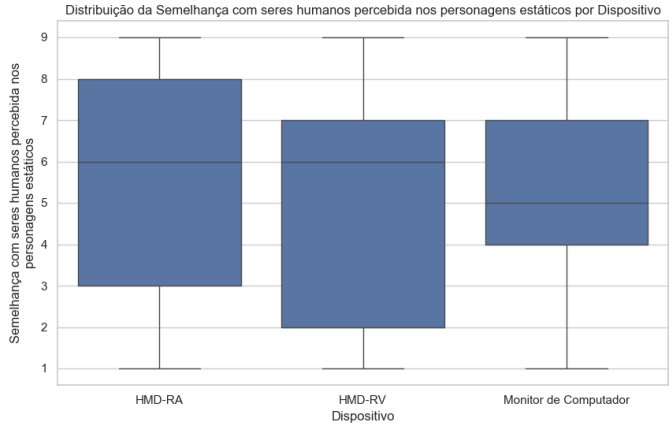
O experimento completo pode ser visto no Apêndice K.

6.13 EXPERIMENTO 10 - ANÁLISE DA PRESENÇA E NATURALIDADE DOS MOVIMENTOS

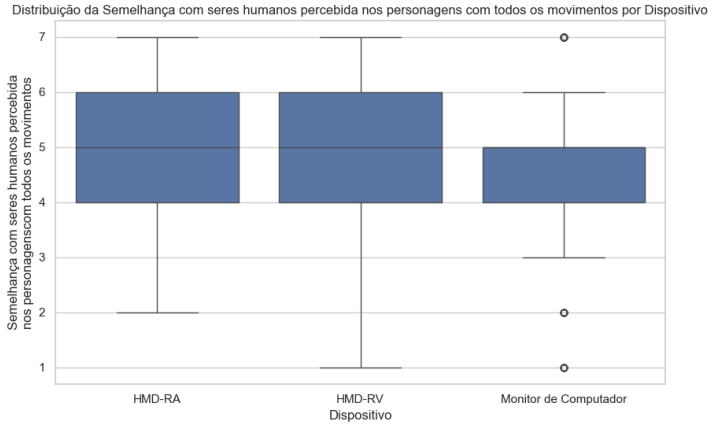
Neste experimento tem-se foco em como diferentes os dispositivos influenciam a percepção de presença e a naturalidade dos movimentos dos personagens em movimento.

Figura 72 – Distribuição da Semelhança dos personagens com seres humanos estáticos e com todos os movimentos por Dispositivos

(a) semelhança dos personagens com um humano estático. (b) semelhança dos personagens com humano com todos os movimentos.



(a)



(b)

Fonte: Elaborado pelo autor.

6.13.1 Resultados da ANOVA

A análise de variância (ANOVA) revelou diferenças estatisticamente significativas na percepção de presença entre os dispositivos ($F = 9.41$, $p < 0.01$). No entanto, para a naturalidade dos movimentos, as diferenças não foram estatisticamente significativas ($F = 2.31$, $p = 0.104$), sugerindo que a naturalidade dos movimentos dos personagens foi percebida de maneira relativamente uniforme entre os dispositivos.

6.13.2 Resultados do Teste Post-Hoc de Tukey

O teste *post-hoc* de Tukey indicou que a percepção de presença foi significativamente maior nos HMDs (HMD-RA e HMD-RV) em comparação ao Monitor, com diferenças de médias de 0,856 ($p < 0,001$) entre HMD-RA e Monitor e de 0,712 ($p < 0,01$) entre HMD-RV e Monitor. Não houve diferença significativa entre HMD-RA e HMD-RV (diferença de médias = 0,144, $p = 0,516$), sugerindo uma percepção de presença similar entre esses dispositivos.

6.13.3 Gráficos BoxPlots

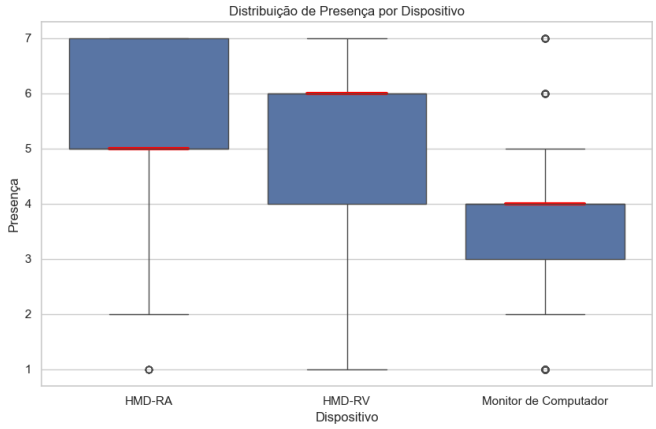
A Figura 73a, mostra que a mediana da naturalidade percebida é de 5 para o HMD-RA, 6 para o HMD-RV, e 4 para o Monitor. Isso sugere que o HMD-RV proporciona a percepção mais alta de naturalidade entre os dispositivos, enquanto o HMD-RA tem uma percepção intermediária, e o Monitor apresenta a menor percepção de naturalidade. O Monitor tem uma maior variedade de respostas, menos consistentes.

Para os movimentos, a Figura 73b mostra que a mediana é de 5 para os três dispositivos. No entanto, há diferenças na dispersão dos dados. O HMD-RV apresenta uma maior variabilidade, com os bigodes se estendendo de 1 a 7, sugerindo que, embora a mediana seja igual, as percepções de presença são mais variadas. O HMD-RA tem uma dispersão um pouco menor, com os bigodes variando de 2 a 7, indicando uma percepção mais consistente de presença. Já o Monitor de Computador, apesar de ter a mesma mediana de 5, mostra uma dispersão mais ampla com alguns *outliers*, sugerindo uma percepção de presença menos estável.

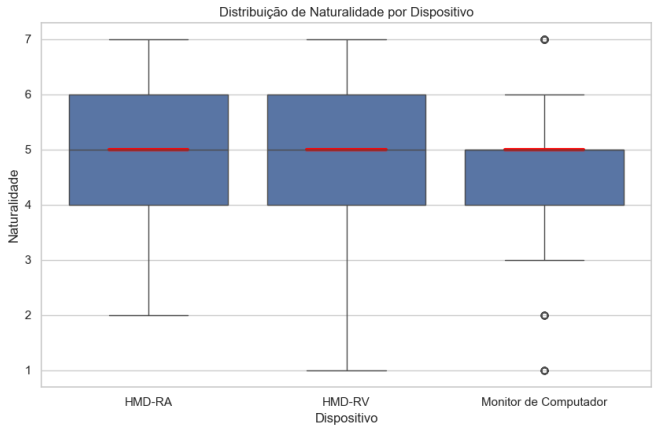
Os resultados sugerem que a percepção de presença é significativamente influenciada pelo dispositivo, com os HMDs promovendo uma experiência mais imersiva. Em contraste, a naturalidade dos movimentos não apresentou variações significativas entre os dispositivos, indicando que outros fatores, além do tipo de dispositivo, podem estar influenciando essa percepção.

O experimento completo pode ser visto no Apêndice L.

Figura 73 – Distribuição da Presença e Naturalidade dos Movimentos por Dispositivos (a) presença percebida pelos usuários. (b) naturalidade dos movimentos dos personagens.



(a)



(b)

Fonte: Elaborado pelo autor.

6.14 ANÁLISE DAS MÉDIAS ARITIMÉTICAS DA PERCEPÇÃO DE SEMELHANÇA DOS PERSONAGENS

Foi realizada uma análise das médias aritiméticas com as respostas coletadas no Experimento 9 (mostrado na Seção 6.12), com objetivo de visualizar como a curva de semelhança se dos personagens nos dispositivos HMD-RA, HMD-RV e monitor se mostra em comparação com a curva do vale da Estranheza que foi intuida por Mori, MacDorman e Kageki (2012).

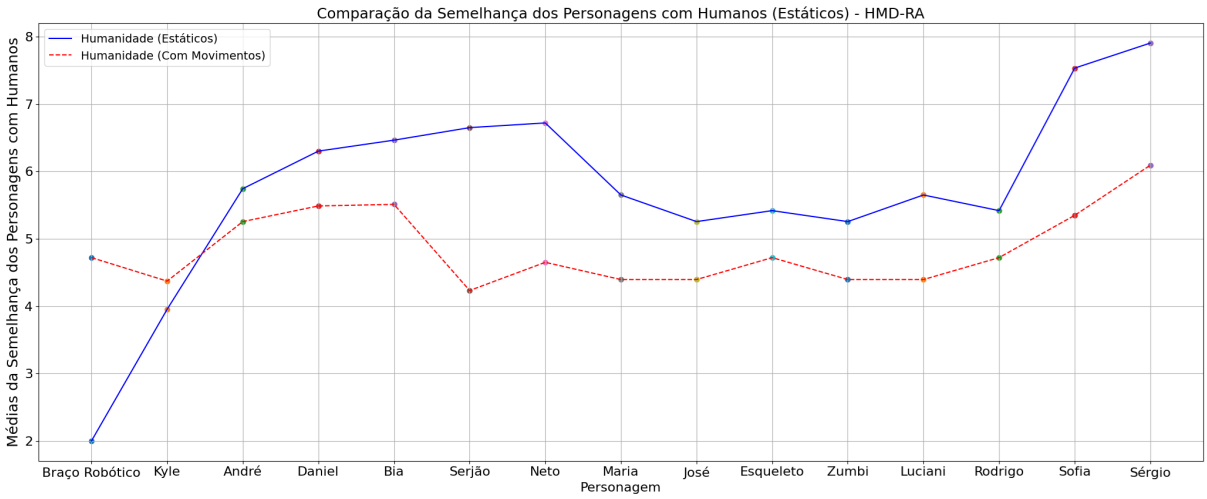
Uma pequena diferença, no entanto, é notada nos resultados. Como nesta tese adotou-se a escala Likert para coleta das respostas dos participantes, os valores mínimos

sempre serão 1, não permitindo valores negativos, diferente do gráfico original do Efeito do Vale da Estranheza de Mori.

Outra diferença também está em relação aos eixos X e Y do gráfico. Como a intenção é ter uma visão gráfica do nível de semelhança dos personagens, eles foram colocados no eixo X (onde Mori coloca a semelhança) e no eixo Y colocou-se a semelhança (onde Mori coloca a simpatia).

Desta forma, o primeiro gráfico, mostrado na Figura 74, apresentam os dados das médias aritiméticas da semelhança dos personagens com e sem movimentos para o dispositivo HMD-RA.

Figura 74 – Médias aritiméticas de semelhança - HMD-RA



Fonte: Elaborado pelo autor.

A ordem de semelhança esperada, apresentada na Figura 39 da Seção 5.3.1 foi quase atingida, com pequenas variações entre os personagens dentro de cada nível proposto (antes do vale, dentro do vale e depois do vale).

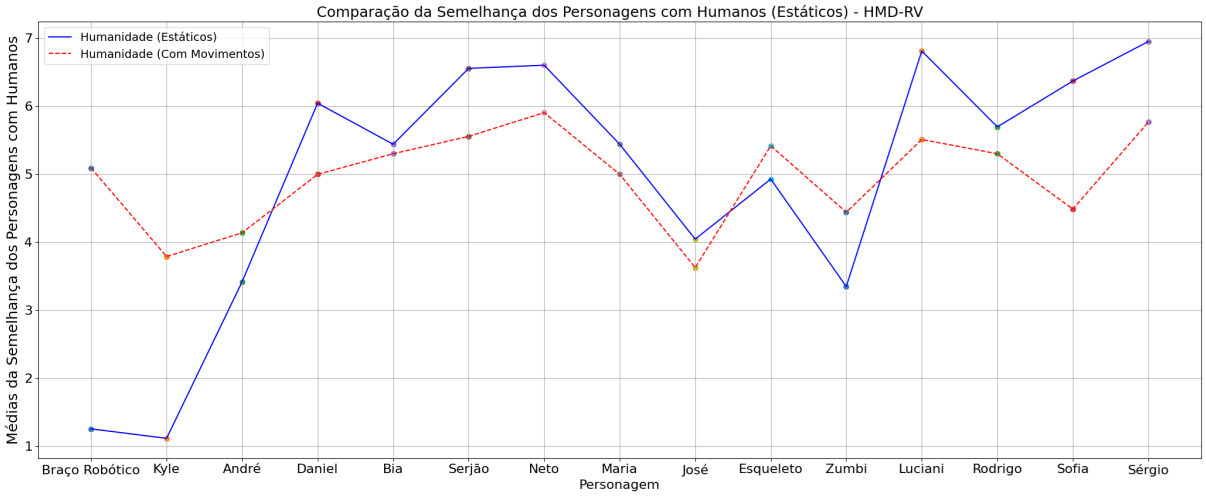
O gráfico apresentado na Figura 74 compara as médias de semelhança dos personagens com humanos nos cenários estáticos e com todos os movimentos, utilizando o dispositivo HMD-RA. Observa-se que, para a maioria dos personagens, as médias de semelhança são consistentemente menores quando os personagens estão em movimento, em comparação com o cenário estático. Isso sugere que o movimento tende a diminuir a percepção de semelhança dos personagens com seres humanos quando visualizados através do HMD-RA.

Conclui-se que, de forma geral, o movimento dos personagens piora a percepção

de semelhança do personagem com humanos no HMD-RA, embora a magnitude desse efeito varie dependendo do personagem. Isso reforça a importância do movimento na percepção do Vale Estranho.

Mas se for observada a Figura 75, percebe-se que em HMD-RV a curva de Mori ainda consegue ser vista, mas com uma varição bem maiore com as diferenças entre personagens estáticos e com movimentos, bem menor.

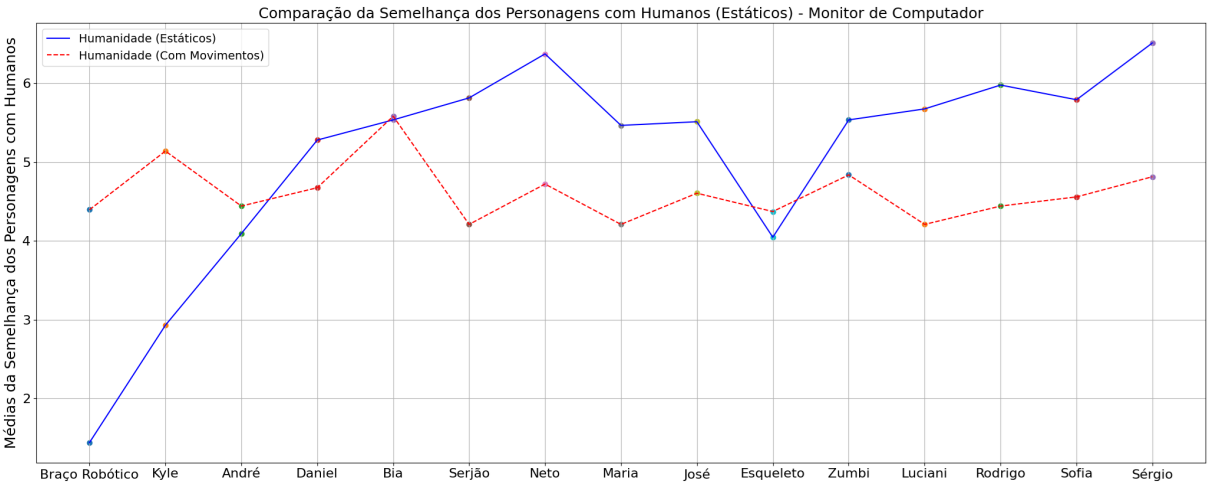
Figura 75 – Médias aritiméticas de semelhança - HMD-RV



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, a Figura 76 mostra a média das respostas nos ambientes menos imersivos - monitores de computador.

Figura 76 – Médias aritiméticas de semelhança - Monitor 2D



Fonte: Elaborado pelo autor.

No caso do monitor, o comportamento das curvas no gráfico demonstra claramente a influência do Vale da Estranheza, especialmente para personagens como o Esqueleto e José. No entanto, personagens com características mais naturais, como Sofia e Sérgio, conseguem se aproximar mais da percepção humana, especialmente quando em movimento, o que confirma a Curva de Mori. A inclusão de movimentos pode tanto melhorar quanto agravar a percepção de estranheza, dependendo de quão naturais são esses movimentos e se estão bem alinhados com as características visuais do personagem.

6.15 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Quadro 6 apresenta um resumo dos resultados dos experimentos realizados. Como notação, foi adotado:

- **Exp.**: Refere-se ao número do experimento realizado.
- **Objetivo**: Descreve o objetivo principal do experimento, ou seja, o que se pretende avaliar ou investigar.
- **Cenário**: Indica o tipo de ambiente ou situação em que o experimento foi conduzido, como "Personagens em movimento"ou "Personagens estáticos".
- **Hipóteses**: A hipótese nula que foi testada no experimento. Normalmente, afirma que não há diferença significativa entre os grupos comparados.
- **Desc. Nula**: Indica se a hipótese nula foi descartada (Sim) ou não (Não) com base nos resultados estatísticos.

Quadro 6 – Resultados dos experimentos (continua)

Exp.	**Objetivo**	**Cenário**	**Hipóteses**	**Desc. Nula**
1	Avaliar semelhança e estranheza	Personagens Estáticos	H1.1	Sim
			H1.2	Sim
2	Avaliar simpatia e estranheza	Personagens Estáticos	H1.2	Sim
			H1.3	Sim
3	Avaliar a naturalidade dos movimentos oculares	Personagens com Movimentos oculares (Piscar e acompanhar o usuário com os olhos)	H2.1	Sim
4	Avaliar a naturalidade dos movimentos labiais	Personagens com Movimentos (boca se move com áudio de fala sincronizado)	H2.2	Sim
5	Avaliar a naturalidade dos movimentos corporais	Personagens com Movimentos (caminha em direção ao usuário, tenta tocá-lo com as mãos)	H2.3	Sim
6	Avaliar a naturalidade dos personagens com todos os movimentos combinados	Personagens iniciam Estáticos e depois acrescentam-se os Movimentos (caminha, fala, pisca, olha, tenta tocá-lo)	H2.4	Sim
7	Avaliar a estranheza entre personagens estáticos e com todos os movimentos	Personagens iniciam Estáticos e depois acrescentam-se os Movimentos (caminha, fala, pisca, olha, tenta tocá-lo)	H3.2	Sim

Quadro 6 - Resultados dos experimentos (conclusão)

Exp.	**Objetivo**	**Cenário**	**Hipóteses**	**Desc. Nula**
8	Avaliar a percepção da simpatia dos personagens estáticos e com todos os movimentos	Personagens iniciam Estáticos e depois acrescentam-se os Movimentos (caminha, fala, pisca, olha, tenta tocá-lo)	H3.3	Sim
9	Avaliar a percepção de semelhança com seres humanos, estáticos e com todos os movimentos	Personagens iniciam Estáticos e depois acrescentam-se os Movimentos (caminha, fala, pisca, olha, tenta tocá-lo)	H3.1	Sim
10	Avaliar a presença percebida pelos usuários e a naturalidade dos movimentos dos personagens	Personagens iniciam Estáticos e depois acrescentam-se os Movimentos (caminha, fala, pisca, olha, tenta tocá-lo)	H4.1	Sim

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como apresentado no Quadro 6, todas as hipóteses foram rejeitadas. Assim sendo, existe suporte estatístico para considerar-se as seguintes hipóteses alternativas a cada uma das hipóteses rejeitadas:

Hipótese alternativa à H1.1: Há diferença significativa na percepção de semelhança dos personagens humanoides 3D estáticos entre os dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

Hipótese alternativa à H1.2: Há diferença significativa na percepção de estranheza dos personagens humanoides 3D estáticos entre os dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

Hipótese alternativa à H1.3: Há diferença significativa na percepção de simpatia dos personagens humanoides 3D estáticos entre os dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

Hipótese alternativa à H1.4: Há diferença significativa na percepção de semelhança dos personagens humanoides 3D em movimento entre os dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

Hipótese alternativa à H1.5: Há diferença significativa na percepção de estranheza dos personagens humanoides 3D em movimento entre os dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

Hipótese alternativa à H1.6: Há diferença significativa na percepção de simpatia dos personagens humanoides 3D em movimento entre os dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

Hipótese alternativa à H2.1: Há diferença significativa na percepção de movimentos oculares dos personagens humanoides 3D entre os dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

Hipótese alternativa à H2.2: Há diferença significativa na percepção de movimentos labiais dos personagens humanoides 3D entre os dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

Hipótese alternativa à H2.3: Há diferença significativa na percepção de movimentos corporais dos personagens humanoides 3D entre os dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

Hipótese alternativa à H2.4: Há diferença significativa na percepção de movimentos combinados (oculares, labiais e corporais) dos personagens humanoides 3D entre os dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

Hipótese alternativa à H3.1: Há diferença significativa na percepção de se-

melhança entre personagens humanoides 3D estáticos e com movimentos combinados nos dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

Hipótese alternativa à H3.2: Há diferença significativa na percepção de estranheza entre personagens humanoides 3D estáticos e com movimentos combinados nos dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

Hipótese alternativa à H3.3: Há diferença significativa na percepção de simpatia entre personagens humanoides 3D estáticos e com movimentos combinados nos dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

Hipótese alternativa à H4.1: Há diferença significativa na percepção de presença do usuário nos ambientes virtuais e aumentados, no que diz respeito à naturalidade dos personagens humanoides 3D, entre os dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

As rejeições das hipóteses nulas reforçam a importância do desenvolvimento de personagens humanoides com movimentos naturais e que se adaptem ao tipo de dispositivo, para melhorar a experiência do usuário e reduzir a sensação de desconforto causada por imperfeições visuais ou de movimento.

Todos os experimentos realizados demonstram que o tipo de dispositivo desempenha um papel fundamental na forma como os personagens humanoides 3D são percebidos. A rejeição das hipóteses nulas confirma a influência significativa dos dispositivos imersivos na percepção de naturalidade, simpatia e semelhança, além de revelar como a adição de movimentos combinados pode melhorar a aceitação dos personagens pelo público.

As principais contribuições que pode-se destacar dos resultados dos experimentos são:

- **Vale da Estranheza**: tem-se a indicação que o Vale da Estranheza influencia a percepção, especialmente em dispositivos como o Monitor de Computador, para personagens com características menos naturais.
- **Movimentos**: os movimentos combinados (oculares, labiais e corporais) influenciam diretamente a percepção de naturalidade e estranheza, podendo tanto melhorar quanto piorar essa percepção dependendo do personagem e da qualidade dos movimentos.
- **Dispositivos**: o tipo de dispositivo utilizado (HMD-RA, HMD-RV, Monitor) afeta de forma significativa a percepção dos personagens em relação às variáveis investigadas, como a presença, a naturalidade dos movimentos e a estranheza.

7 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A presente tese analisou a influência do *Vale da Estranheza* (*Uncanny Valley"*) na percepção de personagens humanoides 3D observados em diferentes tipos de *displays*, incluindo monitores, HMDs de Realidade Virtual (RV) e HMDs de Realidade Aumentada (RA). Com base nos experimentos realizados, é possível responder às quatro questões de pesquisa propostas.

1. **Influência dos diferentes *displays* na percepção de semelhança, estranheza e simpatia**: Os resultados indicaram que os *displays* influenciam significativamente essas percepções. Monitores convencionais amplificaram a estranheza dos personagens, especialmente aqueles com movimentos corporais e faciais, enquanto os HMDs de RA e RV, por proporcionarem uma experiência mais imersiva, atenuaram esse efeito. A simpatia dos personagens foi percebida de forma mais positiva nos HMDs, o que sugere que o grau de imersão é um fator importante na redução da estranheza e no aumento da afinidade.

2. **Influência dos movimentos faciais e corporais na percepção de estranheza e simpatia**: Os movimentos faciais (dos olhos e lábios) e corporais mostraram-se determinantes na percepção de estranheza. A falta de sincronização nos movimentos labiais ou o desvio do olhar geraram desconforto e aumentaram a estranheza nos personagens, enquanto movimentos mais naturais, principalmente nos HMDs de RA, foram mais eficazes em melhorar a simpatia e reduzir a estranheza.

3. **Superação do *Vale da Estranheza* com a tecnologia atual**: Embora os resultados demonstrem que a tecnologia atual, especialmente os HMDs de RA, pode atenuar o *Vale da Estranheza*, o fenômeno ainda persiste em certos contextos, particularmente quando se trata de personagens com alto nível de realismo. Embora tenha havido progresso em termos de suavização da estranheza percebida, ainda há desafios para superar completamente esse efeito com a tecnologia disponível.

4. **Efeito do ambiente virtual 3D e dos diferentes níveis de realismo**: O ambiente virtual 3D, quando observado em diferentes dispositivos de visualização, também afeta as percepções dos usuários. Em HMDs de RA, o ambiente real sobreposto ao virtual gerou uma experiência mais positiva em termos de simpatia, mesmo em personagens com níveis mais altos de realismo. Já os monitores convencionais mantiveram um nível elevado de estranheza, especialmente em personagens com movimentos complexos.

Esta tese investigou uma variável importante do Vale da Estranheza, muitas vezes ignorada: o movimento. Os todos os personagens avaliados possuem movimentos. Estes

movimentos foram isolados em oculares, labiais e corporais, mas também são avaliados em conjunto, onde até mesmo o sincronismo com a fala (áudio) também pode ser analisado.

Além das respostas às questões de pesquisa, os resultados obtidos nesta tese trazem importantes contribuições para a área de Mídia e Tecnologia, especialmente no que tange à criação de conteúdos interativos e imersivos que utilizam personagens humanoides. A compreensão detalhada da influência do Vale da Estranheza nos diferentes tipos de *displays* tem implicações diretas para a produção de mídia digital em diversas plataformas.

A constatação de que HMDs de RA e RV podem atenuar a percepção de estranheza e aumentar a afinidade com personagens virtuais sugere novas oportunidades para criadores de conteúdo que desejam explorar narrativas interativas e ambientes imersivos, principalmente em formatos emergentes, como o metaverso e aplicações de RA.

A redução da estranheza em dispositivos imersivos também aponta para uma maior aceitação de personagens virtuais em experiências interativas, como jogos, simulações e treinamentos, abrindo caminho para o desenvolvimento de conteúdos que utilizam personagens digitais com expressões faciais e corporais sofisticadas.

Esse avanço pode afetar não apenas o entretenimento, mas também áreas como a educação e o *marketing* digital, onde a interação com humanoides virtuais pode melhorar o engajamento e a experiência do usuário. As descobertas também destacam a importância do *design* de personagens para evitar o Vale da Estranheza, principalmente em projetos voltados para a comunicação social e a publicidade. A criação de personagens mais simpáticos e menos estranhos pode aumentar a eficácia das mensagens, tornando as interações em ambientes virtuais mais fluidas e agradáveis.

Isso é especialmente relevante em um contexto onde o uso de avatares e representações digitais está se tornando cada vez mais comum, e onde o realismo virtual tem o potencial de aproximar o público dos conteúdos midiáticos de maneira mais direta e personalizada.

7.1 TRABALHOS FUTUROS

Como trabalhos futuros, esta tese abre um leque de possibilidades que podem aprofundar e expandir o entendimento sobre o Vale da Estranheza, especialmente no contexto da Realidade Aumentada com uso de HMDs imersivos e do uso de personagens virtuais com movimentos complexos. Diante dos resultados obtidos, várias linhas de investigação podem ser exploradas para enfrentar os desafios tecnológicos e aprimorar a experiência do usuário com personagens ou avatares realistas e hiper-realistas. Sugere-se:

- Exploração de novas técnicas de animação facial e corporal, com foco em melhorar a naturalidade dos personagens virtuais. O desenvolvimento de algoritmos mais avançados para captura e reprodução de movimentos faciais e corporais, sincronizados em tempo real, poderia contribuir significativamente para reduzir a estranheza percebida. Estudos nessa área podem investigar como tecnologias com a inteligência artificial podem aprimorar a precisão dos movimentos labiais, oculares e expressões faciais em ambientes imersivos.
- Estudos sobre personalização de avatares, explorando como permitir que os usuários ajustem as características físicas e os movimentos de seus avatares pode influenciar a percepção de estranheza e simpatia. A personalização pode ser um fator-chave para aumentar a aceitação de personagens virtuais em diferentes contextos, especialmente em ambientes emergentes, como o metaverso.
- Análise da percepção em narrativas interativas e imersivas. Uma investigação mais profunda sobre a aplicação de personagens humanoides em narrativas interativas pode revelar como o nível de realismo dos personagens afeta a imersão e a experiência emocional do usuário. Seria interessante explorar como a presença de personagens com diferentes graus de realismo afeta a conexão do público em experiências no metaverso, jogos de realidade virtual ou simuladores.
- Desenvolvimento de métricas automáticas para avaliar estranheza e simpatia. Dado o caráter subjetivo das percepções de estranheza e simpatia, futuros trabalhos poderiam se concentrar na criação de sistemas automáticos que utilizem técnicas de aprendizado de máquina para medir essas percepções em tempo real. Esse tipo de sistema poderia fornecer feedback instantâneo durante interações com personagens virtuais, permitindo ajustes dinâmicos para melhorar a experiência do usuário.

REFERÊNCIAS

ADOBE. **Mixamo website**. Adobe Systems Incorporated., 2023. Acesso em 10/02/2023. Disponível em: https://www.mixamo.com/.

AGGARWAL, P.; MCGILL, A. L. Is that car smiling at me? schema congruity as a basis for evaluating anthropomorphized products. **Journal of consumer research**, The University of Chicago Press, v. 34, n. 4, p. 468–479, 2007.

AGRESTI, A.; FINLAY, B. **Statistical Methods for the Social Sciences**. 5th. ed. Upper Saddle River: Pearson, 2021.

ALDRED, J. From synthespian to avatar: Re-framing the digital human in final fantasy and the polar express. **Mediascape Winter. Accessed January**, v. 10, p. 2013, 2011.

APPLE. **Apple Vision Pro**. 2024a. Acesso em 30/08/2024. Disponível em: https://www.apple.com/apple-vision-pro/.

APPLE. **Apple Vision Pro available in the US on February 2**. 2024b. Acesso em 30/08/2024. Disponível em: https://www.apple.com/newsroom/2024/01/apple-vision-pro-available-in-the-us-on-february-2/.

AZUMA, R. *et al.* Recent advances in augmented reality. **IEEE computer graphics and applications**, IEEE, v. 21, n. 6, p. 34–47, 2001.

AZUMA, R. T. A survey of augmented reality. **Presence: teleoperators & virtual environments**, MIT press One Rogers Street, Cambridge, MA 02142-1209, USA journals-info . . . , v. 6, n. 4, p. 355–385, 1997.

BARFIELD, W. Head-mounted display technologies for augmented reality. In: **Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality**. [S.l.]: CRC Press, 2015. p. 78–103.

BARTNECK, C. *et al.* Measurement instruments for the anthropomorphism, animacy, likeability, perceived intelligence, and perceived safety of robots. **International journal of social robotics**, Springer, v. 1, n. 1, p. 71–81, 2009.

BERRYMAN, D. R. Augmented reality: a review. **Medical reference services quarterly**, Taylor & Francis, v. 31, n. 2, p. 212–218, 2012.

BURDEA, G. C.; COIFFET, P. **Virtual Reality Technology**. 2.. ed. John Wiley & Sons, 2003. Acesso em: 07/04/2022. Disponível em: https://www.vitalsource.com/products/virtual-reality-technology-grigore-c-burdea-philippe-v9781119485728.

COVOLAN, J. P. M. **Um método não determinístico para a calibração semiautomática de HMDs OST baseados em smartphone**. 88 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2022.

EXPRESSO Polar, O. 2004. Direção Robert Zemeckis. Estados Unidos: Warner Bros. Pictures. 1 DVD (100 min).

FAUL, F. *et al.* Statistical power analyses using g*power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. **Behavior Research Methods**, v. 41, p. 1149–1160, 2009.

FIELD, A. **Discovering Statistics Using SPSS**. 4th. ed. London: SAGE Publications, 2013.

FREINA, L.; OTT, M. A literature review on immersive virtual reality in education: state of the art and perspectives. In: **The international scientific conference elearning and software for education**. [s.n.], 2015. v. 1, n. 133, p. 10–1007. Acesso em: 07/04/2022. Disponível em: https://www.itd.cnr.it/download/eLSE%202015%20Freina%20Ott%20Paper.pdf.

FREUD, S. **O Estranho (Das Unheimliche)**. Rio de Janeiro: Imago, 2017. XVII. 172 p. (Obras Completas, XVII). Acesso em 12/12/2023. Disponível em: https://psicanaliseemformacao.com/sigmund-freud-obras-completas-para-baixar/.

GORLINI, C.; DIXEN, L.; BURELLI, P. Investigating the uncanny valley phenomenon through the temporal dynamics of neural responses to virtual characters. **arXiv preprint**, 2023. Acesso em 12/12/2023. Disponível em: https://ar5iv.labs.arxiv.org/html/2306.16233.

HEPPERLE, D. *et al.* Aspects of visual avatar appearance: self-representation, display type, and uncanny valley. **The visual computer**, Springer, v. 38, n. 4, p. 1227–1244, 2022.

HILL, L.; JACOBS, A. 3-d liquid crystal displays and their applications. **Proceedings of the IEEE**, v. 94, n. 3, p. 575–590, 2006.

HO, C.-C.; MACDORMAN, K. F. Revisiting the uncanny valley theory: Developing and validating an alternative to the godspeed indices. **Computers in Human Behavior**, Elsevier, v. 26, n. 6, p. 1508–1518, 2010.

HO, C.-C.; MACDORMAN, K. F. Measuring the uncanny valley effect. **International Journal of Social Robotics**, Springer, v. 9, n. 1, p. 129–139, 2017.

HYPEBEAST. **Hypebeast website**. Hypebeast Hong Kong Ltd., 2023. Acesso em 10/02/2023. Disponível em: https://hypebeast.com/2022/8/mark-zuckerberg-quickly-updates-metaverse-avatar-following-criticism-on-graphics.

JAVORNIK, A. Augmented reality: Research agenda for studying the impact of its media characteristics on consumer behaviour. **Journal of Retailing and Consumer Services**, v. 30, p. 252–261, 2016. Acesso em: 07/04/2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2016.02.004.

JENTSCH, E. On the psychology of the uncanny (1906). **Angelaki: Journal of the**

Theoretical Humanities, Taylor & Francis, v. 2, n. 1, p. 7–16, 1997.

JIANG, H. *et al.* Virtual characters meet the uncanny valley: A literature review based on the web of science core collection (2007-2022). In: IEEE. **2022 International Conference on Culture-Oriented Science and Technology (CoST)**. [S.l.], 2022. p. 401–406.

KIINTONEN, S. **Delightfully Disturbing: Utilizing Uncanny Valley in Favour of Character Design**. 48 p. Bachelor's thesis — Tampere University of Applied Sciences, Tampere, Finland, 2022. Interactive Media, Bachelor's Degree in Media and Arts. Acesso em: 06/01/2023. Disponível em: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/751853/Kiintonen_Satu.pdf?sequence=2.

KIM, S. J. **Whom Do You Want to Be Friends With: An Extroverted or an Introverted Avatar? Impacts of the Uncanny Valley Effect and Conversational Cues**. Tese (Tese (Doutorado)) — Syracuse University, https://surface.syr.edu/etd/1632/, 2020. Acesso em: 04/01/2023. Disponível em: https://surface.syr.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2633&context=etd.

KIRNER, C.; ZORZAL, E. R. Aplicações educacionais em ambientes colaborativos com realidade aumentada. In: **Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)**. [S.l.: s.n.], 2005. v. 1, n. 1, p. 114–124.

KIYOKAWA, K. Head-mounted display technologies for augmented reality. **Fundamentals of Wearable Computing and Augmented Reality**, CRC Press, p. 59–84, 2015.

KRESS, B. Optics for smart glasses, smart eyewear, augmented reality, and virtual reality headsets. In: BARFIELD, W. (Ed.). **Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality**. 2. ed. [S.l.]: CRC Press, 2015. cap. 5, p. 85–123. ISBN 9781482243505.

KREVELEN, D. V.; POELMAN, R. A survey of augmented reality technologies, applications and limitations. **International journal of virtual reality**, v. 9, n. 2, p. 1–20, 2010. Acesso em 04/01/2023. Disponível em: https://ijvr.eu/article/view/2767/8825.

KäTSYRI, J. *et al.* A review of empirical evidence on different uncanny valley hypotheses. **Frontiers in Psychology**, Frontiers Media SA, v. 6, p. 390, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00390.

LAY, S. **The Uncanny Valley Effect**. [S.l.]: Open University (United Kingdom), 2015.

LEE, L.-H. *et al.* All one needs to know about metaverse: A complete survey on technological singularity, virtual ecosystem, and research agenda. **arXiv preprint arXiv:2110.05352**, 2021. Acesso em 04/01/2023. Disponível em: https://arxiv.org/pdf/2110.05352.

LUGRIN, J.; LATT, J.; LATOSCHIK, M. E. Anthropomorphism and illusion of virtual body ownership. In: **Proceedings of the International Conference on Artificial Reality and Telexistence and Eurographics Symposium on Virtual Environments (ICAT-EGVE)**. Eurographics Association, 2015. Acesso em 05/09/2023. Disponível em: https://diglib.eg.org/server/api/core/bitstreams/0ba7327d-de11-4897-a69a-f6ef2f52d38a/content.

MACDORMAN, K. F.; ISHIGURO, H. The uncanny advantage of using androids in cognitive and social science research. **Interaction Studies**, v. 7, p. 297–337, 2005. Acesso em: 07/04/2022. Disponível em: https://doi.org/10.1075/is.7.3.03mac.

MENACHE, A. **Understanding Motion Capture for Computer Animation and Video Games**. [S.l.]: Morgan Kaufmann Publishers, 2010.

MERCHANT, Z. *et al.* Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in k-12 and higher education: A meta-analysis. **Computers and Education**, v. 70, p. 29–40, 2014. Acesso em: 07/04/2022. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360131513002108.

META. **Meta Quest 3 será lançado este ano e o Quest 2 terá preços mais baixos e melhor desempenho**. 2023a. Acesso em 06/09/2023. Disponível em: https://about.fb.com/br/news/2023/06/meta-quest-3-sera-lancado-este-ano-e-o-quest-2-tera-precos-mais-baixos-e-melhor-desempenho/.

META. **Meta Connect 2023: Quest 3, avanços em IA, a próxima geração de óculos inteligentes e o caminho para o metaverso**. 2023b. Acesso em 30/08/2024. Disponível em: https://about.fb.com/br/news/2023/09/meta-connect-2023-quest-3-avancos-em-ia-a-proxima-geracao-de-oculos-inteligentes-e-o-caminho-para-o-metaverso/.

META. **Meta Quest 3**. 2024. Acesso em 01/09/2024. Disponível em: https://www.meta.com/quest/quest-3.

MILGRAM, P. *et al.* Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In: SPIE. **Telemanipulator and telepresence technologies**. [S.l.], 1995. v. 2351, p. 282–292.

MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments**. 8th. ed. New York: John Wiley & Sons, 2013.

MORI, M. The uncanny valley. **Energy**, v. 7, n. 4, p. 33–35, 1970. Disponível em: https://spectrum.ieee.org/the-uncanny-valley. Acesso em: 05/03/2022.

MORI, M.; MACDORMAN, K. F.; KAGEKI, N. The uncanny valley [from the field]. **IEEE Robotics & automation magazine**, IEEE, v. 19, n. 2, p. 98–100, 2012.

MORO, C.; STROMBERGA, A.; BIRT, Z. Immersive virtual reality in health sciences: Systematic review of technology and educational outcomes. **Computers and Education**, v. 78, p. 1–14, 2017. Acesso em: 07/04/2022. Disponível em:

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131517301134.

MORO, C. *et al.* The effectiveness of virtual and augmented reality in health sciences and medical anatomy. **Anatomical Sciences Education**, v. 10, n. 6, p. 549–559, 2017. Acesso em: 07/04/2022. Disponível em: https://doi.org/10.1002/ase.1696.

MURPHY, K. R.; MYORS, B. **Statistical Power Analysis: A Simple and General Model for Traditional and Modern Hypothesis Tests**. 2nd. ed. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2004. ISBN 978-0805842586.

MYSTAKIDIS, S. Metaverse. **Encyclopedia**, MDPI, v. 2, n. 1, p. 486–497, 2022.

NOGHABAEI, M. *et al.* Trend analysis on adoption of virtual and augmented reality in the architecture, engineering, and construction industry. **Data**, v. 5, n. 1, p. 26, 2020. Acesso em: 07/04/2022. Disponível em: https://www.mdpi.com/2306-5729/5/1/26.

PEDDIE, J. **Augmented reality: Where we will all live**. [S.l.]: Springer, 2017.

PHILLIPS, E. M.; PUGH, D. S. **How to Get a PhD: A Handbook for Students and their Supervisors**. 4th. ed. Buckingham: Open University Press, 2010.

RABE-HESKETH, S.; EVERITT, B. S. **A Handbook of Statistical Analyses Using Stata**. 4th. ed. Boca Raton: Chapman and Hall/CRC, 2007.

SEYMOUR, M. *et al.* Have we crossed the uncanny valley? understanding affinity, trustworthiness, and preference for realistic digital humans in immersive environments. **Journal of the Association for Information Systems**, Association for Information Systems, v. 22, n. 3, p. 591–617, 2021.

SLATER, M. *et al.* A virtual reprise of the stanley milgram obedience experiments. **PloS one**, Public Library of Science San Francisco, USA, v. 1, n. 1, p. e39, 2006.

SLATER, M.; SANCHEZ-VIVES, M. V. Enhancing our lives with immersive virtual reality. **Frontiers in Robotics and AI**, v. 3, 2016. ISSN 2296-9144. Disponível em: https://www.frontiersin.org/journals/robotics-and-ai/articles/10.3389/frobt.2016.00074.

STEFANOVA, M. P. Exploring the uncanny valley effect in virtual reality for social phobia. Italy, 2020. Acessado em: 06/12/2022. Disponível em: https://www.politesi.polimi.it/handle/10589/170079.

STEIN, J.-P.; OHLER, P. Venturing into the uncanny valley of mind—the influence of mind attribution on the acceptance of human-like characters in a virtual reality setting. **Cognition**, Elsevier, v. 160, p. 43–50, 2017.

STORE, U. A. **Unity Asset Store**. 2023. https://assetstore.unity.com/. Acessado em: 4 de maio de 2023.

TAIRA, G. M. N.; SEMENTILLE, A. C.; SANCHES, S. R. R. Influence of the camera

viewpoint on augmented reality interaction. **IEEE Latin America Transactions**, IEEE, v. 16, n. 1, p. 260–264, 2018.

TORI, R.; HOUNSELL, M. d. S.; KIRNER, C. Realidade aumentada. In: TORI, R.; HOUNSELL, M. d. S. (Ed.). **Introdução a realidade virtual e aumentada**. [S.l.]: Sociedade Brasileira da Computação, 2018. p. 36–74.

TRIERVEILER, G.; FLEMMING, J. Experimento para modelar a acomodação do olho humano. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, SciELO Brasil, v. 41, 2018.

UNITY3D. **Unity Manual: GameObject Components**. [S.l.], 2022. Acesso em 10/02/2024. Disponível em: https://docs.unity3d.com/2022.2/Documentation/Manual/class-GameObject.html.

VIANA, P. R. C. *et al.* O espaço como personagem em games. 2020.

VOSINAKIS, S. The use of digital characters in interactive applications for cultural heritage. In: **Applying Innovative Technologies in Heritage Science**. [S.l.]: IGI Global, 2020. p. 109–137.

WASSERMAN, L. **All of Statistics: A Concise Course in Statistical Inference**. New York: Springer, 2004.

WEISBERG, S. **Applied Linear Regression**. 4rd. ed. New York: John Wiley & Sons, 2014.

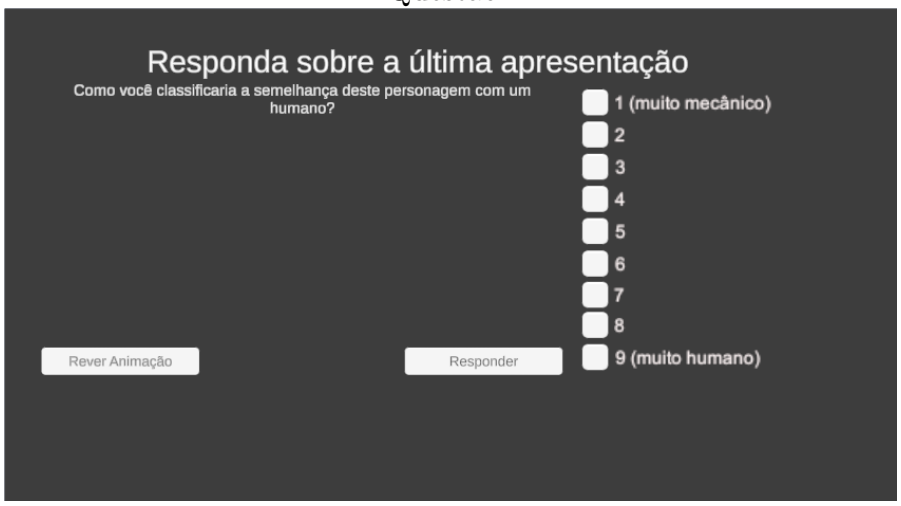
YAN, T. **Exploring the Uncanny Valley Effect in VR/AR**. 69 p. Dissertação (Mestrado) — Dartmouth College, 2019. Acessado em: 09/01/2023. Disponível em: https://www.tingyan.me/uncanny-valley-research.

ZHAN, T. *et al.* Multifocal displays: review and prospect. **PhotoniX**, Springer, v. 1, n. 1, p. 1–31, 2020.

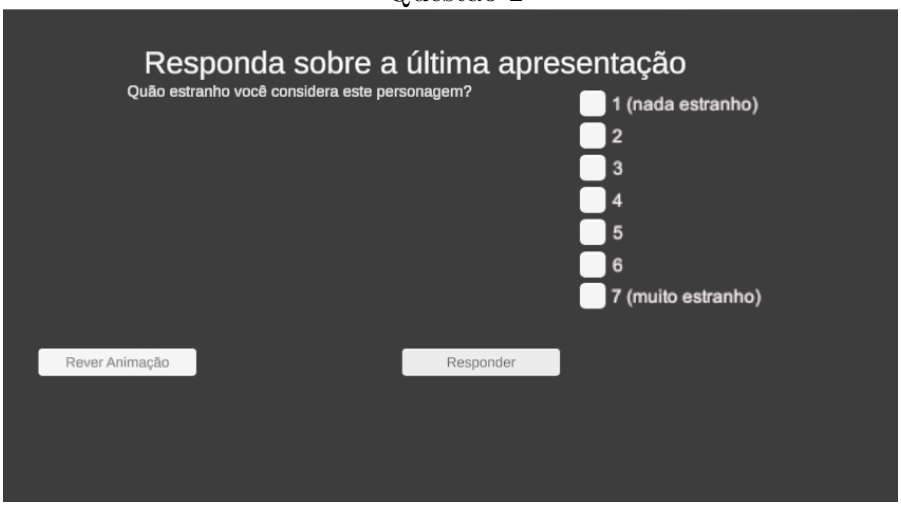
A APÊNDICES

A.1 INTERFACE PARA COLETA DAS RESPOSTAS DAS QUESTÕES DAS CENAS APRESENTADAS

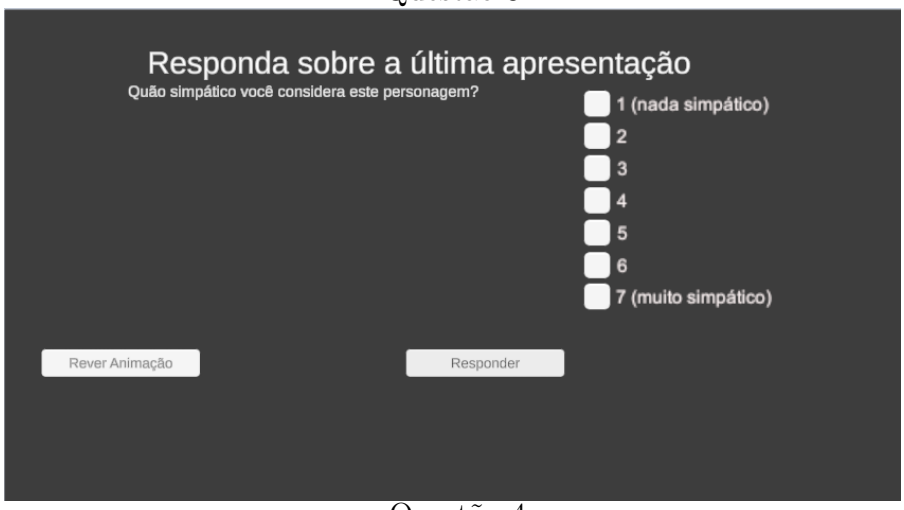
Questão 1



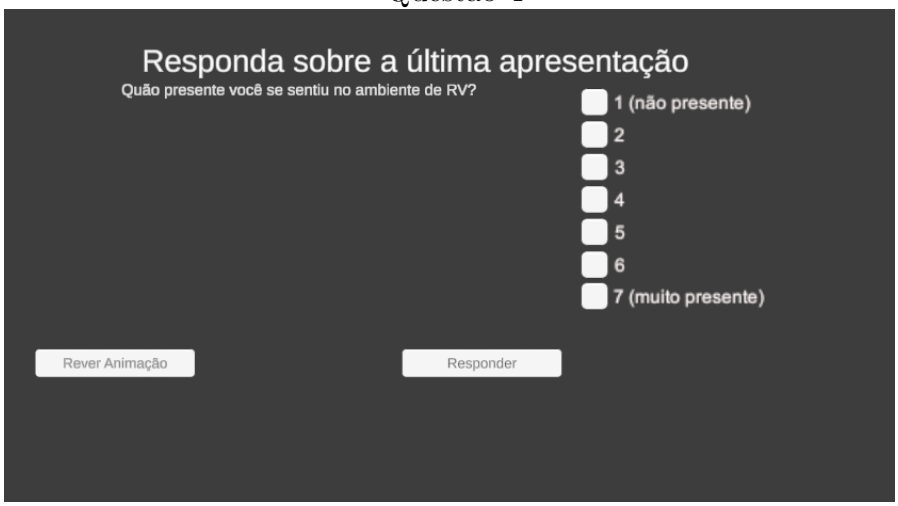
Questão 2



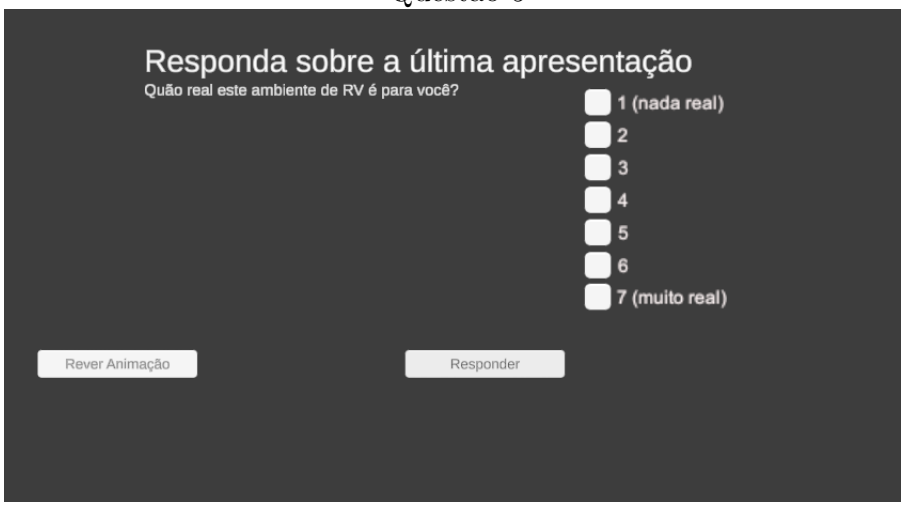
Questão 3



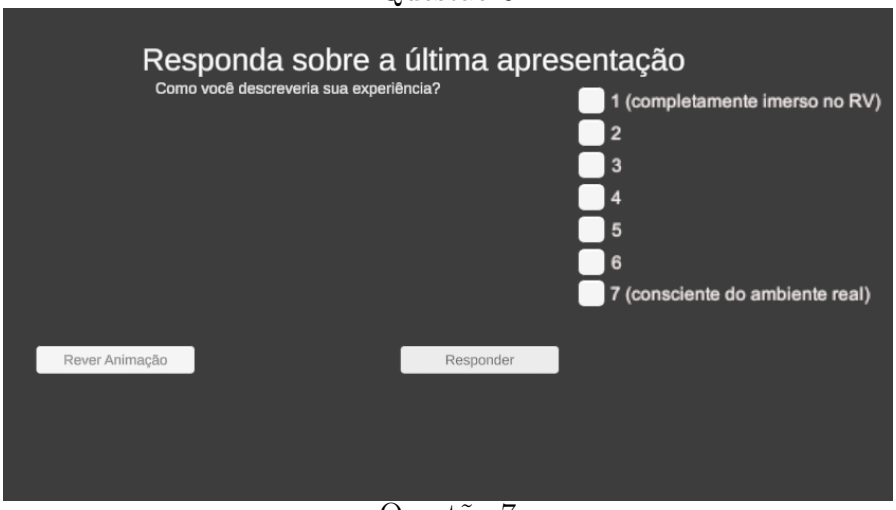
Questão 4



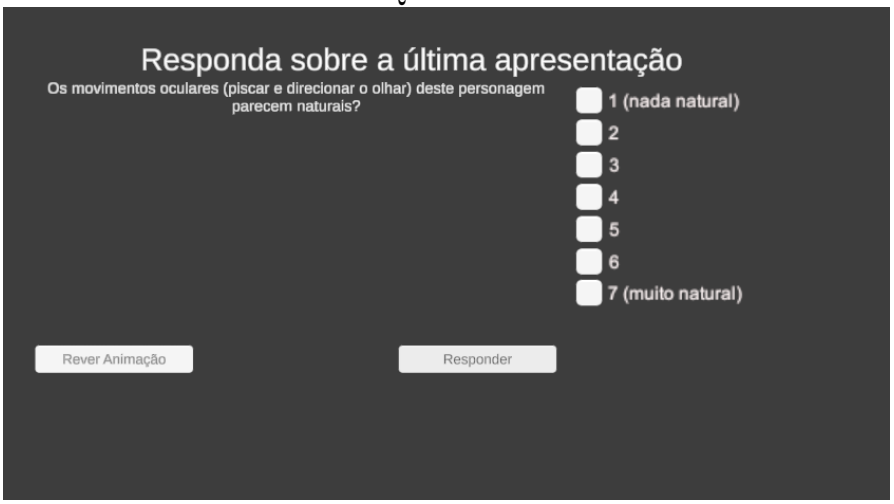
Questão 5



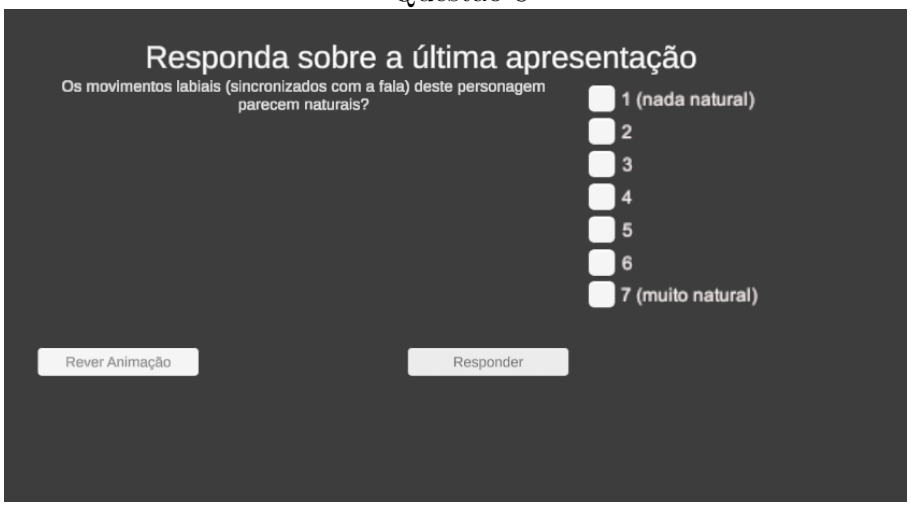
Questão 6



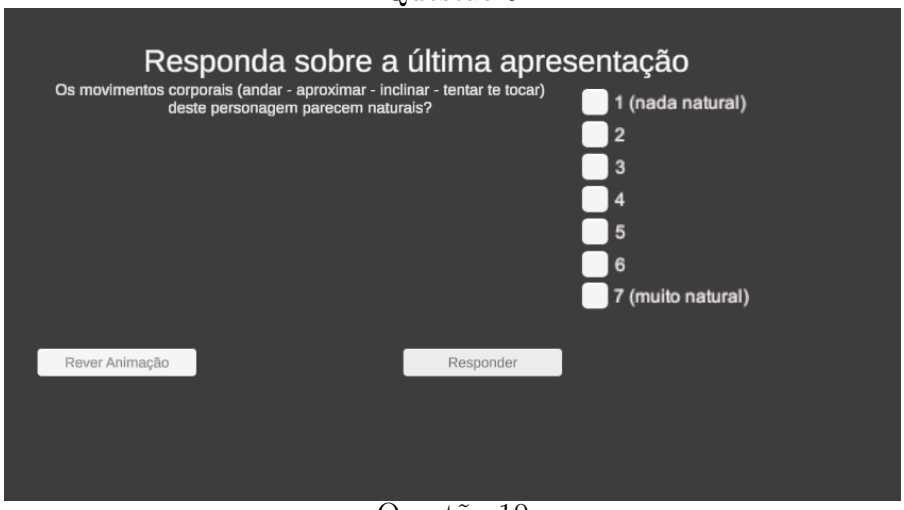
Questão 7



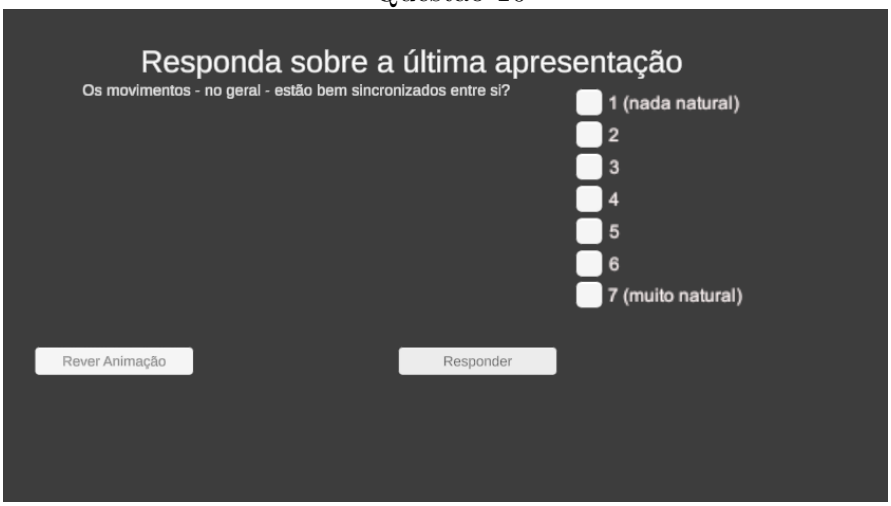
Questão 8



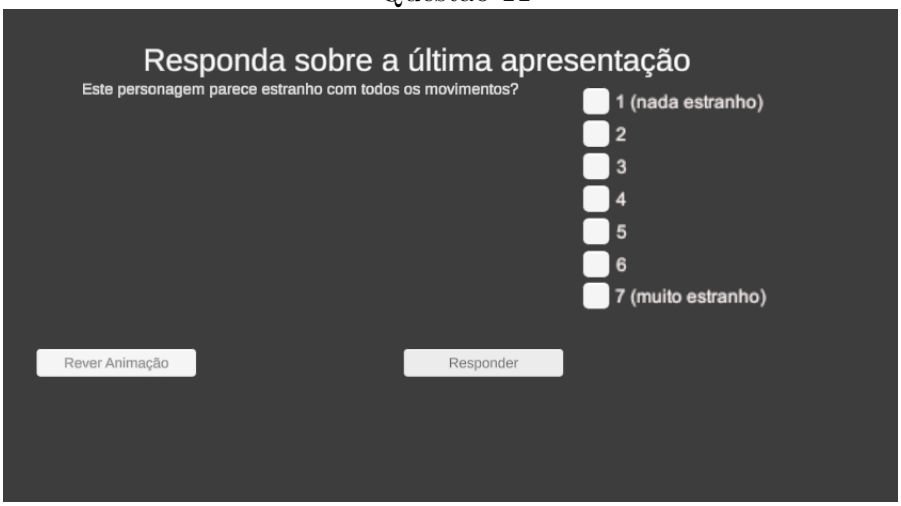
Questão 9



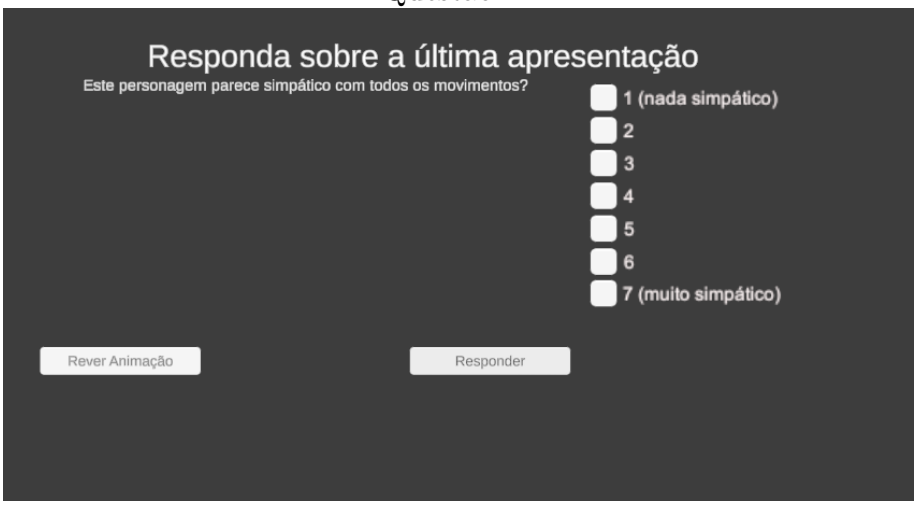
Questão 10



Questão 11

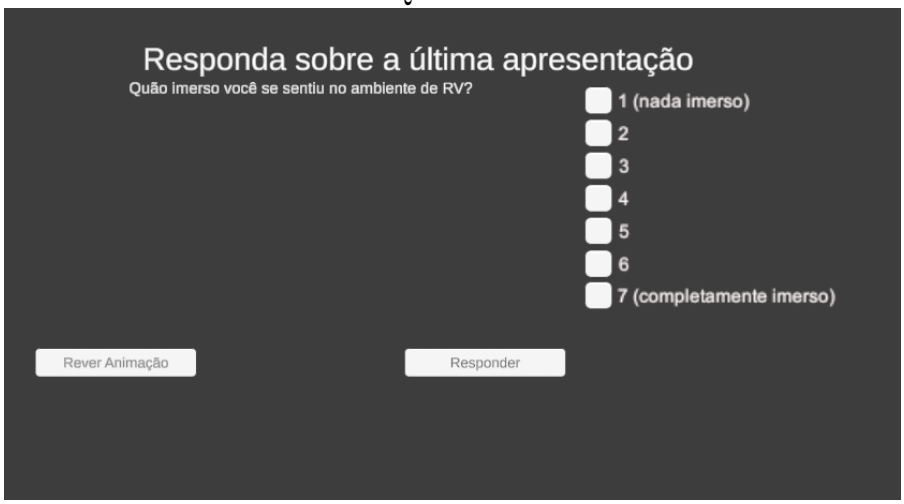


Questão 12

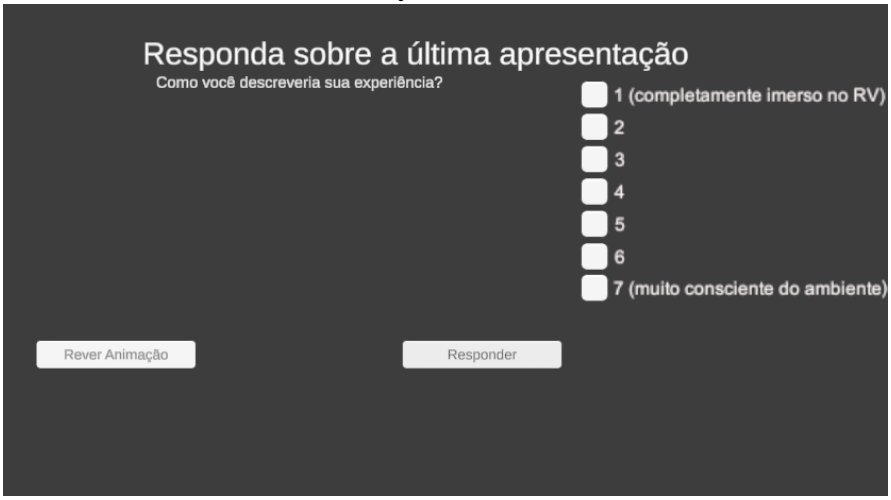


A.2 INTERFACE PARA COLETA DAS RESPOSTAS INFORMATIVAS SOBRE O PARTICIPANTE

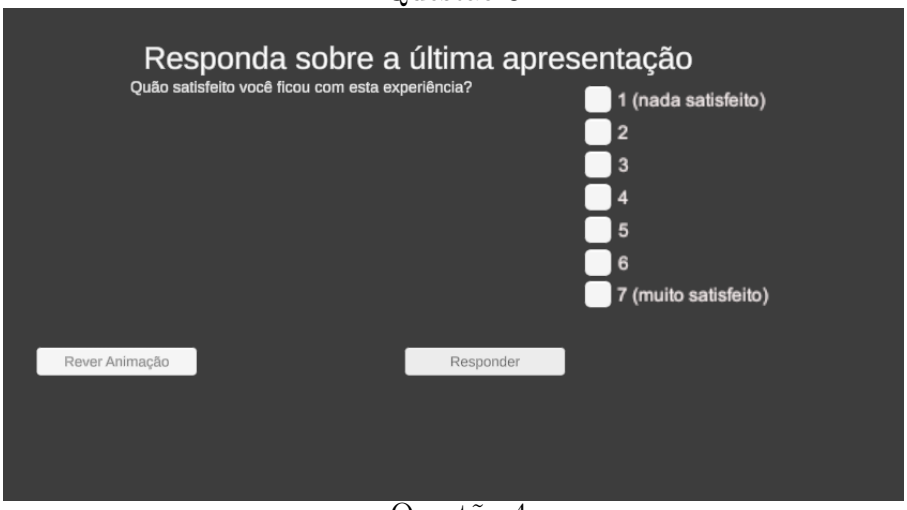
Questão 1



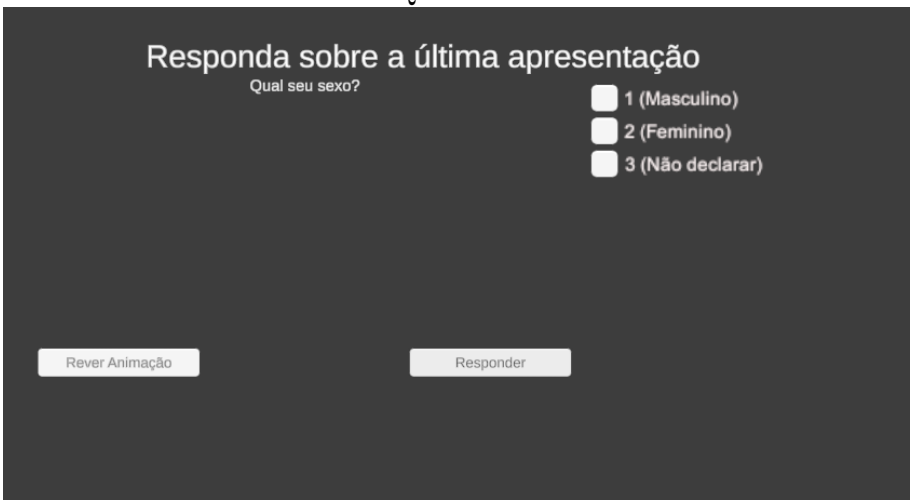
Questão 2



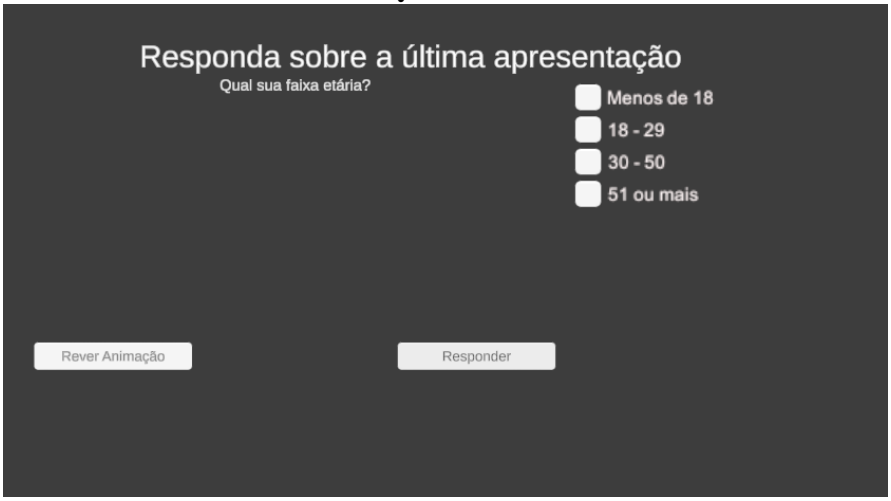
Questão 3



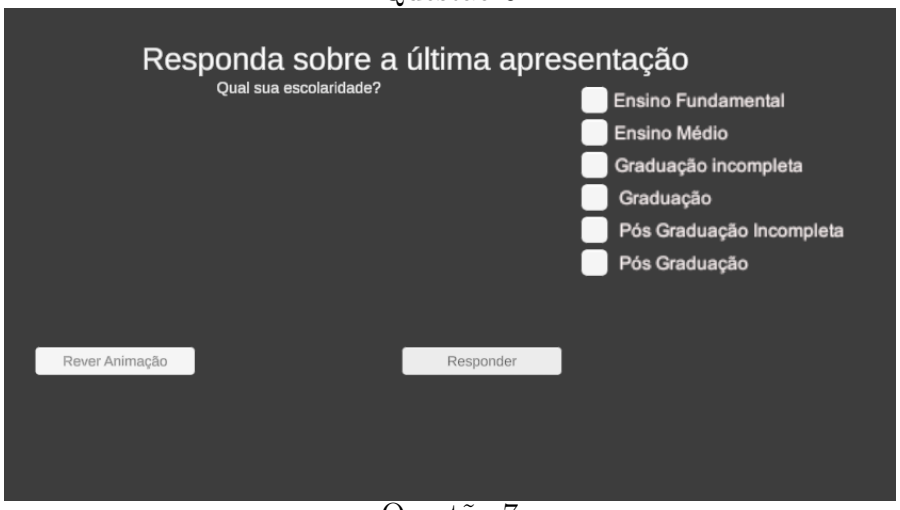
Questão 4



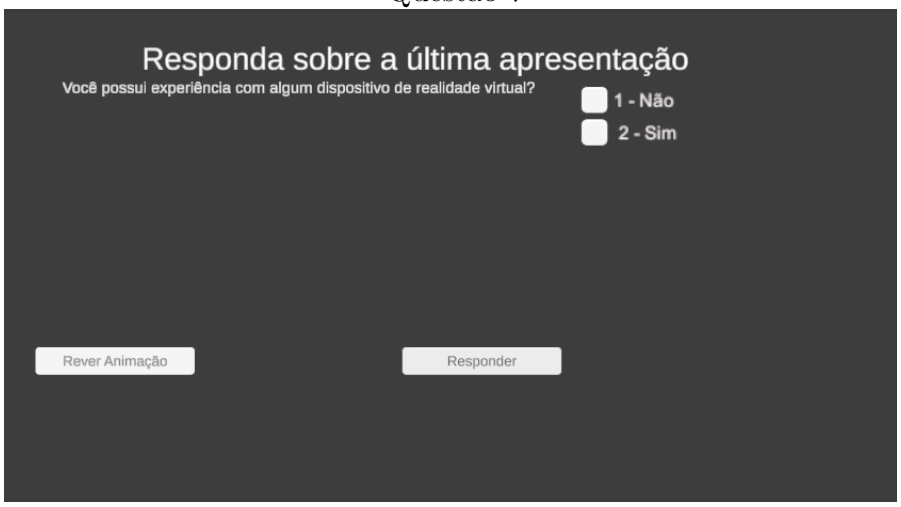
Questão 5



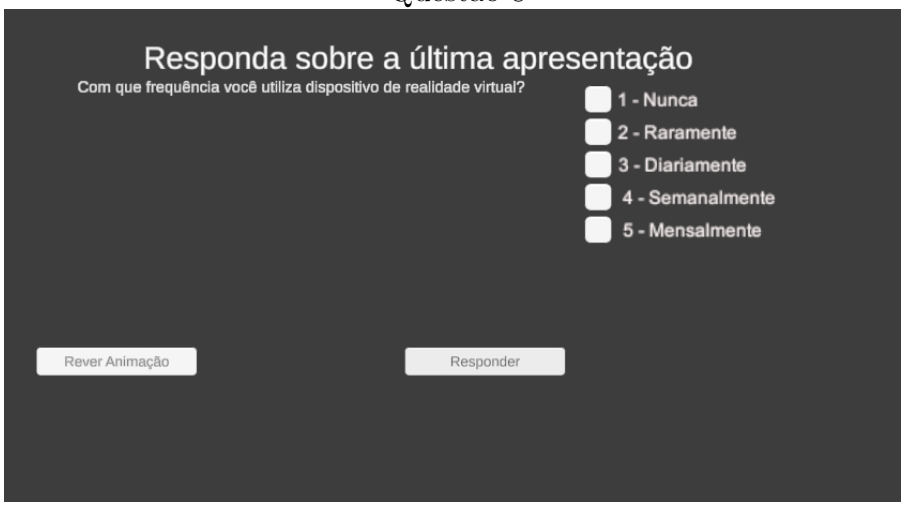
Questão 6



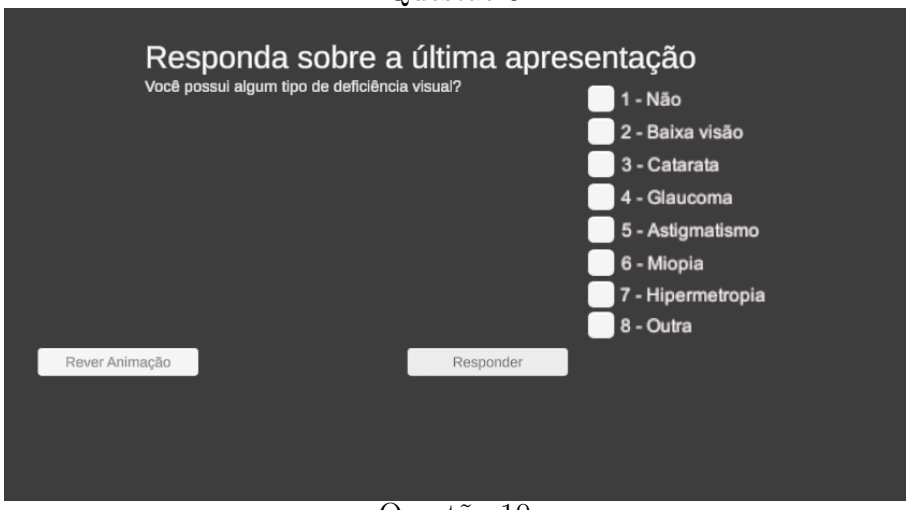
Questão 7



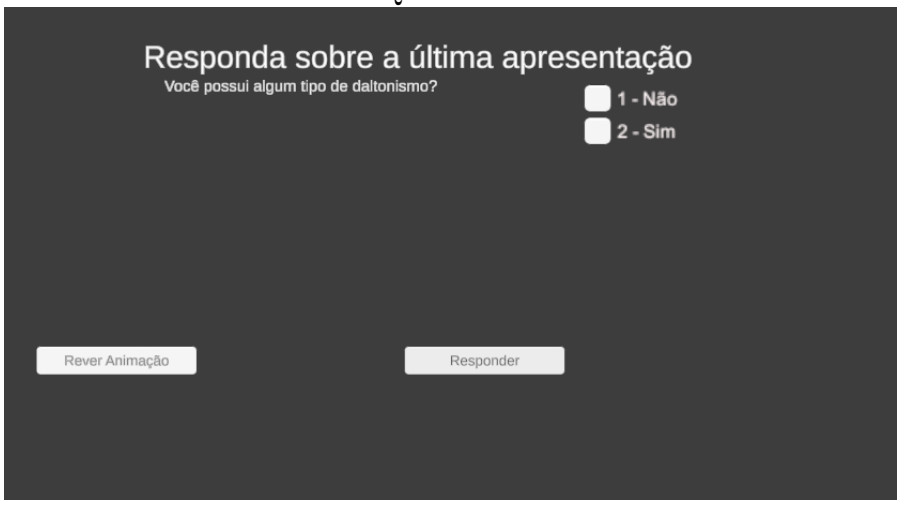
Questão 8



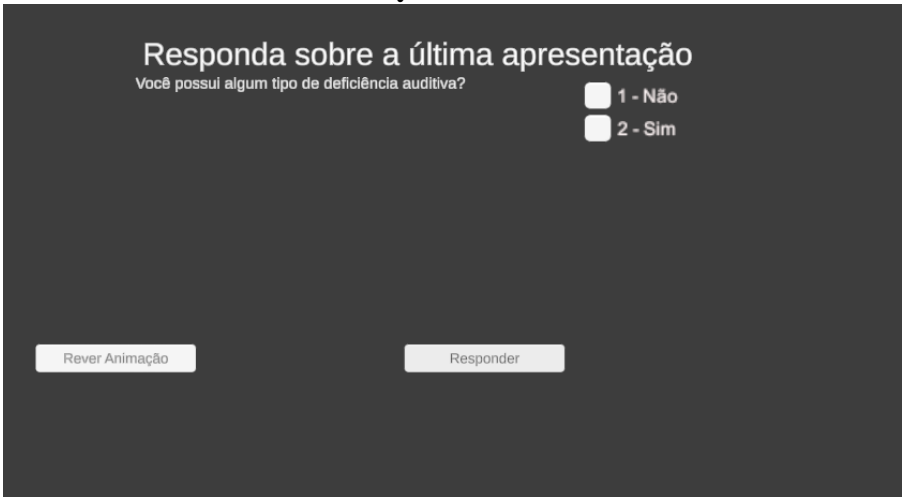
Questão 9



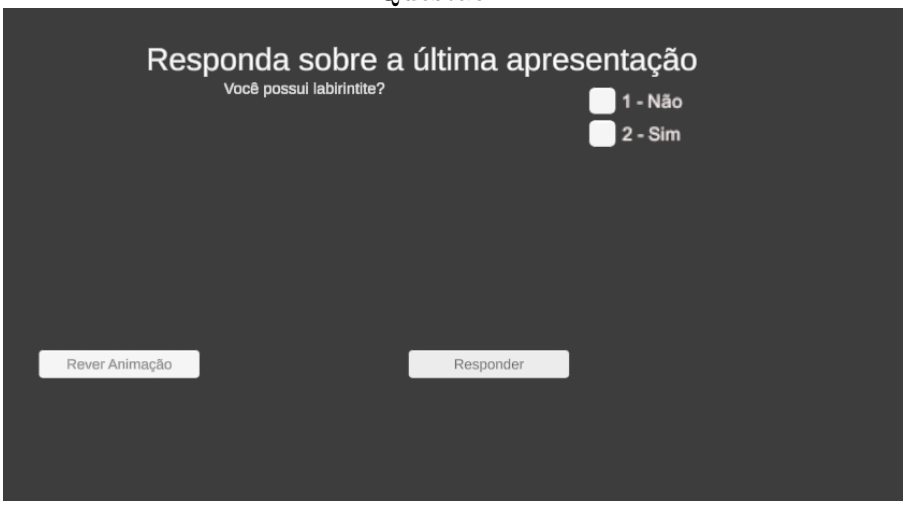
Questão 10



Questão 11



Questão 12


Responda sobre a última apresentação
Você possui labirintite?
1 - Não
2 - Sim
Rever Animação
Responder

B TERMO E CONSENTIMENTO PARA PARTICIPAÇÃO EM PESQUISA

Termo de Consentimento para Participação em Pesquisa

Você está sendo convidado(a) a participar de uma pesquisa sobre a percepção de avatares em Realidade Aumentada (RA). Antes de concordar em participar, é importante que você compreenda o propósito da pesquisa, o que será solicitado a você e os possíveis riscos e benefícios. Este termo de consentimento fornece informações sobre a pesquisa e solicita seu consentimento para participar.

Propósito da Pesquisa

O objetivo desta pesquisa é avaliar a percepção de avatares em RA, focando em aspectos como semelhança humana, estranheza, simpatia, presença, e naturalidade dos movimentos faciais e corporais. Os dados coletados serão comparados com resultados de pesquisas em Realidade Virtual (RV).

Procedimentos

Se você decidir participar desta pesquisa, você será solicitado(a) a observar 15 avatares em RA, cada um realizando movimentos faciais, labiais sincronizados com um áudio, e movimentos na cena, aproximando-se do usuário. Após a observação de cada avatar, você deverá responder a um questionário sobre suas percepções.

Riscos e Benefícios

Não há riscos significativos associados à participação nesta pesquisa. Os benefícios incluem uma melhor compreensão dos avatares em RA, que pode contribuir para futuros desenvolvimentos tecnológicos nesta área.

Confidencialidade

Todas as informações coletadas nesta pesquisa serão mantidas confidenciais. Os dados serão usados exclusivamente para fins de pesquisa e não serão compartilhados com terceiros sem seu consentimento.

Participação Voluntária

Sua participação nesta pesquisa é totalmente voluntária. Você pode optar por não participar ou retirar seu consentimento a qualquer momento sem qualquer penalidade ou prejuízo.

Informações de Contato

Se você tiver qualquer dúvida sobre esta pesquisa, por favor, entre em contato com: Pesquisador Principal: Prof. Sérgio Carlos Portari Júnior

Instituição: UNESP – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Telefone: – 34-99111-0949

E-mail: sergio.portari@unesp.br

Declaração de Consentimento

Eu, _____, li e compreendi as informações acima. Eu tive a oportunidade de fazer perguntas e todas as minhas perguntas foram respondidas satisfatoriamente. Eu compreendo que minha participação é voluntária e que eu posso me retirar da pesquisa a qualquer momento. Eu concordo em participar desta pesquisa.

_____
Assinatura do Participante

_____
Data

Informações Adicionais

Experiência com jogos de vídeo eletrônicos ou de RV/RA:
[ ] Nenhuma
[ ] Pouca
[ ] Moderada
[ ] Muita
[ ] Extensa

Sexo:
[ ] Masculino
[ ] Feminino

Escolaridade:
[ ] Ensino Médio Completo
[ ] Ensino Superior Incompleto (Curso e Período: _____)
[ ] Ensino Superior Completo (Curso: _____)
[ ] Pós-Graduação (_____)

C ANÁLISE DA PERCEPÇÃO DE SEMELHANÇA E A ESTRANHEZA DOS PERSONAGENS ESTÁTICOS

O objetivo deste experimento é medir a percepção do Vale Estranho quanto a semelhança com humanos e estranheza dos personagens em cada um dos dispositivos utilizados, HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

Neste experimento, tem-se as seguintes configurações:

- Variáveis Independentes: Tipos de dispositivos
  - HMD-RA
  - HMD-RV
  - Monitor de Computador
- Variáveis Dependentes:
  - Semelhança do personagem com um ser humano
  - Estranheza identificada no personagem
- Tipo de Análise: Análise de Variância (ANOVA) de um fator (*One-way* ANOVA)
- Hipótese Nula ((H_0)): Não há uma diferença significativa na percepção do Vale Estranho (Semelhança do personagem com um ser humano vs Estranheza identificada no personagem) quando visualizados nos diferentes dispositivos de visualização avaliados (HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador).
- Hipótese Alternativa ((H_1)): Há uma diferença significativa na percepção do Vale Estranho (Semelhança do personagem com um ser humano vs Estranheza identificada no personagem) quando visualizados nos diferentes dispositivos de visualização avaliados (HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador).

Desta forma, são extraídas as respostas dos usuários sobre a semelhança com um ser humano em relação ao personagem, e o grau de estranheza identificada no personagem, segmentadas pelo tipo de dispositivo que o usuário está utilizando.

C.1 RESULTADOS DA ANOVA

Os resultados da ANOVA aplicada para avaliar a semelhança dos personagens com um ser humano em diferentes dispositivos de visualização revelam que o fator "Dispositivo"tem um efeito significativo na percepção de semelhança com um ser humano, indicado pela estatística F = 19,33 e um valor-p extremamente baixo ($4{,}86e^{-9}$), que é muito menor que o nível de significância usual de 0,05. Esses resultados sugerem que há

uma diferença significativa entre os dispositivos utilizados no experimento em relação à semelhança percebida.

Já os resultados da ANOVA aplicada aos dados da Estranheza dos personagens mostra que o fator "Dispositivo"também tem um efeito significativo na percepção de estranheza, com estatística F = 13,26 e um valor-p muito baixo ($2{,}0e^{-6}$), bem abaixo do nível de significância usual de 0,05. Esses resultados também indicam que há uma diferença significativa na percepção de estranheza entre os dispositivos utilizados no experimento.

C.2 RESULTADOS DO TESTE *POST-HOC* DE TUKEY

Os testes *post-hoc* de Tukey são realizados para identificar quais pares de dispositivos apresentaram diferenças significativas. Os resultados podem ser vistos na Tabela C.1 e na Tabela C.2.

Tabela C.1 – Teste *Post-hoc* Tukey para Semelhança do Personagem com ser humano

Grupo1	**Grupo2**	**Dif. médias**	**p-ajustado**	**Inferior**	**Superior**	**Rejeita**
Monitor	HMD-RA	0.6636	0.0000	0.3428	0.9843	**Sim**
Monitor	HMD-RV	-0.1287	0.6143	-0.4494	0.1921	Não
HMD-RA	HMD-RV	-0.7922	0.0000	-1.1130	-0.4715	**Sim**

Fonte: Elaborado pelo autor.

O HMD-RA apresentou uma percepção significativamente maior de semelhança em comparação com o Monitor de Computador, enquanto o HMD-RV não mostrou diferenças significativas em relação aos outros dispositivos.

Quanto a estranheza, o teste *post-hoc* de Tukey gera os dados da Tabela C.2.

Tabela C.2 – Teste *Post-hoc* Tukey para Estranheza do Personagem

Grupo1	**Grupo2**	**Dif. médias**	**p-ajustado**	**Inferior**	**Superior**	**Rejeita**
Monitor	HMD-RA	-0.4744	0.0000	-0.7099	-0.2389	**Sim**
Monitor	HMD-RV	-0.4155	0.0001	-0.6510	-0.1800	**Sim**
HMD-RA	HMD-RV	0.0589	0.8273	-0.1766	0.2944	Não

Fonte: Elaborado pelo autor.

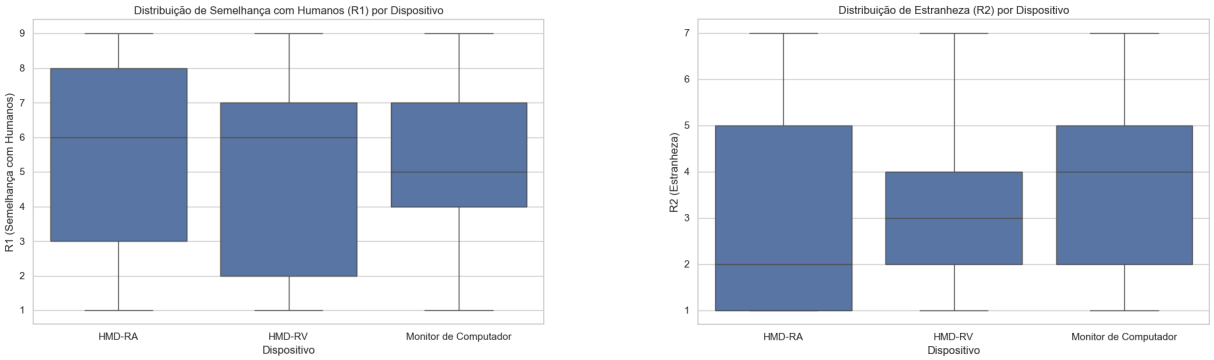
O Monitor de Computador resultou em uma percepção significativamente maior de estranheza em comparação com os HMDs.

Esses resultados sugerem que o dispositivo de realidade aumentada (HMD-RA) tende a proporcionar uma percepção de semelhança mais forte, enquanto o monitor tradicional pode amplificar a estranheza percebida.

C.3 GRÁFICOS BOXPLOTS

Os gráficos de Boxplots são especialmente úteis para identificar a simetria dos dados, a presença de *outliers*, e as diferenças na dispersão entre grupos. A Figura C.1 apresenta os Boxplots da Semelhança dos personagens com seres humanos em relação a Estranheza dos personagens percebida pelos usuários em relação aos dispositivos Monitor de Computador, HMD-RA e HMD-RV.

Figura C.1 – Distribuição da Semelhança e Estranheza dos personagens por Dispositivos



(A) (B)

Em (A), o gráfico mostra a distribuição da semelhança dos personagens com seres humanos; em (B), o gráfico apresenta a estranheza percebida nos personagens pelos usuários.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura C.1 em (A) apresenta a distribuição das avaliações de semelhança dos personagens com seres humanos em diferentes dispositivos: HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

O HMD-RA apresenta a mediana mais alta em relação aos outros dispositivos, indicando uma percepção de maior semelhança com seres humanos. A posição da mediana próxima ao topo da caixa sugere uma leve assimetria negativa, com a maioria dos valores concentrados em níveis mais altos de semelhança. O HMD-RV, por sua vez, também mostra uma mediana elevada, mas ligeiramente abaixo do nível do HMD-RA, indicando que os personagens ainda são percebidos como relativamente semelhantes, embora com uma variabilidade um pouco maior. Já o Monitor de Computador exibe a menor mediana,

sugerindo uma percepção mais baixa de semelhança, com uma distribuição mais ampla de respostas e a presença de alguns *outliers*, o que reflete uma maior dispersão nas avaliações.

Na Figura C.1 em (B) tem-se o Boxplot da Estranheza dos personagens em relação aos dispositivos Monitor de Computador, HMD-RA e HMD-RV.

Neste gráfico, o Monitor de Computador exibe a maior mediana para a estranheza do personagem, destacando uma percepção mais elevada de desconforto ou "estranheza"ao visualizar os personagens nesse dispositivo. A mediana próxima à parte inferior da caixa indica uma assimetria positiva, com uma concentração maior de respostas mais altas em relação à estranheza, além de uma variabilidade maior e presença de *outliers*.

O HMD-RV apresenta uma mediana de estranheza ligeiramente inferior à do Monitor de Computador, com uma distribuição mais simétrica e menor variabilidade, sugerindo uma percepção moderada de estranheza. O HMD-RA, por outro lado, mostra a mediana mais baixa, indicando que os personagens são percebidos como menos estranhos nesse dispositivo, com uma variabilidade moderada e poucos *outliers*, refletindo uma consistência maior nas avaliações.

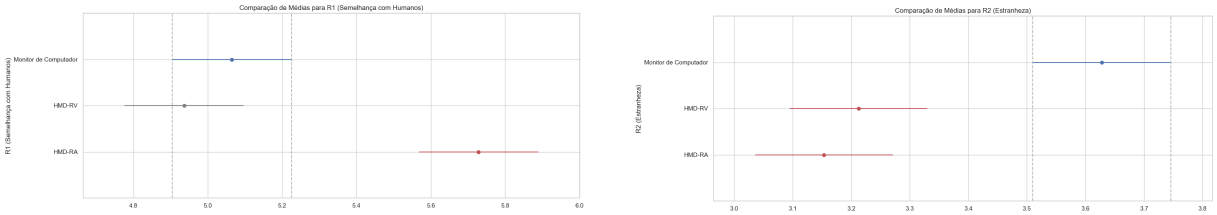
De forma geral, os resultados indicam que os dispositivos de visualização influenciam significativamente as percepções dos usuários. A realidade aumentada foi associada a percepções mais positivas em termos de semelhança dos personagens com seres humanos, enquanto a visualização tradicional em monitores de computador parece acentuar a estranheza dos personagens.

C.4 GRÁFICOS DAS MÉDIAS COM INTERVALOS DE CONFIANÇA

A Figura C.2 em (A) demonstra as médias com intervalos de confiança para semelhança do personagem com seres humanos nos diferentes dispositivos utilizados neste experimento.

O HMD-RA apresenta a média de semelhança do personagem com seres humanos mais alta entre os dispositivos, com intervalos de confiança estreitos, indicando uma percepção consistente de que os personagens são mais semelhantes a seres humanos. O HMD-RV, por sua vez, mostra uma média ligeiramente inferior, mas ainda elevada, com intervalos de confiança que também indicam consistência nas respostas, embora a percepção de semelhança seja um pouco menor em comparação ao HMD-RA. Já o Monitor de Computador exibe a média mais baixa, com intervalos de confiança mais amplos, sugerindo uma maior variabilidade nas respostas e uma percepção geral de semelhança significativamente menor.

Figura C.2 – Médias de Semelhança e Estranheza dos personagens por Dispositivos



(A) (B)

Em (A), o gráfico mostra as médias da semelhança dos personagens com seres humanos; em (B), o gráfico apresenta as médias da estranheza percebida nos personagens pelos usuários.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em se tratando da Estranheza dos personagens, a Figura C.2 em (B) apresenta as médias com intervalos de confiança por dispositivos avaliados pelos usuários.

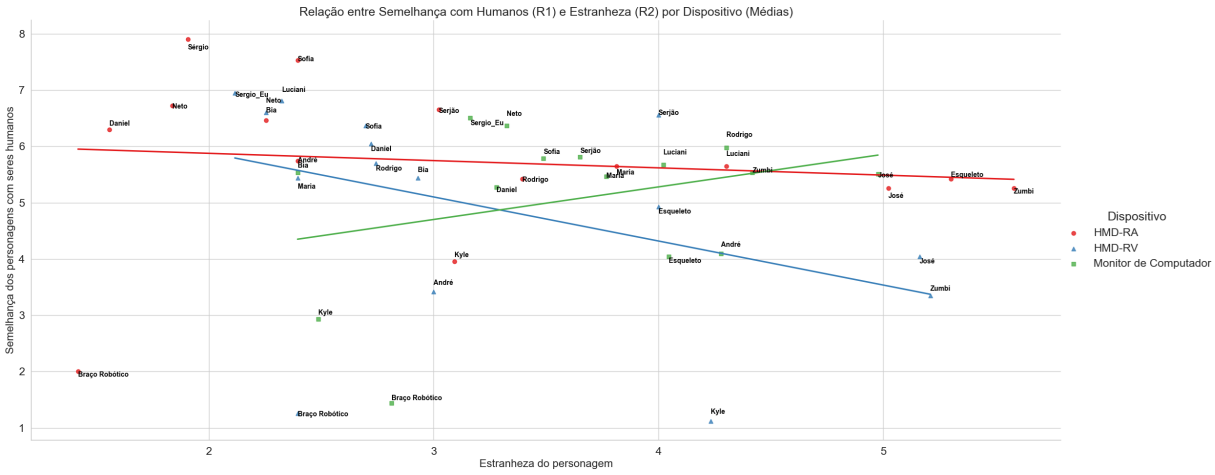
O Monitor de Computador apresenta a média mais alta para a estranheza do personagem, acompanhada de intervalos de confiança amplos, o que indica uma percepção elevada e variável de desconforto ou "estranheza"ao visualizar os personagens. O HMD-RV exibe uma média de estranheza inferior à do Monitor de Computador, com intervalos de confiança mais estreitos, sugerindo uma percepção mais moderada de estranheza e maior consistência nas avaliações. O HMD-RA, por outro lado, possui a média mais baixa de estranheza, com intervalos de confiança estreitos, refletindo uma percepção menos acentuada e mais consistente de estranheza, similar ao que foi observado no gráfico de semelhança.

Concluindo, os gráficos de médias com intervalos de confiança confirmam que o dispositivo de visualização tem um impacto significativo nas percepções dos personagens. O HMD-RA se destaca por proporcionar maior semelhança do personagem com humanos e menor estranheza percebida no personagem pelo usuário, enquanto o Monitor de Computador amplifica essa estranheza e reduz a semelhança. O HMD-RV, embora intermediário, ainda oferece percepções positivas, mas menos intensas que o HMD-RA. Esses achados ressaltam a importância do dispositivo na experiência do usuário.

C.5 GRÁFICO DE DISPERSÃO E REGRESSÃO

Na Figura C.3 observa-se os dados de dispersão e regressão da Semelhança dos personagens com seres humanos em relação à Estranheza dos personagens, avaliado pelos usuários, em relação aos três dispositivos: Monitor de Computador, HMD-RA e MHD-RV.

Figura C.3 – Dispersão e Regressão da Semelhança dos personagens com seres humanos vs Estranheza dos personagens em relação aos dispositivos



Fonte: Elaborado pelo autor.

No gráfico de dispersão e regressão, observa-se que a linha de regressão do HMD-RA é quase horizontal, indicando uma relação fraca entre semelhança e estranheza. O HMD-RV mostra uma inclinação negativa, sugerindo que, quanto maior a estranheza, menor a semelhança percebida. Já no Monitor de Computador, a linha de regressão apresenta uma inclinação positiva, indicando que personagens mais estranhos são vistos como mais semelhantes a seres humanos nesse dispositivo.

Esses resultados indicam que a tecnologia de visualização afeta significativamente a percepção dos usuários em relação à semelhança e estranheza dos personagens. Cada dispositivo de visualização influencia de maneira distinta a forma como os personagens são percebidos, com o HMD-RA mostrando uma percepção mais neutra, o HMD-RV sugerindo uma correlação negativa, e o Monitor de Computador apresentando uma correlação positiva.

C.6 CONCLUSÕES DO EXPERIMENTO

Os resultados das análises estatísticas e gráficas deste experimento evidenciam que o dispositivo de visualização tem um impacto significativo na forma como os usuários percebem os personagens em termos de semelhança e estranheza.

O HMD-RA consistentemente promove uma percepção mais positiva, com maior semelhança do personagem com humanos e menor estranheza do personagem percebida pelo usuário, refletindo uma experiência mais humanizada e confortável.

O HMD-RV, embora também eficiente em minimizar a estranheza, mostra uma

percepção ligeiramente menos intensa de semelhança do personagem com humanos. Por outro lado, o Monitor de Computador destaca-se por aumentar a estranheza dos personagens e reduzir a semelhança dos personagens com humanos, sugerindo que a menor imersão e realismo desse dispositivo influenciam negativamente a experiência do usuário.

Esses resultados apontam a importância do dispositivo de visualização na modelagem das percepções dos usuários, especialmente em contextos onde a aparência humanizada e o conforto são fundamentais. Em particular, eles podem ajudar a responder às questões de pesquisa Q1 e Q2 ao demonstrar como a percepção do Vale Estranho difere significativamente entre os tipos de *displays* (Monitores de computador, HMD de realidade virtual e HMD de realidade aumentada) e ao evidenciar que a realidade aumentada melhora a percepção de personagens humanoides, reduzindo a estranheza e aumentando a semelhança com humanos em ambientes aumentados.

D ANÁLISE DA PERCEPÇÃO DE SIMPATIA E A ESTRANHEZA DOS PERSONAGENS ESTÁTICOS

O objetivo deste experimento é comparar a percepção de simpatia e estranheza percebida pelos usuários nos personagens entre os três tipos de dispositivos utilizados: HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

Neste experimento, tem-se as seguintes configurações:

- Variáveis Independentes: Tipos de dispositivos
  - HMD-RA
  - HMD-RV
  - Monitor de Computador
- Variáveis Dependentes:
  - Simpatia dos personagens
  - Estranheza dos personagem
- Tipo de Análise: Análise de Variância (ANOVA) de um fator (*One-way* ANOVA)
- Hipótese Nula ((H_0)): Não há uma diferença significativa na percepção dos usuários em relação a simpatia e a estranheza dos personagens quando visualizados nos diferentes dispositivos de visualização avaliados (HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador).
- Hipótese Alternativa ((H_1)): Há uma diferença significativa na percepção dos usuários em relação a simpatia e a estranheza dos personagens quando visualizados nos diferentes dispositivos de visualização avaliados (HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador).

Desta forma, são extraídas as respostas dos usuários sobre a simpatia com o personagem, e o grau de estranheza identificada no personagem, segmentadas pelo tipo de dispositivo que o usuário está utilizando.

D.1 RESULTADOS DA ANOVA

Os resultados da ANOVA aplicada revelam que o fator "Dispositivo"tem um efeito significativo na percepção de simpatia em relação aos personagens, conforme indicado pela estatística F = 10,47 e um valor-p extremamente baixo ($3{,}0e^{-5}$), que é muito menor que o nível de significância usual de 0,05. Esses resultados sugerem que há uma diferença significativa entre os dispositivos utilizados no experimento em relação à simpatia percebida.

Da mesma forma, os resultados da ANOVA aplicada aos dados de Estranheza dos personagens mostram que o fator "Dispositivo"também tem um efeito significativo na percepção de estranheza, com uma estatística F = 13,26 e um valor-p ainda mais baixo ($2{,}0e^{-6}$), também bem abaixo do nível de significância usual de 0,05. Esses resultados indicam que há uma diferença significativa na percepção de estranheza entre os dispositivos utilizados no experimento.

D.2 RESULTADOS DO TESTE *POST-HOC* DE TUKEY

Os testes *post-hoc* de Tukey é realizados para identificar quais pares de dispositivos apresentam diferenças significativas e seu resultado é apresentado na Tabela D.1.

Tabela D.1 – Teste *Post-hoc* Tukey para Simpatia transmitida pelo personagem

Grupo1	**Grupo2**	**Dif. médias**	**p-ajustado**	**Inferior**	**Superior**	**Rejeita**
Monitor	HMD-RA	0.3674	0.0002	0.1531	0.5818	**Sim**
Monitor	HMD-RV	0.3566	0.0003	0.1423	0.5709	**Sim**
HMD-RA	HMD-RV	-0.0109	0.9923	-0.2252	0.2035	Não

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados indicam que o HMD-RA apresenta uma percepção significativamente maior de simpatia em comparação com o Monitor de Computador e o HMD-RV, que não apresentaram diferenças entre si. Já o teste *post-hoc* de Tukey para a estranheza do personagem pode ser visto na Tabela C.2, apresentados na Seção C.2

O Monitor de Computador resulta em uma percepção significativamente maior de estranheza em comparação com o HMD-RA e o HMD-RV. Não houve diferença significativa na percepção de estranheza entre o HMD-RA e o HMD-RV.

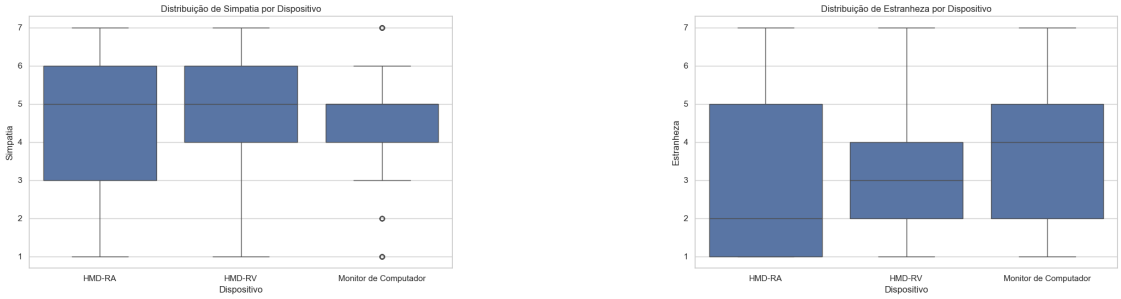
Esses resultados sugerem que o dispositivo de realidade aumentada (HMD-RA) tende a proporcionar uma percepção de simpatia mais forte e a reduzir a estranheza percebida, enquanto o monitor tradicional amplifica a estranheza e diminui a simpatia percebida.

D.3 GRÁFICOS BOXPLOTS

A Figura D.1 apresenta os Boxplots da Simpatia em relação a Estranheza, percebida pelos usuários nos personagens, em relação aos dispositivos Monitor de Computador,

HMD-RA e HMD-RV.

Figura D.1 – Distribuição da Simpatia e Estranheza dos personagens por Dispositivos



(A) (B)

Em (A), o gráfico mostra a distribuição da simpatia dos personagens; em (B), o gráfico apresenta a estranheza percebida nos personagens pelos usuários.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em (A) tem-se a distribuição das avaliações de simpatia dos personagens nos diferentes dispositivos: HMD-RA, HMD-RV e Computador RV, onde o HMD-RA mostra a mediana mais alta, sugerindo uma percepção mais forte de simpatia. A mediana próxima ao topo da caixa indica uma leve assimetria negativa, com a maioria das avaliações concentradas em níveis mais altos de simpatia. O HMD-RV também exibe uma mediana elevada, mas ligeiramente inferior à do HMD-RA, o que ainda sugere uma percepção positiva de simpatia, mas com maior variabilidade nas respostas. O Monitor de Computador, por outro lado, apresenta a menor mediana, indicando uma percepção reduzida de simpatia, com uma maior dispersão nas avaliações e presença de alguns *outliers*.

Na Figura D.1 em (B), observa-se a distribuição das avaliações de estranheza dos personagens nos mesmos dispositivos.

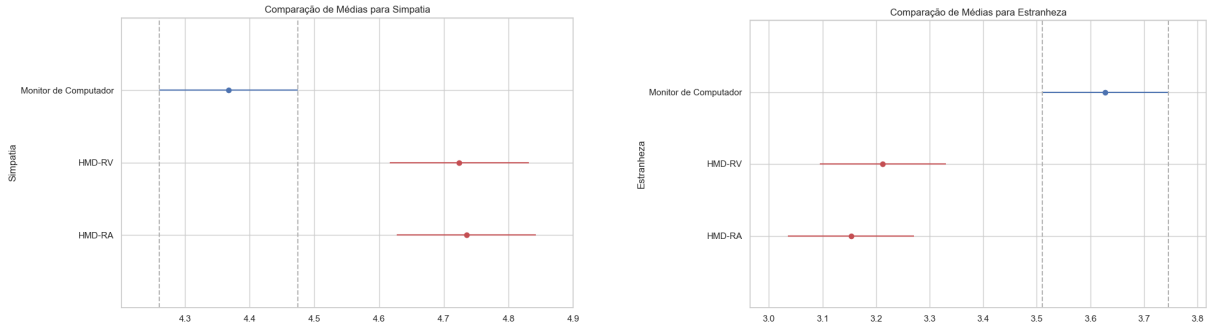
O Computador RV destaca-se com a maior mediana para estranheza, indicando uma percepção mais elevada de desconforto ao visualizar os personagens. A mediana, localizada próxima à parte inferior da caixa, sugere uma assimetria positiva, com uma maior concentração de respostas mais altas em relação à estranheza, acompanhada de maior variabilidade e presença de *outliers*. O HMD-RV mostra uma mediana de estranheza ligeiramente inferior, com distribuição mais simétrica e menor variabilidade, refletindo uma percepção moderada de estranheza. O HMD-RA exibe a mediana mais baixa, indicando que os personagens são percebidos como menos estranhos nesse dispositivo, com variabilidade moderada e poucos *outliers*, sugerindo uma maior consistência nas avaliações.

De forma geral, esses resultados reforçam que os dispositivos de visualização interferem significativamente nas percepções dos usuários quanto a simpatia e estranheza. A realidade aumentada (HMD-RA) tende a ser associada a percepções mais positivas de simpatia e menor estranheza, enquanto a visualização por monitor acentua a estranheza percebida.

D.4 GRÁFICOS DAS MÉDIAS COM INTERVALOS DE CONFIANÇA

A Figura D.2 em (A) demonstra as médias com intervalos de confiança para simpatia dos personagem, indicadas pelos usuários, nos diferentes dispositivos utilizados neste experimento.

Figura D.2 – Médias de Simpatia e Estranheza dos personagens por Dispositivos



(A) (B)

Em (A), o gráfico mostra as médias da simpatia dos personagens indicada pelos usuários; em (B), o gráfico apresenta as médias da estranheza percebida nos personagens pelos usuários.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O HMD-RA apresenta a média de simpatia mais alta entre os dispositivos, com intervalos de confiança estreitos, indicando uma percepção consistente de que os personagens são mais simpáticos. O HMD-RV, por sua vez, exibe uma média ligeiramente inferior, mas ainda elevada, com intervalos de confiança que sugerem uma boa consistência nas respostas.

Notavelmente, a sobreposição dos intervalos de confiança entre o HMD-RA e o HMD-RV indica que as diferenças na percepção de simpatia entre esses dois dispositivos podem não ser significativas, sugerindo que ambos proporcionam uma experiência de simpatia relativamente similar. Já o Monitor de Computador mostra a média mais baixa, com intervalos de confiança também estreitos, o que indica menor variabilidade

nas respostas, mas reflete uma percepção geral de simpatia bem menor em comparação aos demais dispositivos.

Em se tratando da Estranheza dos personagens, a Figura D.2 em (B) apresenta as médias com intervalos de confiança por dispositivos avaliados pelos usuários.

O Monitor de Computador apresenta a média de estranheza mais alta entre os dispositivos, com intervalos de confiança relativamente estreitos, indicando uma percepção consistente de que os personagens são mais estranhos quando visualizados neste dispositivo. Em contraste, tanto o HMD-RV quanto o HMD-RA exibem médias de estranheza mais baixas, com intervalos de confiança estreitos, sugerindo que os personagens são percebidos como menos estranhos nesses dispositivos.

A ausência de sobreposição dos intervalos de confiança entre o Monitor de Computador e os dispositivos HMD sugere que as diferenças na percepção de estranheza entre o Monitor de Computador e os HMDs são significativas, indicando que o tipo de dispositivo de visualização influencia diretamente a percepção de estranheza dos personagens. Entre os HMDs, os intervalos de confiança são similares e se sobrepõem, o que pode indicar que as diferenças de estranheza percebida entre o HMD-RV e o HMD-RA não são significativas.

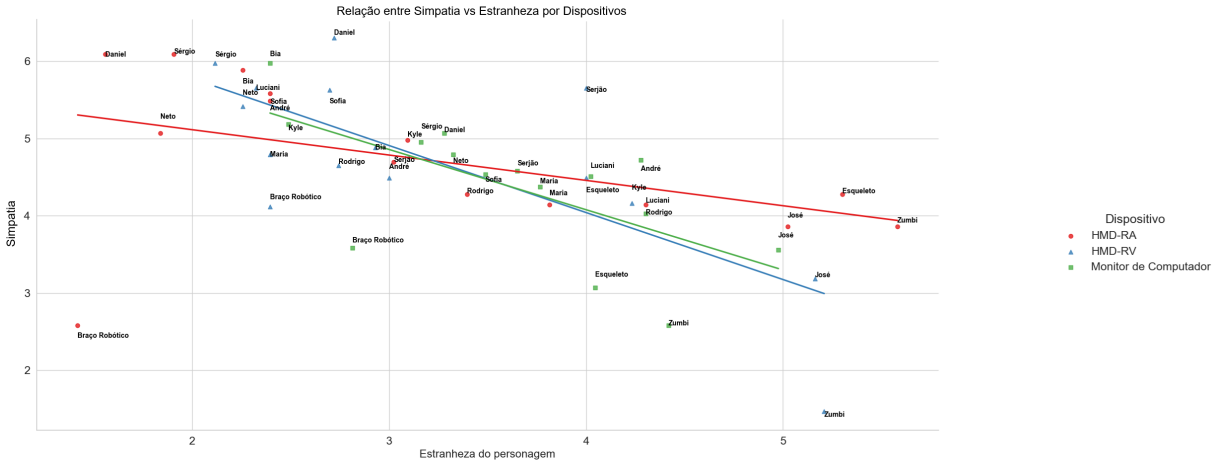
Concluindo, as análises das médias de simpatia e estranheza dos personagens em diferentes dispositivos de visualização revelam que o HMD-RA proporciona percepções mais positivas, com personagens sendo vistos como mais simpáticos e menos estranhos. O HMD-RV também apresenta uma percepção semelhante, embora ligeiramente inferior ao HMD-RA. Em contraste, o Monitor de Computador está associado a percepções menos favoráveis, com personagens sendo percebidos como menos simpáticos e mais estranhos.

D.5 GRÁFICO DE DISPERSÃO E REGRESSÃO

Na Figura D.3 são apresentados os dados de dispersão e regressão da Simpatia em relação à Estranheza percebidas nos personagens pelos usuários, em relação aos dispositivos Monitor de Computador, HMD-RA e MHD-RV.

No gráfico de dispersão e regressão, observa-se que a linha de regressão do HMD-RA apresenta uma leve inclinação negativa, indicando que, à medida que a estranheza aumenta, a simpatia tende a diminuir, embora essa relação pareça ser moderada. O HMD-RV também mostra uma inclinação negativa mais acentuada, sugerindo uma relação inversa mais forte, onde personagens percebidos como mais estranhos são vistos como menos simpáticos. No Monitor de Computador, a linha de regressão exibe uma inclina-

Figura D.3 – Dispersão e Regressão da Semelhança dos personagens com seres humanos vs Estranheza dos personagens em relação aos dispositivos



Fonte: Elaborado pelo autor.

ção negativa semelhante à do HMD-RV, reforçando a ideia de que, neste dispositivo, a estranheza está fortemente associada a uma menor simpatia.

Esses resultados indicam que a tecnologia de visualização influencia significativamente a percepção dos usuários em relação à simpatia e estranheza dos personagens. Cada dispositivo parece impactar essa relação de maneira distinta, com o HMD-RA mostrando uma correlação negativa mais moderada, enquanto o HMD-RV e o Monitor de Computador apresentam correlações negativas mais pronunciadas. Embora o Monitor de Computador e o HMD-RV apresentem percepções de simpatia semelhantes em níveis mais baixos de estranheza, a percepção diverge à medida que a estranheza aumenta.

Tudo isso sugere que dispositivos HMD-RV e monitores tradicionais podem intensificar a relação negativa entre estranheza e simpatia, afetando a forma como os personagens são percebidos pelos usuários, com o HMD-RA mostrando uma correlação negativa mais moderada em comparação aos outros dispositivos.

D.6 CONCLUSÕES DO EXPERIMENTO

Os resultados apresentados indicam que a percepção dos usuários em relação à simpatia e estranheza dos personagens é significativamente influenciada pelo dispositivo de visualização utilizado.

A ANOVA revela uma diferenças estatisticamente significativas entre os dispositivos, destacando o impacto do tipo de tecnologia na experiência do usuário. Os testes *post-hoc* de Tukey, os gráficos Boxplot e o Grafico das Médias com os Intervalos de Con-

fiança confirmaram que o HMD-RA tende a proporcionar percepções mais positivas, com maior simpatia e menor estranheza dos personagens, em comparação ao HMD-RV e ao Monitor de Computador.

Os gráficos de dispersão e regressão mostraram que, embora todos os dispositivos apresentem uma correlação negativa entre estranheza e simpatia, essa relação é mais acentuada no Monitor de Computador e no HMD-RV, sugerindo que esses dispositivos podem amplificar a percepção negativa dos personagens. O HMD-RA, por outro lado, demonstra uma correlação negativa mais moderada, indicando uma menor intensificação dessa relação.

Os resultados obtidos sobre simpatia e estranheza dos personagens atendem diretamente às questões de pesquisa Q1 e Q2. A análise indica que a percepção do Vale Estranho difere significativamente entre os tipos de *displays*, confirmando a hipótese da Q1.

Em particular, o Monitor de Computador amplifica a estranheza e reduz a simpatia, enquanto os dispositivos de realidade aumentada (HMD-RA) e realidade virtual (HMD-RV) apresentam padrões diferentes de percepção, com o HMD-RA proporcionando uma experiência mais equilibrada.

Isso indica que estes resultados também atendem à Q2, destacando os efeitos da realidade aumentada na percepção de personagens humanoides, onde o HMD-RA se mostrou eficaz em amenizar as percepções negativas associadas à estranheza, resultando em uma maior simpatia dos personagens. Dessa forma, os resultados não só confirmam as diferenças entre os dispositivos, como também evidenciam o papel positivo da RA em melhorar a experiência do usuário com personagens humanoides.

E ANÁLISE DA NATURALIDADE DOS MOVIMENTOS OCULARES DOS PERSONAGENS

Neste experimento, pretende-se avaliar se o usuário percebe diferenças na naturalidade dos movimentos oculares dos personagens entre os diferentes tipos de dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

Neste experimento, tem-se as seguintes configurações:

- Variáveis Independentes: Tipos de dispositivos
  - HMD-RA
  - HMD-RV
  - Monitor de Computador
- Variável Dependente:
  - Naturalidade dos Movimentos Oculares
- Tipo de Análise: Análise de Variância (ANOVA) de um fator (*One-way* ANOVA)
- Hipótese Nula ((H_0)): Não há diferença significativa na percepção dos usuários sobre a naturalidade dos movimentos oculares dos personagens entre os dispositivos.
- Hipótese Alternativa ((H_1)): Há uma diferença significativa na percepção dos usuários sobre a naturalidade dos movimentos oculares dos personagens entre os dispositivos.

Assim sendo, são extraídas as respostas dos usuários sobre os movimentos oculares percebidos pelos usuários nos personagens e segmentadas pelo tipo de dispositivo que o usuário está utilizando.

E.1 RESULTADOS DA ANOVA

Os resultados da ANOVA aplicada revelam que o fator "Dispositivo"tem um efeito significativo na percepção dos movimentos oculares percebidos pelos usuários nos personagens, com a estatística F = 46,70 e um valor-p extremamente baixo ($1{,}5e^{-20}$), que é muito menor que o nível de significância usual de 0,05. Esses resultados sugerem que há uma diferença significativa entre os dispositivos utilizados no experimento em relação à esta variável dependente.

E.2 RESULTADOS DO TESTE *POST-HOC* DE TUKEY

O teste *post-hoc* de Tukey é mostrado na Tabela E.1.

Tabela E.1 – Teste *Post-hoc* Tukey para Naturalidade dos movimentos oculares dos personagens

Grupo1	**Grupo2**	**Dif. médias**	**p-ajustado**	**Inferior**	**Superior**	**Rejeita**
Monitor	HMD-RA	0.9442	0.0000	0.6978	1.1906	**Sim**
Monitor	HMD-RV	0.7953	0.0000	0.5489	1.0418	**Sim**
HMD-RA	HMD-RV	-0.1488	0.3342	-0.3952	0.0976	Não

Fonte: Elaborado pelo autor.

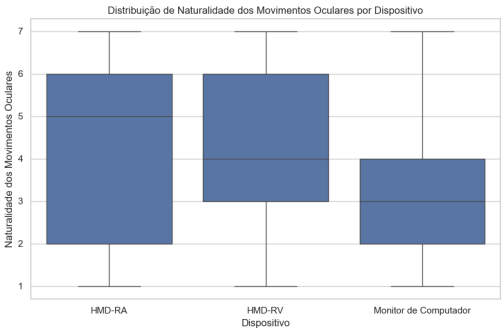
Os resultados da tabela indicam que O Monitor de Computador exibe uma percepção significativamente diferente em relação ao HMD-RA e ao HMD-RV, sugerindo que os movimentos oculares são percebidos de forma distinta nesses dispositivos. No entanto, não há diferenças significativas entre o HMD-RA e o HMD-RV, indicando que esses dois dispositivos proporcionam percepções semelhantes dos movimentos oculares dos personagens.

Esses resultados indicam que o Monitor de Computador tende a influenciar de maneira única a percepção dos movimentos oculares dos personagens, enquanto os dispositivos de realidade aumentada e virtual (HMD-RA e HMD-RV) proporcionam percepções mais homogêneas entre si.

E.3 GRÁFICO BOXPLOT

A Figura E.1 apresenta o Grafico Boxplot que mostra como os usuários perceberam os movimentos oculares dos personagens em relação aos dispositivos Monitor de Computador, HMD-RA e HMD-RV.

Figura E.1 – Movimentos Oculares dos Personagens percebidos pelos usuários nos Dispositivos



Fonte: Elaborado pelo autor.

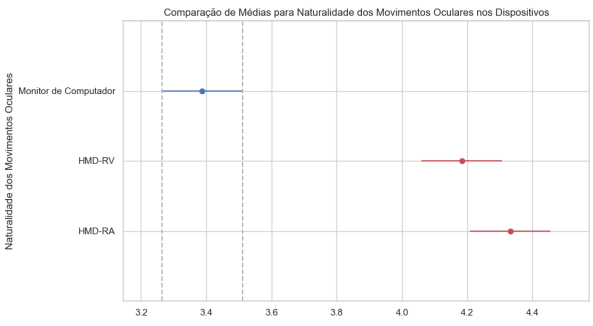
A Figura E.1 apresenta a distribuição das avaliações de naturalidade dos movimentos oculares dos personagens nos diferentes dispositivos: HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador. O HMD-RA mostra a mediana mais alta, sugerindo uma percepção mais forte de naturalidade nos movimentos oculares. A mediana, localizada próxima ao topo da caixa, indica uma leve assimetria negativa, com a maioria das avaliações concentradas em níveis mais altos de naturalidade. O HMD-RV também exibe uma mediana elevada, porém ligeiramente inferior à do HMD-RA, o que ainda sugere uma percepção positiva de naturalidade, mas com uma variabilidade um pouco maior nas respostas. Por outro lado, o Monitor de Computador apresenta a menor mediana, indicando uma percepção reduzida de naturalidade nos movimentos oculares, com uma maior dispersão nas avaliações e a presença de *outliers*, refletindo uma maior variabilidade nas percepções dos usuários.

De forma geral, esses resultados destacam que os dispositivos de visualização influenciam significativamente a percepção de naturalidade dos movimentos oculares dos personagens. A realidade aumentada (HMD-RA) e a realidade virtual (HMD-RV) tendem a ser associadas a percepções mais positivas de naturalidade, enquanto a visualização por monitor resulta em uma percepção reduzida dessa naturalidade, com maior variabilidade nas respostas dos usuários.

E.4 GRÁFICOS DAS MÉDIAS COM INTERVALOS DE CONFIANÇA

A Figura E.2 demonstra as médias com intervalos de confiança para os movimentos oculares dos personagem, percebidos pelos usuários, nos diferentes dispositivos utilizados neste experimento.

Figura E.2 – Médias com Intervalos de Confiança para os Movimentos Oculares dos Personagens percebidos pelos usuários nos Dispositivos



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura E.2 apresenta a comparação de médias para a naturalidade dos movimentos oculares dos personagens nos diferentes dispositivos: HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador. Observa-se que o HMD-RA apresenta a média mais alta entre os dispositivos, sugerindo uma percepção mais positiva de naturalidade dos movimentos oculares. O HMD-RV também exibe uma média elevada, mas ligeiramente inferior à do HMD-RA, indicando que ambos os dispositivos proporcionam percepções semelhantes de naturalidade, com intervalos de confiança que se sobrepõem, sugerindo consistência nas percepções.

Por outro lado, o Monitor de Computador apresenta a média mais baixa, com intervalos de confiança que não se sobrepõem aos dos dispositivos de realidade imersiva, sugerindo uma percepção significativamente diferente de naturalidade nos movimentos oculares, possivelmente indicando que o monitor tradicional não oferece a mesma experiência de que os HMDs.

De forma geral, esses resultados reforçam que os dispositivos de visualização afetam significativamente a percepção de naturalidade dos movimentos oculares dos personagens. A realidade aumentada (HMD-RA) e a realidade virtual (HMD-RV) tendem a ser associadas a percepções mais positivas de naturalidade, enquanto a visualização por monitor resulta em uma percepção menos favorável, evidenciando a importância dos HMDs na qualidade da experiência visual.

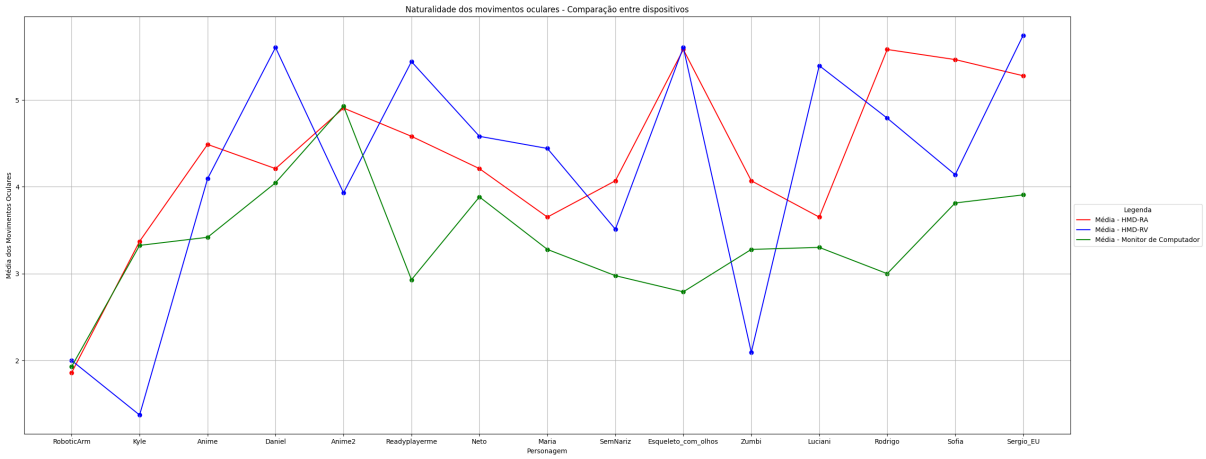
E.5 GRÁFICO DAS MÉDIAS SIMPLES DOS MOVIMENTOS OCULARES DOS PERSONAGENS POR DISPOSITIVOS

Na Figura E.3 é possível observar as médias simples das avaliações, realizadas pelos usuários, sobre os movimentos oculares dos personagens em relação aos dispositivos Monitor de Computador, HMD-RA e MHD-RV.

A Figura E.3 apresenta a comparação das médias de naturalidade dos movimentos oculares dos personagens entre os dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador. O HMD-RA exibe médias consistentemente mais altas, sugerindo uma percepção mais positiva de naturalidade. O HMD-RV mostra variabilidade maior, com médias elevadas em alguns personagens, mas inferiores ao HMD-RA em outros. O Monitor de Computador apresenta as médias mais baixas, indicando uma percepção menos favorável da naturalidade dos movimentos oculares, com menor variabilidade em comparação aos dispositivos imersivos.

Com base na análise das médias de naturalidade dos movimentos oculares entre

Figura E.3 – Médias Simples dos Movimentos Oculares dos Personagens em relação aos Dispositivos



Fonte: Elaborado pelo autor.

os dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador, pode-se concluir que os dispositivos imersivos, especialmente o HMD-RA, tendem a proporcionar uma percepção mais positiva e consistente da naturalidade dos movimentos oculares.

Em contrapartida, o Monitor de Computador, embora apresente menor variabilidade nas respostas, é associado a uma percepção menos favorável da naturalidade dos movimentos oculares. Esses resultados reforçam a ideia de que a imersão oferecida pelos HMDs desempenha um papel crucial na qualidade da experiência visual, influenciando significativamente a forma como os movimentos oculares dos personagens são percebidos pelos usuários.

E.6 CONCLUSÕES DO EXPERIMENTO

Os resultados combinados do Graficos Boxplots, Médias com Intervalos de Confiança e Médias Simples revelam que a percepção da naturalidade dos movimentos oculares é significativamente influenciada pelo tipo de dispositivo de visualização utilizado. Em todos os testes, o HMD-RA se destaca como o dispositivo que proporciona uma percepção mais positiva e consistente de naturalidade, sugerindo que a percepção proporcionada ao usuário pela realidade aumentada é particularmente eficaz para este aspecto da experiência visual.

O HMD-RV também mostra boas avaliações, embora com maior variabilidade, indicando que a realidade virtual oferece também uma experiência positiva, mas que pode variar dependendo do personagem ou contexto. Em contraste, o Monitor de Computador

apresenta as percepções menos favoráveis de naturalidade, reforçando a ideia de que os dispositivos imersivos de HMDs têm uma vantagem significativa sobre os monitores tradicionais na criação de uma experiência visual mais natural e envolvente.

Esses resultados contribuem para as três questões de pesquisa. Eles confirmam, mais uma vez, que a percepção do Vale Estranho (Q1) varia entre os tipos de *displays*, com o HMD-RA e o HMD-RV proporcionando uma percepção mais natural dos movimentos oculares em comparação ao Monitor de Computador.

Além disso, destacam os efeitos positivos da realidade aumentada (Q2), onde o HMD-RA tem se mostrado, particularmente, eficaz em aprimorar a percepção dos movimentos oculares, reduzindo as percepções negativas associadas à estranheza. Finalmente, os resultados sugerem que a naturalidade dos movimentos dos avatares (Q3), pelo menos no que diz respeito aos movimentos oculares dos personagens, é melhor percebida em dispositivos imersivos, como o HMD-RA e HMD-RV, o que pode ajudar a amenizar o impacto do Vale Estranho.

F ANÁLISE DA NATURALIDADE DOS MOVIMENTOS LABIAIS DOS PERSONAGENS

Neste experimento, são avaliadas a naturalidade dos movimentos labiais dos personagens (principalmente sua sincronia com o áudio da fala) em relação aos diferentes tipos de dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

Neste experimento, tem-se as seguintes configurações:

- Variáveis Independentes: Tipos de dispositivos
  - HMD-RA
  - HMD-RV
  - Monitor de Computador
- Variável Dependente:
  - Naturalidade dos Movimentos Labiais do personagem
- Tipo de Análise: Análise de Variância (ANOVA) de um fator (*One-way* ANOVA)
- Hipótese Nula ((H_0)): Não há diferença significativa na percepção dos usuários sobre a naturalidade dos movimentos labiais dos personagens entre os dispositivos.
- Hipótese Alternativa ((H_1)): Há uma diferença significativa na percepção dos usuários sobre a naturalidade dos movimentos labiais dos personagens entre os dispositivos.

Assim sendo, são extraídas as respostas dos usuários sobre os movimentos labiais percebidos pelos usuários nos personagens e segmentadas pelo tipo de dispositivo que o usuário está utilizando.

F.1 RESULTADOS DA ANOVA

Os resultados da ANOVA aplicada para avaliar os movimentos labiais dos personagens nos diferentes dispositivos de visualização revelam que o fator "Dispositivo"tem um efeito significativo na percepção dos movimentos labiais, conforme indicado pela estatística $F = 3.06$ e um valor-p de 0.04. Esse valor-p é ligeiramente inferior ao nível de significância usual de 0,05, sugerindo que há uma diferença significativa entre os dispositivos utilizados no experimento em relação à percepção dos movimentos labiais dos personagens e seu sincronismo com a fala.

F.2 RESULTADOS DO TESTE *POST-HOC* DE TUKEY

Os testes *post-hoc* de Tukey realizados identificam quais pares de dispositivos apresentam diferenças significativas na percepção dos movimentos labiais dos personagens, e o resultado é apresentado na Tabela F.1.

Tabela F.1 – Teste *Post-hoc* Tukey para Naturalidade dos movimentos labiais dos personagens

Grupo1	**Grupo2**	**Dif. médias**	**p-ajustado**	**Inferior**	**Superior**	**Rejeita**
Monitor	HMD-RA	0.1597	0.3040	-0.0945	0.4139	Não
Monitor	HMD-RV	0.2667	0.0372	0.0125	0.5209	**Sim**
HMD-RA	HMD-RV	0.1070	0.5852	-0.1472	0.3612	Não

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados mais importantes são:

- **Comparação entre Monitor de Computador e o HMD-RV**: Houve uma diferença significativa na percepção dos movimentos labiais entre esses dois dispositivos, com uma diferença de médias de 0.2667 e um valor-p ajustado de 0.0372 ($p < 0.05$). Isso indica que os movimentos labiais são percebidos de maneira significativamente diferente entre o Computador RV e o HMD-RV.
- **Comparações entre Monitor de Computador e HMD-RA, e entre HMD-RA e HMD-RV**: Não foram encontradas diferenças significativas entre essas comparações, com os valores-p ajustados maiores que 0,05. Isso sugere que, para esses pares de dispositivos, a percepção dos movimentos labiais não difere de maneira significativa.

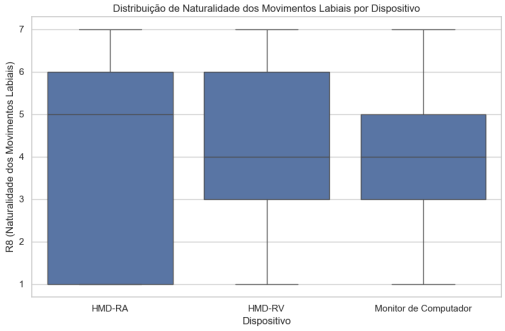
Esses resultados sugerem que, embora o HMD-RV se destaque por apresentar uma diferença significativa em relação ao Monitor de Computador, as percepções dos movimentos labiais nos outros dispositivos são relativamente consistentes entre si.

F.3 GRÁFICO BOXPLOT

A Figura F.1 apresenta o Grafico Boxplot que mostra como os usuários perceberam os movimentos labiais dos personagens em relação aos dispositivos Monitor de Computador, HMD-RA e HMD-RV.

A Figura F.1 mostra que o HMD-RA mostra a mediana mais alta, sugerindo uma

Figura F.1 – Movimentos Labiais dos Personagens percebidos pelos usuários nos Dispositivos



Fonte: Elaborado pelo autor.

percepção mais forte de naturalidade nos movimentos labiais. A mediana, localizada próxima ao topo da caixa, indica uma leve assimetria negativa, com a maioria das avaliações concentradas em níveis mais altos de naturalidade.

O HMD-RV também exibe uma mediana elevada, mas ligeiramente inferior à do HMD-RA, sugerindo uma percepção positiva de naturalidade, com uma variabilidade um pouco maior nas respostas. Por outro lado, o Monitor de Computador apresenta a menor mediana, indicando uma percepção reduzida de naturalidade nos movimentos labiais, com maior dispersão nas avaliações e presença de *outliers*, refletindo uma variabilidade mais alta nas percepções dos usuários.

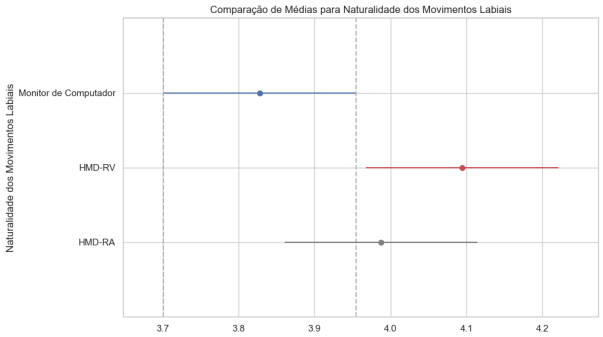
De forma geral, os resultados indicam que os dispositivos de realidade aumentada (HMD-RA) e realidade virtual (HMD-RV) promovem percepções mais positivas de naturalidade nos movimentos labiais dos personagens, enquanto a visualização em monitor resulta em uma percepção mais reduzida dessa naturalidade. Essas diferenças destacam o impacto significativo que a tecnologia de visualização exerce sobre a percepção dos usuários, sugerindo que dispositivos imersivos, como HMD-RA e HMD-RV, são mais eficazes em criar uma experiência que reflete maior naturalidade nos movimentos dos personagens.

F.4 GRÁFICOS DAS MÉDIAS COM INTERVALOS DE CONFIANÇA

A Figura F.2 exibe as médias com intervalos de confiança para os movimentos labiais dos personagem, percebidos pelos usuários, nos diferentes dispositivos utilizados neste experimento.

A Figura F.2 deixa evidente que o Monitor de Computador exibe a média mais alta, com intervalos de confiança relativamente estreitos, sugerindo uma percepção mais

Figura F.2 – Médias com Intervalos de Confiança para os Movimentos Labiais dos Personagens percebidos pelos usuários nos Dispositivos



Fonte: Elaborado pelo autor.

consistente de naturalidade nos movimentos labiais. O HMD-RV, embora com uma média ligeiramente inferior, também mostra intervalos de confiança que indicam consistência nas respostas. Por outro lado, o HMD-RA apresenta a menor média entre os dispositivos, com intervalos de confiança mais amplos, sugerindo uma maior variabilidade nas percepções dos usuários em relação à naturalidade dos movimentos labiais. A sobreposição dos intervalos de confiança entre o HMD-RV e o Monitor de Computador indica que as percepções de naturalidade nesses dois dispositivos são relativamente próximas, enquanto o HMD-RA se destaca por uma percepção mais baixa de naturalidade nos movimentos labiais.

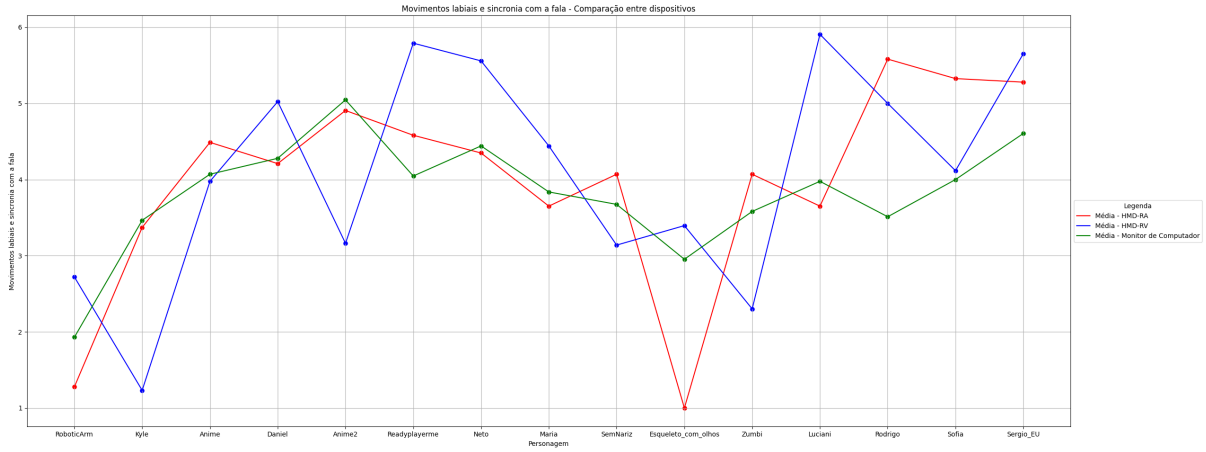
De maneira geral, os resultados sugerem que o Monitor de Computador proporciona uma percepção mais forte e consistente da naturalidade dos movimentos labiais dos personagens, enquanto o HMD-RA tende a gerar uma percepção mais baixa e variável. Esses achados destacam as diferenças nas percepções dos usuários em relação à naturalidade dos movimentos labiais dependendo do dispositivo de visualização utilizado, com o Monitor de Computador sendo o mais favorável nesse aspecto.

F.5 GRÁFICO DAS MÉDIAS SIMPLES DOS MOVIMENTOS LABIAIS DOS PERSONAGENS POR DISPOSITIVOS

Na Figura F.3 é possível observar as médias simples das avaliações, realizadas pelos usuários, sobre os movimentos labiais dos personagens em relação aos dispositivos Monitor de Computador, HMD-RA e MHD-RV.

No gráfico de médias (Figura F.3), observa-se a comparação entre os dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador em relação à naturalidade dos movimentos labiais dos personagens, avaliados pelos usuários.

Figura F.3 – Médias Simples dos Movimentos Labiais dos Personagens em relação aos Dispositivos



Fonte: Elaborado pelo autor.

De maneira geral, as linhas de tendência indicam variações consideráveis entre os personagens e dispositivos. O HMD-RA tende a manter uma percepção mais consistente e elevada de naturalidade, embora apresente alguns picos e vales significativos, especialmente em comparação com os outros dispositivos. O HMD-RV, apesar de exibir alguns picos mais elevados, demonstra maior variabilidade e inconsistência nas percepções dos usuários.

O Monitor de Computador, por sua vez, exibe uma linha de tendência mais estável, porém com uma média geral inferior em comparação com o HMD-RA. Esses resultados reforçam as diferenças na percepção dos usuários em relação à naturalidade dos movimentos labiais, destacando a superioridade percebida do HMD-RA para esse aspecto, apesar de algumas flutuações notáveis em relação a certos personagens.

F.6 CONCLUSÕES DO EXPERIMENTO

Os resultados contrastantes entre o Boxplot e as médias com intervalos de confiança destacam a complexidade na percepção da naturalidade dos movimentos labiais nos diferentes dispositivos. Enquanto o HMD-RA apresenta a maior mediana no Boxplot, sugerindo percepções mais naturais para alguns usuários, o gráfico de médias com intervalos de confiança revela que o Monitor de Computador possui a maior média, indicando uma percepção mais uniforme e consistente. Isso significa que, embora o HMD-RA ofereça percepções elevadas de naturalidade, há maior variabilidade nas respostas, enquanto o Monitor de Computador proporciona uma avaliação mais estável e favorável em termos

de naturalidade.

Os resultados deste experimento também fornecem *insights* importantes sobre a percepção da naturalidade dos movimentos labiais dos personagens nos diferentes dispositivos de visualização analisados. Observa-se que o HMD-RA consistentemente se destaca como o dispositivo que oferece a melhor percepção de naturalidade, especialmente em comparação com o Monitor de Computador, que tende a proporcionar uma percepção menos positiva.

Embora o HMD-RV também demonstre uma percepção relativamente alta, sua variabilidade sugere uma experiência menos consistente. Esses resultados respondem diretamente às questões de pesquisa Q1 e Q2, evidenciando que a percepção do Vale Estranho varia significativamente entre os diferentes dispositivos, com a realidade aumentada (HMD-RA) promovendo uma experiência mais natural e agradável para os usuários.

Além disso, os resultados também tangenciam a Q3, sugerindo que, embora o movimento labial seja um fator relevante, a percepção de naturalidade é fortemente mediada pelo tipo de dispositivo, influenciando a experiência do usuário de maneira distinta em cada contexto tecnológico.

G ANÁLISE DA NATURALIDADE DOS MOVIMENTOS CORPORAIS DOS PERSONAGENS

Neste experimento, são avaliadas a naturalidade dos movimentos corporais dos personagens (principalmente andar, se aproximar e tentar tocar o usuário) em relação aos diferentes tipos de dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

Neste experimento, tem-se as seguintes configurações:

- Variáveis Independentes: Tipos de dispositivos
  - HMD-RA
  - HMD-RV
  - Monitor de Computador
- Variável Dependente:
  - Naturalidade dos Movimentos Corporais do personagem
- Tipo de Análise: Análise de Variância (ANOVA) de um fator (*One-way* ANOVA)
- Hipótese Nula ((H_0)): Não há diferença significativa na percepção dos usuários sobre a naturalidade dos movimentos corporais dos personagens entre os dispositivos.
- Hipótese Alternativa ((H_1)): Há uma diferença significativa na percepção dos usuários sobre a naturalidade dos movimentos corporais dos personagens entre os dispositivos.

Assim sendo, são extraídas as respostas dos usuários sobre os movimentos corporais percebidos pelos usuários nos personagens e dividias pelo tipo de dispositivo que o usuário está utilizando.

G.1 RESULTADOS DA ANOVA

Os resultados da ANOVA aplicada revelam que o fator "Dispositivo"tem um efeito significativo na percepção da naturalidade dos movimentos corporais dos personagens, conforme indicado pela estatística $F = 29{,}15$ e um valor-p extremamente baixo ($3{,}34e^{-13}$), que é muito menor que o nível de significância usual de 0,05. Esses resultados sugerem que há uma diferença significativa na percepção da naturalidade dos movimentos corporais entre os dispositivos utilizados no experimento. Essa diferença justifica a realização de testes *post-hoc* para identificar quais pares de dispositivos apresentam diferenças significativas.

G.2 RESULTADOS DO TESTE *POST-HOC* DE TUKEY

Os testes *post-hoc* de Tukey realizados tentam identificar quais pares de dispositivos apresentaram diferenças significativas na percepção da naturalidade dos movimentos corporais. Os resultados são apresentados na Tabela G.1.

Tabela G.1 – Teste *Post-hoc* Tukey para Naturalidade dos Movimentos Corporais dos Personagens

Grupo1	**Grupo2**	**Dif. médias**	**p-ajustado**	**Inferior**	**Superior**	**Rejeita**
Monitor	HM-RA	0.6326	0.0000	0.4223	0.8428	**Sim**
Monitor	HMD-RV	0.5426	0.0000	0.3324	0.7529	**Sim**
HMD-RA	HMD-RV	-0.0899	0.5749	-0.3001	0.1203	Não

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados mais significantes indicam que o Monitor de Computador apresentou uma percepção significativamente menor de naturalidade dos movimentos corporais em comparação com o HMD-RA (p<0,001) e o HMD-RV (p<0,001), que não apresentaram diferenças significativas entre si. Esses resultados sugerem que os dispositivos de realidade aumentada (HMD-RA) e realidade virtual (HMD-RV) proporcionam uma percepção mais positiva da naturalidade dos movimentos corporais dos personagens em comparação com o monitor tradicional.

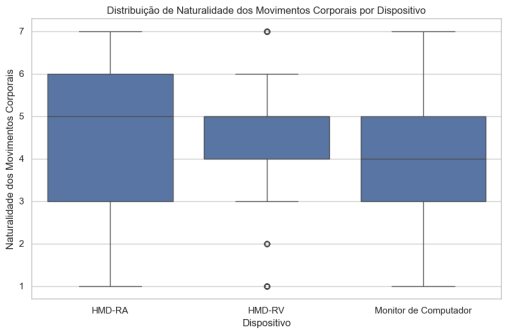
G.3 GRÁFICO BOXPLOT

A Figura G.1 exibe o Grafico Boxplot que mostra como os usuários percebem os movimentos corporais dos personagens em relação aos dispositivos Monitor de Computador, HMD-RA e HMD-RV.

A Figura G.1 apresenta a distribuição das avaliações de naturalidade dos movimentos corporais dos personagens nos diferentes dispositivos: HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador. O HMD-RA exibe a mediana mais alta, sugerindo uma percepção mais forte de naturalidade nos movimentos corporais. A mediana, localizada próxima ao topo da caixa, indica uma leve assimetria negativa, com a maioria das avaliações concentradas em níveis mais altos de naturalidade.

O HMD-RV, embora apresente uma mediana mais baixa que a do HMD-RA, ainda sugere uma percepção relativamente positiva da naturalidade dos movimentos, com

Figura G.1 – Movimentos Corporais dos Personagens percebidos pelos usuários nos Dispositivos



Fonte: Elaborado pelo autor.

menor variabilidade nas respostas. Por outro lado, o Monitor de Computador apresenta a menor mediana, indicando uma percepção reduzida de naturalidade nos movimentos corporais, com uma maior dispersão nas avaliações e presença de *outliers*, refletindo uma maior variabilidade nas percepções dos usuários.

De forma geral, esses resultados sugerem que os dispositivos de realidade aumentada (HMD-RA) e realidade virtual (HMD-RV) tendem a proporcionar uma percepção mais positiva da naturalidade dos movimentos corporais dos personagens em comparação ao monitor tradicional.

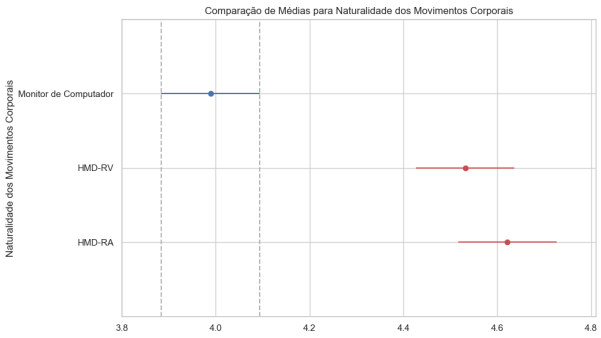
G.4 GRÁFICOS DAS MÉDIAS COM INTERVALOS DE CONFIANÇA

A Figura G.2 apresenta as médias com intervalos de confiança para os movimentos corporais dos personagem, percebidos pelos usuários, nos diferentes dispositivos utilizados neste experimento.

O HMD-RA apresenta as médias mais elevadas, indicando uma percepção mais positiva da naturalidade dos movimentos corporais. Seus intervalos de confiança estreitos sugerem consistência nas avaliações. O HMD-RV também exibe médias relativamente altas, mas ligeiramente inferiores às do HMD-RA, e seus intervalos de confiança, embora próximos aos do HMD-RA, mostram que há certa variabilidade nas respostas. O Monitor de Computador, por sua vez, mostra a média mais baixa, com intervalos de confiança que indicam uma maior dispersão nas avaliações, sugerindo uma percepção menos favorável da naturalidade dos movimentos corporais.

Os resultados sugerem que, de maneira geral, tanto o HMD-RA quanto o HMD-RV são percebidos de forma mais positiva em relação à naturalidade dos movimentos cor-

Figura G.2 – Médias com Intervalos de Confiança para os Movimentos Corporais dos Personagens percebidos pelos usuários nos Dispositivos



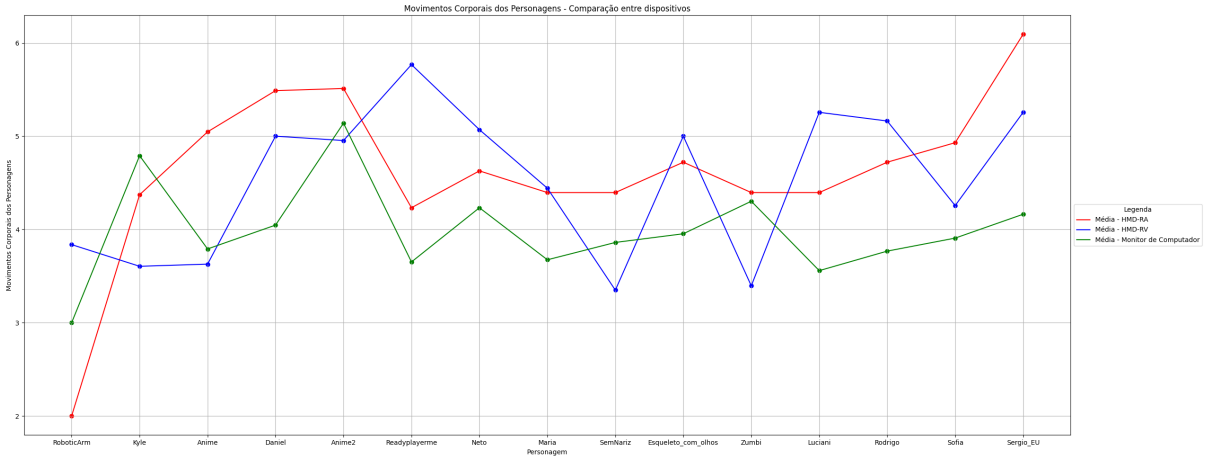
Fonte: Elaborado pelo autor.

porais dos personagens, em comparação ao Monitor de Computador, que tende a acentuar as percepções menos favoráveis.

G.5 GRÁFICO DAS MÉDIAS SIMPLES DOS MOVIMENTOS CORPORAIS DOS PERSONAGENS POR DISPOSITIVOS

A Figura G.3 exibe as médias simples das avaliações, realizadas pelos usuários, sobre os movimentos labiais dos personagens em relação aos dispositivos Monitor de Computador, HMD-RA e MHD-RV.

Figura G.3 – Médias Simples dos Movimentos Labiais dos Personagens em relação aos Dispositivos



Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que o HMD-RA frequentemente exibe as maiores médias ao longo

dos personagens avaliados, indicando uma percepção mais positiva de naturalidade nos movimentos corporais. O HMD-RV, por outro lado, apresenta uma oscilação nas médias, ora superando o HMD-RA, ora ficando abaixo, refletindo uma variabilidade maior nas percepções dos usuários. O Monitor de Computador geralmente demonstra as menores médias, sugerindo uma percepção menos favorável dos movimentos corporais em comparação aos HMDs.

Esses resultados reforçam a tendência observada nos gráficos anteriores, indicando que os dispositivos de realidade aumentada (HMD-RA) e realidade virtual (HMD-RV) proporcionam uma experiência mais imersiva e positiva na percepção da naturalidade dos movimentos corporais dos personagens, enquanto o monitor de computador tende a reduzir essa percepção, resultando em uma experiência menos favorável.

G.6 CONCLUSÕES DO EXPERIMENTO

Em conclusão, os resultados obtidos evidenciam que os dispositivos de visualização têm um impacto significativo na percepção da naturalidade dos movimentos corporais dos personagens. A realidade aumentada (HMD-RA) consistentemente apresenta as melhores avaliações, com médias mais altas e menor variabilidade nas respostas, sugerindo uma experiência mais favorável e imersiva.

A realidade virtual (HMD-RV) também proporcionou avaliações positivas, embora com maior variabilidade, refletindo uma percepção que oscila entre favorável e neutra. Por outro lado, o monitor de computador, de maneira geral, resultou em avaliações menos positivas, com médias mais baixas e maior dispersão nas respostas, indicando que essa tecnologia pode não oferecer a mesma qualidade e naturalidade na percepção dos movimentos corporais.

Esses resultados corroboram as questões de pesquisa Q1 e Q2. Eles confirmam que a percepção do Vale Estranho é modulada pelo tipo de dispositivo de visualização, com HMDs oferecendo uma experiência superior em termos de naturalidade dos movimentos corporais.

Além disso, reforçam o papel da realidade aumentada em melhorar a experiência do usuário com personagens humanoides, destacando a importância desse tipo de tecnologia na criação de interações mais naturais e convincentes em ambientes virtuais. A análise também suporta a Q3, indicando que o movimento dos avatares desempenha um papel crucial na percepção dos usuários, especialmente quando mediado por diferentes tecnologias de visualização.

H ANÁLISE DA NATURALIDADE DOS PERSONAGENS COM TODOS OS MOVIMENTOS COMBINADOS

Neste experimento, são avaliadas a naturalidade dos personagens com todos os movimentos (oculares, labiais e corporais) em relação aos diferentes tipos de dispositivos HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

Neste experimento, tem-se as seguintes configurações:

- Variáveis Independentes: Tipos de dispositivos
  - HMD-RA
  - HMD-RV
  - Monitor de Computador
- Variável Dependente:
  - Naturalidade personagem com todos os movimentos
- Tipo de Análise: Análise de Variância (ANOVA) de um fator (*One-way* ANOVA)
- Hipótese Nula ((H_0)): Não há diferença significativa na percepção da naturalidade do personagem com todos os movimentos (oculares, labiais e corporais) entre os dispositivos.
- Hipótese Alternativa ((H_1)): Há uma diferença significativa na percepção da naturalidade do personagem com todos os movimentos (oculares, labiais e corporais) entre os dispositivos.

Assim sendo, são extraídas as respostas dos usuários sobre o personagem com o conjunto de todos os movimentos e agrupados pelo tipo de dispositivo que o usuário está utilizando.

H.1 RESULTADOS DA ANOVA

Os resultados da ANOVA com os dados extraídos das respostas dos usuários sobre a naturalidade dos personagens com todos os movimentos indicam que o fator "Dispositivo"tem um efeito significativo na percepção da naturalidade dos personagens com todos os movimentos combinados. A estatística $F = 9.35$, acompanhada de um valor-p extremamente baixo (0.000091), que é bem menor que o nível de significância usual de 0,05, sugere que há uma diferença significativa entre os dispositivos utilizados no experimento em relação à naturalidade percebida dos movimentos combinados dos personagens.

Esses resultados indicam que os dispositivos de visualização têm um impacto relevante na percepção da naturalidade dos movimentos dos personagens, sendo importante investigar mais a fundo quais dispositivos proporcionam essa diferença na percepção.

H.2 RESULTADOS DO TESTE *POST-HOC* DE TUKEY

O teste *post-hoc* de Tukey, realizado para identificar quais pares de dispositivos apresentam diferenças significativas na percepção da naturalidade dos personagens com todos os movimentos combinados, leva ao resultado apresentado na Tabela H.1.

Tabela H.1 – Teste *Post-hoc* Tukey para Naturalidade dos Personagens com Todos os Movimentos Combinados

Grupo1	**Grupo2**	**Dif. médias**	**p-ajustado**	**Inferior**	**Superior**	**Rejeita**
Monitor	HMD-RA	0.2326	0.0114	0.0428	0.4223	**Sim**
Monitor	HMD-RV	0.3426	0.0001	0.1528	0.5324	**Sim**
HMD-RA	HMD-RV	0.1101	0.3621	-0.0797	0.2999	Não

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao observar a Tabela H.1, percebe-se uma diferença significativa entre o Monitor de Computador com o HMD-RA proporcionando uma percepção de naturalidade relativamente maior. Da mesma forma, a comparação entre Monitor de Computador e HMD-RV também indica uma diferença significativa, com o HMD-RV sendo percebido como mais natural. Mas ao comparar os dois dispositivos HMDs, não houve diferença significativa entre HMD-RA e HMD-RV em termos de percepção de naturalidade.

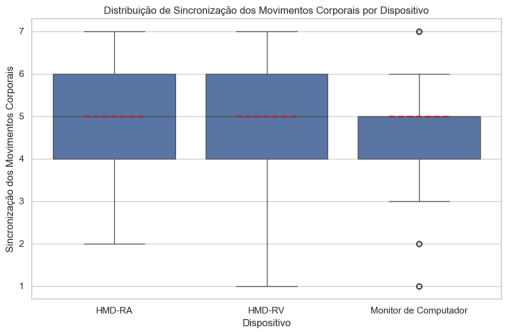
Esses resultados sugerem que tanto o HMD-RA quanto o HMD-RV proporcionam uma percepção mais forte de naturalidade nos movimentos combinados dos personagens em comparação com o Monitor de Computador. No entanto, não há uma diferença perceptível entre estes HMDs.

H.3 GRÁFICO BOXPLOT

A Figura H.1 exibe o Grafico Boxplot que apresenta os dados relativos à observação dos personagens, quanto a naturalidade de todos os movimentos, em relação aos dispositivos Monitor de Computador, HMD-RA e HMD-RV.

A Figura H.1 indica que o HMD-RA possui uma mediana mais alta em compa-

Figura H.1 – Naturalidade dos personagens com todos os movumentos nos Dispositivos



Fonte: Elaborado pelo autor.

ração aos outros dispositivos, sugerindo uma percepção mais positiva de sincronização dos movimentos corporais com a fala. A mediana está centralizada na caixa, indicando uma distribuição relativamente simétrica das respostas. O HMD-RV também exibe uma mediana alta, semelhante à do HMD-RA, indicando uma percepção consistente, porém com uma variabilidade um pouco maior. Por outro lado, o Monitor de Computador apresenta a menor mediana, indicando uma percepção reduzida, com uma maior dispersão nas avaliações e a presença de *outliers*.

Esses resultados indicam que os dispositivos de visualização influenciam significativamente a percepção dos personagens com todos os movimentos corporais. O HMD-RA e o HMD-RV tendem a ser associados a uma percepção mais positiva, enquanto a visualização por monitor resulta em uma percepção reduzida, com maior variabilidade nas respostas dos usuários.

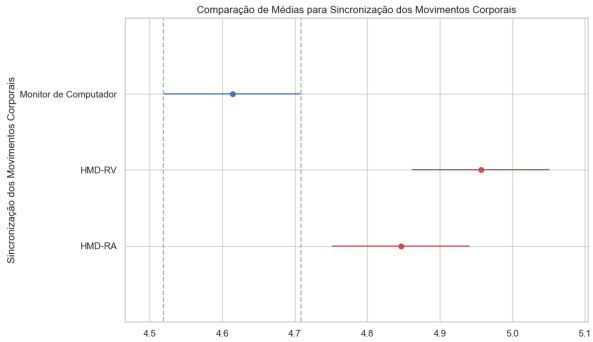
H.4 GRÁFICOS DAS MÉDIAS COM INTERVALOS DE CONFIANÇA

A Figura H.2 apresenta as médias com intervalos de confiança para as avaliações dos personagens com todos os movimentos nos diferentes dispositivos utilizados neste experimento.

O HMD-RA apresenta as médias mais elevadas, indicando uma percepção mais positiva da naturalidade dos movimentos dos personagens quando todos os movimentos (oculares, labiais e corporais) são considerados. Seus intervalos de confiança estreitos sugerem consistência nas avaliações dos usuários, indicando que a percepção da naturalidade dos movimentos foi uniformemente positiva ao utilizar este dispositivo.

O HMD-RV também exibe médias relativamente altas, mas ligeiramente inferiores às do HMD-RA, com intervalos de confiança próximos, revelando uma percepção positiva,

Figura H.2 – Médias com Intervalos de Confiança dos Personagens com todos os movimentos, indicados pelos usuários nos diferentes Dispositivos



Fonte: Elaborado pelo autor.

mas com alguma variabilidade nas respostas.

O Monitor de Computador mostra a média mais baixa entre os dispositivos, com intervalos de confiança mais amplos, sugerindo maior dispersão nas avaliações e uma percepção menos favorável da naturalidade dos movimentos dos personagens.

Esses resultados sugerem que, de maneira geral, tanto o HMD-RA quanto o HMD-RV proporcionam uma percepção mais positiva da naturalidade dos movimentos dos personagens, quando comparados ao Monitor de Computador, que tende a destacar percepções menos favoráveis em relação à naturalidade desses movimentos.

H.5 GRÁFICO DAS MÉDIAS SIMPLES DA AVALIAÇÃO DOS PERSONAGENS COM TODOS OS MOVIMENTOS POR DISPOSITIVOS

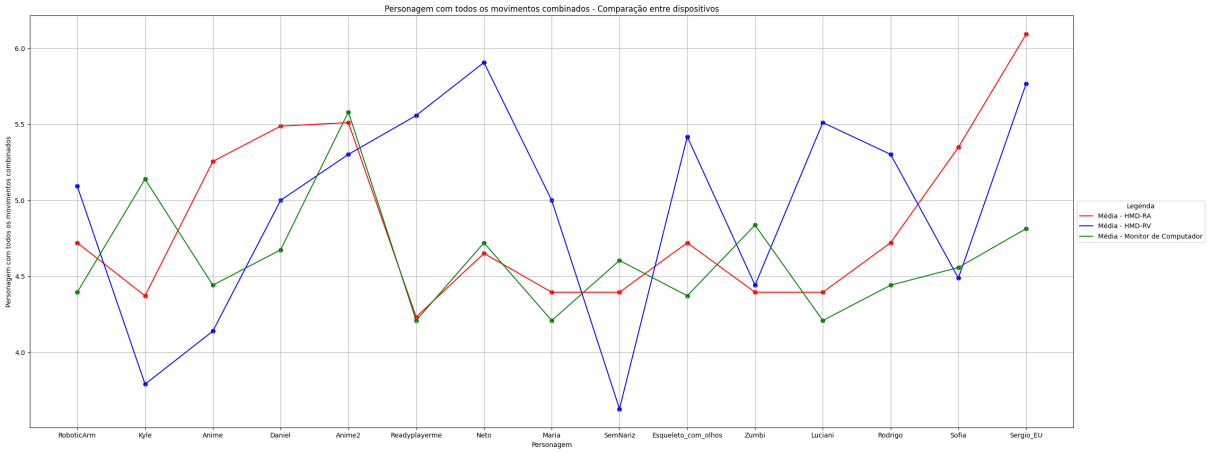
A Figura H.3 exibe as médias simples das avaliações, realizadas pelos usuários, sobre a naturalidade dos movimentos dos personagens em relação aos dispositivos Monitor de Computador, HMD-RA e MHD-RV, quando considerados todos os movimentos.

Na Figura H.3, observa-se uma variabilidade considerável nas percepções dos usuários. O HMD-RA, de forma geral, apresenta médias mais elevadas, sugerindo que os personagens exibidos nesse dispositivo são percebidos de maneira mais positiva em relação à naturalidade dos movimentos.

A linha correspondente ao HMD-RV, embora em alguns casos supere a do HMD-RA, tende a oscilar mais, indicando uma percepção menos consistente. Já o Monitor de Computador, em geral, exibe as médias mais baixas, refletindo uma percepção menos favorável da naturalidade dos movimentos combinados dos personagens.

Essas diferenças ressaltam como os diferentes dispositivos de visualização podem

Figura H.3 – Médias Simples da naturalidade dos movimentos dos personagens com todos os movimentos em relação aos Dispositivos



Fonte: Elaborado pelo autor.

influenciar as percepções dos usuários sobre a naturalidade dos movimentos dos personagens.

Esses resultados reforçam ainda mais a tendência observada nos gráficos anteriores, indicando que os dispositivos de realidade aumentada (HMD-RA) e realidade virtual (HMD-RV) proporcionam uma experiência mais imersiva e positiva na percepção da naturalidade dos movimentos corporais dos personagens, enquanto o monitor de computador tende a reduzir essa percepção, resultando em uma experiência menos favorável.

H.6 CONCLUSÕES DO EXPERIMENTO

Os resultados obtidos a partir das análises dos dados neste experimento, referentes à naturalidade dos personagens com todos os movimentos combinados, destacam a influência significativa dos dispositivos de visualização nas percepções dos usuários.

O HMD-RA consistentemente proporcionou as percepções mais positivas, sugerindo que a realidade aumentada tem um papel crucial na melhoria da experiência do usuário em termos de naturalidade dos movimentos dos personagens. Por outro lado, o HMD-RV apresentou uma variabilidade maior nas respostas, enquanto o Monitor de Computador tendeu a acentuar percepções menos favoráveis.

Esses resultados corroboram diretamente a Questão de Pesquisa Q1, ao demonstrar como a percepção do Vale Estranho difere entre os tipos de *displays* (Monitores, HMD de realidade virtual e HMD de realidade aumentada).

Além disso, a superioridade percebida da RA (HMD-RA) em relação aos outros

dispositivos também contribui para a Questão de Pesquisa Q2, destacando os efeitos da realidade aumentada na percepção de personagens humanoides em ambientes aumentados.

Por fim, a Questão de Pesquisa Q3 é abordada ao evidenciar como o movimento dos personagens, quando combinado e avaliado em diferentes tecnologias de visualização, pode influenciar a percepção geral dos usuários, influenciando sua experiência de maneira significativa.

I ANÁLISE DA ESTRANHEZA DOS PERSONAGENS ESTÁTICOS E COM MOVIMENTOS

O objetivo deste experimento comparar a percepção do Vale Estranho em relação a estranheza percebida nos personagens estáticos com a estranheza percebida nos personagens com todos os movimentos nos entre os três tipos de dispositivos utilizados, HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

Neste experimento, tem-se as seguintes configurações:

- Variáveis Independentes: Tipos de dispositivos
  - HMD-RA
  - HMD-RV
  - Monitor de Computador
- Variáveis Dependentes:
  - Estranheza identificada no personagem estático
  - Estranheza identificada no personagem com todos os movimentos
- Tipo de Análise: Análise de Variância (ANOVA) de um fator (*One-way* ANOVA)
- Hipótese Nula ((H_0)): Não há uma diferença significativa na percepção de estranheza dos personagens quando estão estáticos ou com todos os movimentos adicionados e visualizados nos diferentes dispositivos (Monitor de Computador, HMD-RA, HMD-RV).
- Hipótese Alternativa ((H_1)): Há uma diferença significativa na percepção de estranheza dos personagens quando estão estáticos ou com todos os movimentos adicionados e visualizados nos diferentes dispositivos (Monitor de Computador, HMD-RA, HMD-RV).

Desta forma, são extraídas as respostas dos usuários sobre a estranheza percebida pelos usuários nos personagens parados e a estranheza percebida nos personagens com todos os movimentos (oculares, labiais e corporais) e segmentados pelo tipo de dispositivo que o usuário está utilizando.

I.1 RESULTADOS DA ANOVA

Os resultados da ANOVA aplicada aos dados da Estranheza dos personagens estáticos revela que o fator "Dispositivo"tem um efeito significativo na percepção de estranheza, com estatística F = 13,26 e um valor-p muito baixo ($2{,}0e^{-6}$), bem abaixo do nível

de significância usual de 0,05. Esses resultados também indicam que há uma diferença significativa na percepção de estranheza entre os dispositivos utilizados no experimento.

Da mesma forma, a ANOVA para a estranheza percebida nos personagens com todos os movimentos indica que o fator "Dispositivo"também exerce um efeito significativo. A estatística F = 18.33 e o valor-p extremamente baixo ($1.2e^{-8}$) reforçam que há diferenças significativas na percepção de estranheza entre os dispositivos quando os personagens estão em movimento.

Esses resultados indicam que a percepção de estranheza é influenciada de maneira significativa pelo tipo de dispositivo utilizado, tanto para personagens estáticos quanto para personagens em movimento.

I.2 RESULTADOS DO TESTE *POST-HOC* DE TUKEY

Os testes *post-hoc* de Tukey são realizados para identificar quais pares de dispositivos apresentaram diferenças significativas. Os resultados podem ser vistos na Tabela I.1 e na Tabela I.2.

Tabela I.1 – Teste *Post-hoc* Tukey para Estranheza do Personagem estático

Grupo1	**Grupo2**	**Dif. médias**	**p-ajustado**	**Inferior**	**Superior**	**Rejeita**
Monitor	HMD-RA	-0.4744	0.0000	-0.7099	-0.2389	**Sim**
Monitor	HMD-RV	-0.4155	0.0001	-0.6510	-0.1800	**Sim**
HMD-RA	HMD-RV	0.0589	0.8273	-0.1766	0.2944	Não

Fonte: Elaborado pelo autor.

A percepção de estranheza com os personagens estáticos foi significativamente maior no Monitor de Computador em comparação com o HMD-RA e com o HMD-RV ($p < 0.001$). Isso indica que personagens estáticos são percebidos como mais estranhos quando visualizados em um Monitor de Computador em relação aos HMDs.

Entre os dispositivos HMDs não houve diferença significativa na percepção de estranheza com os personagens estáticos ($p = 0.8273$), sugerindo que ambos os dispositivos têm um efeito similar na percepção de estranheza em personagens estáticos.

Quanto a estranheza dos personagens com todos os movimentos, o teste *post-hoc* de Tukey gera os dados da Tabela I.2.

Tabela I.2 – Teste *Post-hoc* Tukey para Estranheza do Personagem com todos os movimentos

Grupo1	**Grupo2**	**Dif. médias**	**p-ajustado**	**Inferior**	**Superior**	**Rejeita**
Monitor	HMD-RA	-0.3333	0.0001	-0.5225	-0.1441	**Sim**
Monitor	HMD-RV	0.1426	0.1806	-0.0466	0.3318	Não
HMD-RA	HMD-RV	0.4760	0.0000	0.2868	0.6652	**Sim**

Fonte: Elaborado pelo autor.

No Monitor de Computador em comparação com o HMD-RA, a percepção de estranheza nos personagens com todos os movimentos foi significativamente maior no monitor ($p = 0.0001$). Este resultado sugere que a percepção de estranheza é amplificada quando personagens em movimento são visualizados em um Monitor.

Ao comparar o Monitor de Computador com o HMD-RV, não houve diferença significativa na percepção de estranheza dos personagens com todos os movimentos ($p = 0.1806$). Na comparação de HMD-RA com HMD-RV percebe-se uma diferença significativa entre o HMD-RA e o HMD-RV ($p < 0.001$), com o HMD-RA resultando em uma menor percepção de estranheza nos personagens com todos os movimentos, comparado ao HMD-RV.

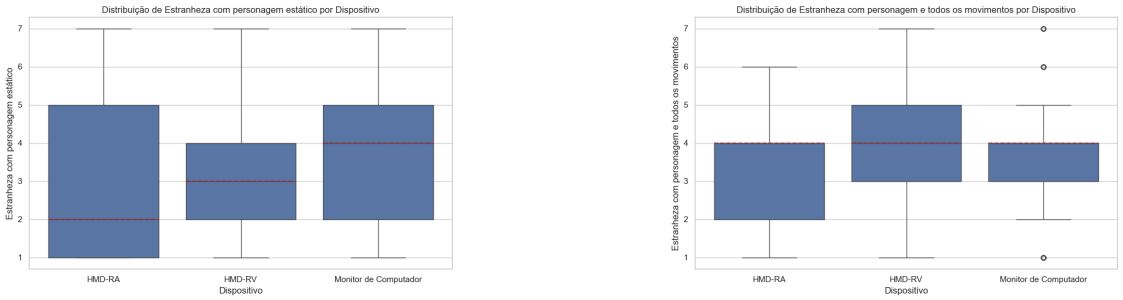
Os resultados indicam que o tipo de dispositivo utilizado afeta significativamente a percepção de estranheza tanto em personagens estáticos quanto em personagens com todos os movimentos. O Monitor de Computador consistentemente resulta em uma maior percepção de estranheza em ambos os cenários. O HMD-RA minimiza a percepção de estranheza, especialmente em personagens com todos os movimentos, destacando seu potencial para atenuar os efeitos do Vale Estranho.

I.3 GRÁFICOS BOXPLOTS

A Figura I.1 apresenta os Boxplots da Estranheza percebida pelos usuários nos personagens estáticos e com todos os movimentos, em relação aos dispositivos Monitor de Computador, HMD-RA e HMD-RV.

Na Figura I.1 em (A), o gráfico indica que o HMD-RA apresenta a maior variação na percepção de estranheza, com a caixa variando de 1 a 5, e bigodes que se estendem até 7. A mediana para o HMD-RA está posicionada em 2, indicando que a maioria das percepções de estranheza se concentram em valores mais baixos. O HMD-RV, por sua vez, apresenta uma caixa com variação de 2 a 4, uma mediana em 3, e bigodes que também se

Figura I.1 – Distribuição da Estranheza dos personagens estáticos e com todos os movimentos por Dispositivos



(A) (B)

Em (A), o gráfico apresenta a estranheza percebida nos personagens estáticos pelos usuários e em (B), a estranheza percebida pelos usuários nos personagens com todos os movimentos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

estendem de 1 a 7, sugerindo uma percepção moderada de estranheza. Já o Monitor de Computador exibe uma caixa que varia de 2 a 5, com bigodes de 1 a 7, e uma mediana em 4, indicando uma percepção de estranheza mais alta em comparação com os outros dispositivos.

Esses resultados sugerem que, em geral, o Monitor de Computador tende a amplificar a percepção de estranheza em personagens estáticos, enquanto o HMD-RA, apesar de mostrar uma grande variação, tem a maioria das avaliações concentradas em níveis mais baixos de estranheza.

Na Figura I.1 em (B), tem-se que o HMD-RA apresenta uma caixa que varia de 2 a 4, com uma mediana em 4, e bigodes que se estendem de 1 a 6. Isso indica uma percepção de estranheza moderada, com a maioria das avaliações concentradas em níveis medianos. O HMD-RV, por outro lado, exibe uma caixa que varia de 3 a 5, com mediana também em 4, e bigodes de 1 a 7, sugerindo uma percepção de estranheza um pouco mais alta, mas com maior variabilidade nas respostas. O Monitor de Computador, por sua vez, mostra uma caixa mais estreita, variando de 3 a 4, com mediana em 4, e bigodes de 2 a 5, além de apresentar *outliers* em 1, 6 e 7. Isso sugere que, embora a maioria das avaliações de estranheza se concentrem em valores medianos, há uma maior dispersão nas percepções quando se trata do Monitor de Computador.

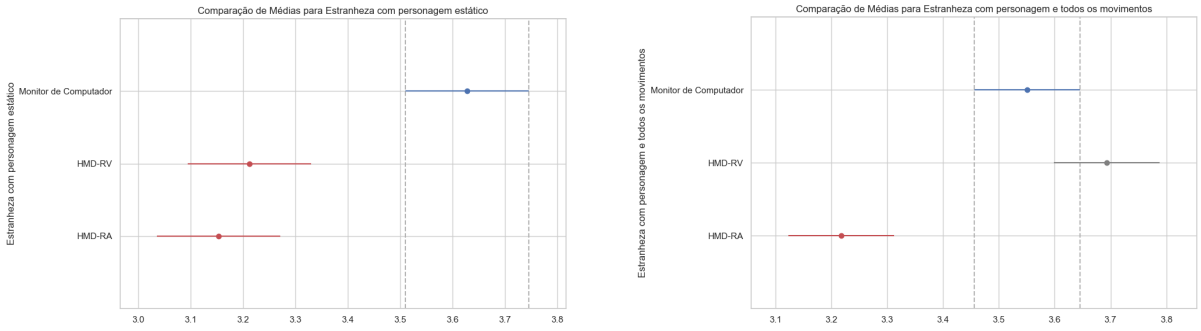
Esses resultados sugerem que a percepção de estranheza nos personagens com todos os movimentos é relativamente consistente entre os dispositivos, mas com algumas variações na dispersão das respostas, especialmente para o Monitor de Computador, que mostra *outliers* significativos.

Para concluir, a comparação dos gráficos da Figura I.1 indica que o movimento dos personagens tende a reduzir a estranheza percebida, especialmente nos dispositivos HMD-RA e HMD-RV, enquanto o Monitor de Computador continua a apresentar variabilidade significativa nas avaliações.

I.4 GRÁFICOS DAS MÉDIAS COM INTERVALOS DE CONFIANÇA

A Figura I.2 apresenta as médias com intervalos de confiança para estranheza percebida pelos usuários nos diferentes dispositivos utilizados neste experimento.

Figura I.2 – Médias de Estranheza com personagens estáticos e com todos os movimentos por Dispositivos



(A) (B)

Em (A), o gráfico mostra as médias da estranheza percebida pelos usuários nos personagens estáticos; em (B), o gráfico apresenta as médias da estranheza percebida pelos usuários nos personagens com todos os movimentos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura I.2 em (A) revela que o Monitor de Computador apresenta a média mais alta, indicando uma percepção maior de estranheza em comparação com os dispositivos HMD-RA e HMD-RV. Além disso, o intervalo de confiança do Monitor de Computador é deslocado em relação aos outros dispositivos, sugerindo uma diferença significativa na percepção.

Em contrapartida, tanto o HMD-RA quanto o HMD-RV apresentam médias mais baixas e intervalos de confiança muito próximos, o que indica que a percepção de estranheza nesses dois dispositivos é semelhante e menor do que no Monitor de Computador. Esses resultados sugerem que a percepção de estranheza é intensificada ao visualizar personagens estáticos no Monitor de Computador, enquanto os dispositivos HMDs tendem a

atenuar essa percepção.

Em se tratando do gráfico em (B) na Figura I.2, observa-se que o Monitor de Computador continua apresentando a média mais alta, indicando que a percepção de estranheza permanece maior neste dispositivo, mesmo com o personagem em movimento. O HMD-RV apresenta uma média intermediária, enquanto o HMD-RA tem a média mais baixa, sugerindo que este dispositivo é o que menos intensifica a percepção de estranheza quando o personagem está em movimento.

Os intervalos de confiança mostram que há uma sobreposição entre o HMD-RV e o Monitor de Computador, sugerindo que, embora o Monitor ainda cause mais estranheza, a diferença entre esses dispositivos não é tão pronunciada. Já o HMD-RA, com um intervalo de confiança deslocado para valores menores, reforça sua posição como o dispositivo que melhor atenua a percepção de estranheza.

Com base nas análises dos resultados, observa-se que a percepção de estranheza varia significativamente entre os dispositivos, tanto para personagens estáticos quanto para aqueles com todos os movimentos combinados. Quando os personagens estão estáticos, o Monitor de Computador se destaca por intensificar a percepção de estranheza, enquanto o HMD-RA consegue atenuar essa percepção.

Com o acréscimo de movimentos, essa tendência persiste, mas com nuances. O Monitor de Computador ainda apresenta a maior estranheza, embora a diferença em relação ao HMD-RV tenha diminuído. O HMD-RA continua a ser o dispositivo que menos intensifica a estranheza, mesmo com os personagens em movimento, sugerindo que a realidade aumentada pode ter um papel atenuante na percepção do Vale Estranho.

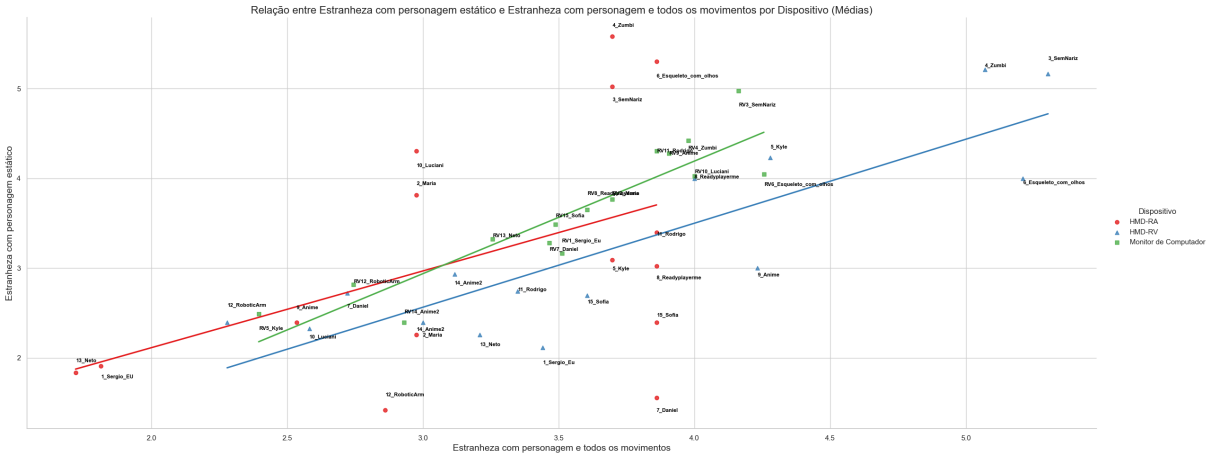
Esses resultados indicam que os movimentos dos personagens influenciam a percepção de estranheza, mas os dispositivos de visualização desempenham um papel crucial na modulação dessa percepção, com o HMD-RA se destacando como o dispositivo mais eficaz na redução da estranheza percebida.

I.5 GRÁFICO DE DISPERSÃO E REGRESSÃO

Na Figura I.3 observa-se os dados de dispersão e regressão da Estranheza percebida, pelos usuários, nos personagens estáticos e com todos os movimentos, em relação aos Dispositivos avaliados.

Neste gráfico, a linha de tendência para o HMD-RV apresenta a inclinação mais acentuada, sugerindo que a estranheza percebida nos personagens em movimento aumenta mais rapidamente em comparação à estranheza percebida com os personagens estáticos. A

Figura I.3 – Dispersão e Regressão da Estranheza percebida nos personagens estáticos e com todos os movimentos em relação aos Dispositivos



Fonte: Elaborado pelo autor.

linha do Monitor de Computador também possui uma inclinação positiva, embora menos acentuada, indicando um aumento consistente, mas menos pronunciado, da estranheza com a introdução de movimentos.

Por outro lado, a linha de tendência para o HMD-RA é a menos inclinada, sugerindo que a introdução de movimentos nos personagens tem um impacto menos significativo na percepção de estranheza neste dispositivo, o que corrobora com a ideia de que a realidade aumentada pode atenuar a percepção do Vale Estranho, mesmo quando os personagens estão em movimento.

Esses resultados destacam que o tipo de dispositivo tem um papel crucial na forma como a estranheza é percebida, sendo o HMD-RV o que mais amplifica essa percepção com a adição de movimentos, enquanto o HMD-RA parece mitigá-la.

I.6 CONCLUSÕES DO EXPERIMENTO

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que a estranheza percebida pelos usuários nos personagens é afetada tanto pelo estado dos personagens (estáticos ou com movimentos) quanto pelo dispositivo de visualização utilizado.

Especificamente, na Estranheza percebida nos personagens estáticos, o HMD-RA apresenta uma menor percepção de estranheza em relação aos personagens, com as menores médias de estranheza e uma menor dispersão nas avaliações. Por outro lado, o Monitor de Computador apresenta as maiores médias de estranheza, indicando que os personagens estáticos são percebidos como mais estranhos quando visualizados nesse

dispositivo.

Já com a percepção de Estranheza nos personagens com todos os movimentos, a percepção de estranheza aumenta, especialmente no HMD-RV, que apresentou as maiores médias de estranheza com os personagens em movimento. Isso sugere que o movimento dos personagens amplifica a percepção do Vale Estranho em ambientes de realidade virtual. Em contraste, o HMD-RA continuou a mitigar a estranheza percebida, mesmo com os personagens em movimento, mantendo médias mais baixas em comparação aos outros dispositivos.

Essa análise revela que a combinação de movimento e dispositivo de visualização é crucial para entender como a estranheza é percebida. Enquanto o HMD-RA tende a minimizar essa estranheza, o HMD-RV parece intensificá-la quando os personagens estão em movimento, refletindo a complexidade do Vale Estranho em diferentes contextos de visualização.

J ANÁLISE DA SIMPATIA DOS PERSONAGENS ESTÁTICOS E COM MOVIMENTOS

O objetivo deste experimento é comparar a percepção de simpatia dos personagens, com movimentos e estáticos, nos três tipos de dispositivos utilizados, HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

Neste experimento, tem-se as seguintes configurações:

- Variáveis Independentes: Tipos de dispositivos
  - HMD-RA
  - HMD-RV
  - Monitor de Computador
- Variáveis Dependentes:
  - Simpatia dos personagens estáticos
  - Simpatia dos personagem com todos os movimentos
- Tipo de Análise: Análise de Variância (ANOVA) de um fator (*One-way* ANOVA)
- Hipótese Nula ((H_0)): Não há uma diferença significativa na Simpatia dos personagens quando estão estáticos ou quando estão com todos os movimentos adicionados e visualizados nos diferentes dispositivos (Monitor de Computador, HMD-RA, HMD-RV).
- Hipótese Alternativa ((H_1)): Há uma diferença significativa na Simpatia dos personagens quando estão estáticos ou quando estão com todos os movimentos adicionados e visualizados nos diferentes dispositivos (Monitor de Computador, HMD-RA, HMD-RV).

São extraídas as respostas dos usuários para a Simpatia dos personagens estáticos e a Simpatia dos personagens com todos os movimentos (oculares, labiais e corporais) e segmentados pelo tipo de dispositivo que o usuário está utilizando.

J.1 RESULTADOS DA ANOVA

Os resultados da ANOVA aplicada aos dados de Simpatia dos personagens estáticos revelam que o fator "Dispositivo"tem um efeito significativo na percepção de simpatia, com estatística F = 10,47 e um valor-p extremamente baixo ($3{,}0e^{-6}$), muito abaixo do nível de significância usual de 0,05. Isso indica que há uma diferença significativa na percepção de simpatia entre os dispositivos utilizados no experimento.

De maneira similar, a ANOVA para a simpatia percebida nos personagens com todos os movimentos indica que o fator "Dispositivo"também exerce um efeito significativo. A estatística F = 8,87 e o valor-p igualmente baixo($1{,}5e^{-4}$)confirmam que há diferenças significativas na percepção de simpatia entre os dispositivos quando os personagens estão em movimento.

Esses resultados sugerem que a percepção de simpatia é fortemente influenciada pelo tipo de dispositivo utilizado, tanto para personagens estáticos quanto para personagens em movimento.

J.2 RESULTADOS DO TESTE *POST-HOC* DE TUKEY

Os testes *post-hoc* de Tukey são realizados para identificar os pares de dispositivos apresentaram diferenças significativas. Os resultados podem ser vistos na Tabela J.1 e na Tabela J.2.

Tabela J.1 – Teste *Post-hoc* Tukey para Simpatia do Personagem estático

Grupo1	**Grupo2**	**Dif. médias**	**p-ajustado**	**Inferior**	**Superior**	**Rejeita**
Monitor	HMD-RA	0.3674	0.0002	0.1531	0.5818	**Sim**
Monitor	HMD-RV	0.3566	0.0003	0.1423	0.5709	**Sim**
HMD-RA	HMD-RV	-0.0109	0.9923	-0.2252	0.035	Não

Fonte: Elaborado pelo autor.

A comparação entre o Monitor de Computador e o HMD-RA revela uma diferença média significativa de 0,3674 (p = 0,0002), com um intervalo de confiança entre 0,1531 e 0,5818. Isso indica que, no Monitor de Computador, o personagem é percebido como menos simpático em comparação com o HMD-RA.

De maneira similar, a comparação entre o Monitor de Computador e o HMD-RV mostra uma diferença média significativa de 0,3566 (p = 0,0003), com um intervalo de confiança entre 0,1423 e 0,5709. Esse resultado também sugere que o personagem tem uma percepção de simpatia inferior no Monitor de Computador em comparação com o HMD-RV.

Por outro lado, a comparação entre o HMD-RA e o HMD-RV não apresenta uma diferença significativa, com uma diferença média de -0,0109 (p = 0,9923), e o intervalo de confiança variando de -0,2252 a 0,2035, indicando que os dois dispositivos são percebidos de maneira semelhante em termos de simpatia.

Esses resultados reforçam que os dispositivos HMD-RA e HMD-RV proporcionam uma percepção de simpatia do personagem superior, em relação ao Monitor de Computador, enquanto a simpatia percebida entre os dispositivos HMD-RA e HMD-RV é estatisticamente indistinguível.

Quanto a Simpatia dos personagens com todos os movimentos, o teste *post-hoc* de Tukey gera os dados da Tabela J.2.

Tabela J.2 – Teste *Post-hoc* Tukey para Simpatia do Personagem com todos os movimentos

Grupo1	**Grupo2**	**Dif. médias**	**p-ajustado**	**Inferior**	**Superior**	**Rejeita**
Monitor	HMD-RA	-0.0651	0.7081	-0.2580	0.1278	Não
Monitor	HMD-RV	0.2620	0.0042	0.0691	0.4549	**Sim**
HMD-RA	HMD-RV	0.3271	0.0002	0.1343	0.520	**Sim**

Fonte: Elaborado pelo autor.

Entre o Monitor de Computador e o HMD-RA, a diferença de médias é de -0.0651, com um valor p-ajustado de 0.7081, indicando que não há uma diferença significativa entre esses dois dispositivos quanto a percepção de simpatia dos personagens com todos os movimentos. A comparação entre o Monitor de Computador e o HMD-RV mostra uma diferença de médias de 0.262, com um valor p-ajustado de 0.0042, o que sugere uma diferença significativa na percepção de simpatia, favorecendo o HMD-RV.

Por fim, a comparação entre o HMD-RA e o HMD-RV revela uma diferença de médias de 0.3271, com um valor p-ajustado de 0.0002, indicando uma diferença significativa, também favorecendo o HMD-RV.

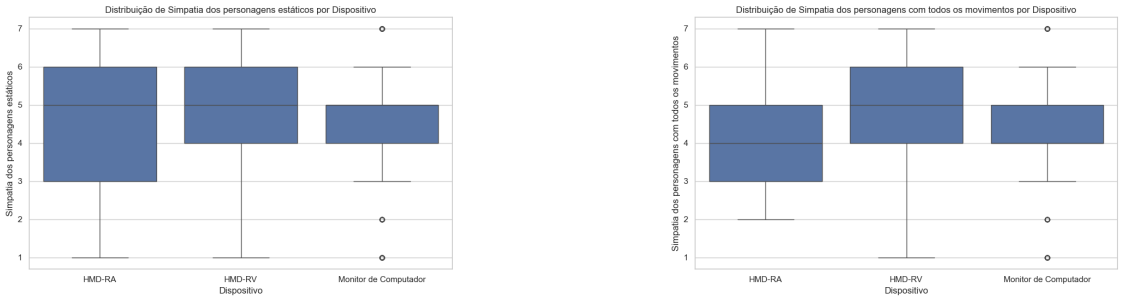
Esses resultados destacam que o HMD-RV tende a proporcionar uma percepção mais elevada de simpatia para personagens em movimento em comparação tanto com o Monitor de Computador quanto com o HMD-RA.

J.3 GRÁFICOS BOXPLOTS

A Figura J.1 apresenta os Boxplots da Simpatia indicada pelos usuários nos personagens estáticos e com todos os movimentos, em relação aos dispositivos Monitor de Computador, HMD-RA e HMD-RV.

Na Figura J.1, em (A), o gráfico indica que o HMD-RA apresenta uma variação na percepção de simpatia dos personagens estáticos, com a caixa variando de 3 a 6 e bigodes

Figura J.1 – Distribuição da Simpatia dos personagens estáticos e com todos os movimentos por Dispositivos



(A) (B)

Em (A), o gráfico apresenta a simpatia dos personagens estáticos indicada pelos usuários e em (B), a simpatia apontada pelos usuários com todos os movimentos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

que se estendem de 1 a 7. A mediana para o HMD-RA está posicionada em 5, sugerindo uma percepção moderadamente alta de simpatia. O HMD-RV também apresenta uma caixa com variação de 4 a 6, uma mediana em 5, e bigodes que se estendem de 1 a 7, indicando uma percepção de simpatia similar ao HMD-RA, mas com menor variação. Já o Monitor de Computador exibe uma caixa que varia de 4 a 5, com bigodes de 3 a 6 e *outliers* nos valores 1, 2, e 7, refletindo uma percepção de simpatia mais estável, mas com algumas avaliações extremas.

Esses resultados sugerem que, em geral, tanto o HMD-RA quanto o HMD-RV proporcionam uma percepção elevada e consistente de simpatia para personagens estáticos, enquanto o Monitor de Computador exibe uma percepção mais concentrada, mas com algumas avaliações atípicas que indicam maior variabilidade.

Na Figura J.1 em (B), o gráfico da simpatia dos personagens com todos os movimentos por dispositivo, observa-se que o HMD-RA apresenta uma variação significativa nas avaliações, com a caixa variando de 3 a 5 e bigodes que se estendem de 1 a 7. A mediana para o HMD-RA está em 4, sugerindo uma percepção moderada de simpatia, mas com uma maior dispersão nas avaliações. O HMD-RV, por outro lado, exibe uma caixa com variação de 4 a 6, uma mediana em 5, e bigodes que se estendem de 1 a 7, indicando uma percepção de simpatia mais alta e consistente em comparação ao HMD-RA. O Monitor de Computador apresenta uma caixa que varia de 4 a 5, mediana em 4, com bigodes de 3 a 6 e *outliers* nos valores 1,2 e 7, sugerindo uma percepção de simpatia mais concentrada, mas com algumas avaliações extremas.

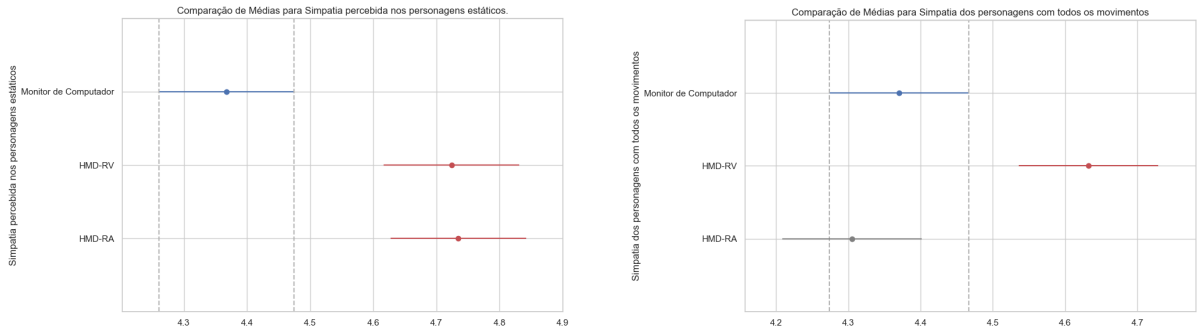
Esses resultados indicam que, em geral, o HMD-RV é percebido de maneira mais

positiva em relação à simpatia dos personagens com todos os movimentos, enquanto o HMD-RA apresenta maior variabilidade nas avaliações. O Monitor de Computador, por sua vez, tende a concentrar as avaliações em níveis intermediários de simpatia, mas com a presença de *outliers* que refletem percepções menos consistentes.

J.4 GRÁFICOS DAS MÉDIAS COM INTERVALOS DE CONFIANÇA

A Figura J.2 apresenta as médias com intervalos de confiança para simpatia dos personagens estáticos e com movimentos, indicados pelos usuários nos diferentes dispositivos utilizados neste experimento.

Figura J.2 – Médias de Simpatia dos personagens estáticos e com todos os movimentos por Dispositivos



(A) (B)

Em (A), o gráfico mostra as médias da Simpatia avaliadas pelos usuários nos personagens estáticos; em (B), o gráfico apresenta as médias da Simpatia indicada pelos usuários nos personagens com todos os movimentos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura J.2 em (A) indica que as médias para o HMD-RA e o HMD-RV estão posicionadas em torno de 4.7, enquanto o Monitor de Computador apresenta uma média mais baixa, em torno de 4.4. Os intervalos de confiança para o HMD-RA e o HMD-RV são mais estreitos, indicando menor variabilidade nas respostas dos participantes e uma percepção mais consistente de simpatia. Por outro lado, o intervalo de confiança do Monitor de Computador é mais largo, sugerindo uma maior dispersão nas avaliações.

Esses resultados indicam que, de forma geral, os personagens estáticos são percebidos como mais simpáticos quando visualizados em dispositivos de realidade aumentada ou virtual, comparados ao Monitor de Computador. Isso sugere que os HMDs tendem a melhorar a percepção de simpatia dos personagens, enquanto o Monitor de Computador

pode aumentar negativamente essa percepção.

Em se tratando do gráfico em (B) na Figura J.2, observa-se que o HMD-RV apresenta uma média mais alta, próxima de 4.6, seguida pelo HMD-RA, com uma média em torno de 4.4, e o Monitor de Computador com uma média ligeiramente inferior a 4.3. Os intervalos de confiança para o HMD-RV são relativamente estreitos, indicando maior consistência nas avaliações de simpatia para esse dispositivo.

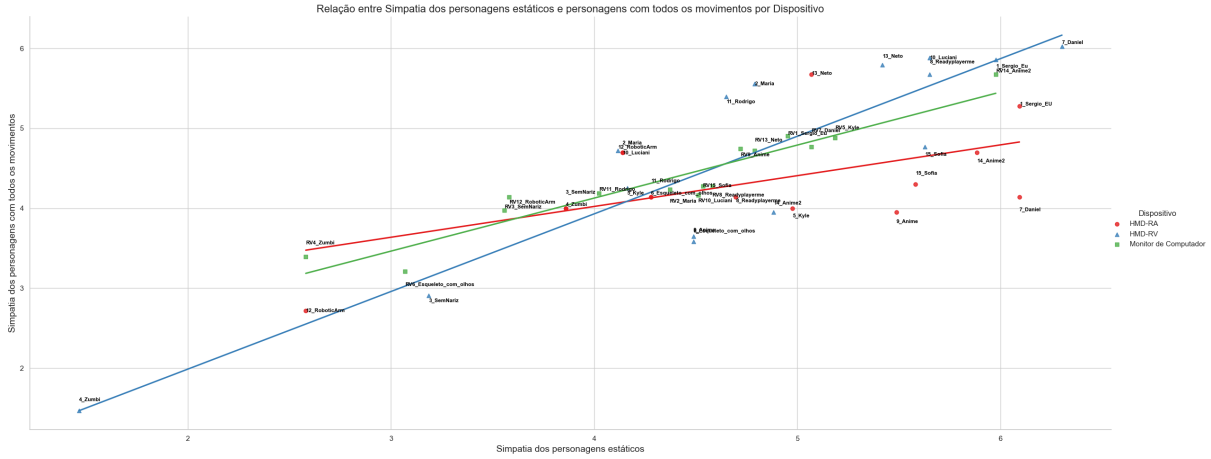
Por outro lado, o intervalo de confiança para o HMD-RA é mais amplo, sugerindo maior variabilidade nas respostas. O Monitor de Computador apresenta um intervalo de confiança mais restrito em comparação ao HMD-RA, mas com uma média inferior, o que reforça a percepção de que os personagens com movimentos são vistos como menos simpáticos quando visualizados através desse dispositivo.

Esses resultados sugerem que, com todos os movimentos, o HMD-RV tende a aumentar a percepção de simpatia dos personagens, enquanto o Monitor de Computador pode diminuir essa percepção positiva em comparação aos dispositivos de realidade aumentada e virtual.

J.5 GRÁFICO DE DISPERSÃO E REGRESSÃO

Na Figura J.3 observa-se os dados de dispersão e regressão da Simpatia dos personagens estáticos e com todos os movimentos, em relação aos Dispositivos avaliados.

Figura J.3 – Dispersão e Regressão da Simpatia percebida nos personagens estáticos e com todos os movimentos em relação aos Dispositivos



Fonte: Elaborado pelo autor.

Este gráfico da Figura J.3 apresenta linhas de tendência para cada dispositivo,

e indicam que há uma correlação positiva entre a simpatia percebida em personagens estáticos e em personagens com movimentos.

Os resultados mostram que a percepção de simpatia é consistentemente mais elevada quando os personagens estão em movimento, independentemente do dispositivo utilizado. No entanto, o HMD-RV parece ter uma maior inclinação, sugerindo que os movimentos dos personagens têm um impacto mais significativo na simpatia percebida nesse dispositivo, em comparação ao HMD-RA e ao Monitor de Computador.

O Monitor de Computador, apesar de também mostrar uma correlação positiva, tem uma inclinação menos acentuada, indicando que os movimentos dos personagens não afetam tanto a percepção de simpatia como nos dispositivos de realidade aumentada e virtual. Esses resultados podem sugerir que a imersão proporcionada pelos HMDs (tanto RA quanto RV) potencializa a percepção de características positivas nos personagens, como a simpatia, especialmente quando estão em movimento.

J.6 CONCLUSÕES DO EXPERIMENTO

As análises revelam que a percepção dos participantes, quanto a Simpatia, varia significativamente conforme o dispositivo utilizado, tanto para personagens estáticos quanto para personagens em movimento. Os resultados mostram que os personagens são percebidos de forma mais positiva quando visualizados em dispositivos HMD, tanto de realidade aumentada quanto de realidade virtual, com diferenças significativas entre os dispositivos.

A comparação entre personagens estáticos e com movimentos revela que a introdução de movimentos tende a influenciar a percepção de simpatia, especialmente nos dispositivos HMD. No HMD-RV, a simpatia aumenta consideravelmente com os movimentos. O HMD-RA, embora também mostre um aumento na simpatia com os movimentos, mantém uma variação mais ampla nas respostas, refletindo uma diversidade maior nas percepções dos participantes.

Em conclusão, os dispositivos HMD-RV e HMD-RA se destacam como as tecnologias que proporcionam uma percepção de simpatia mais elevada para os personagens, tanto estáticos quanto em movimento. O movimento dos personagens, em particular, exerce um impacto positivo na simpatia percebida, especialmente no HMD-RV, o que sugere que a combinação de imersão e movimento pode ser crucial para melhorar a percepção do personagem no Vale Estranho.

Esses resultados estão, mais uma vez, diretamente corroborando as questões de

pesquisa. A análise evidencia que a percepção da simpatia, uma dimensão relevante na experiência do Vale Estranho, varia entre os tipos de *displays* utilizados (Q1). Os HMDs (tanto RA quanto RV) tendem a ser associados a percepções mais positivas, enquanto o Monitor de Computador apresenta resultados menos favoráveis (Q2). E além disso, a adição de movimentos (Q3) aos personagens mostra um ganho significativo na simpatia percebida, com o HMD-RV sendo o dispositivo onde esse efeito é mais acentuado, embora o HMD-RA esteja muito próximo também.

K ANÁLISE DA SEMELHANÇA DOS PERSONAGENS ESTÁTICOS E COM MOVIMENTOS

O objetivo deste experimento é avaliar a percepção de semelhança dos personagens com seres humanos, estáticos ou com todos os movimentos (oculares, labiais e corporais), nos três tipos de dispositivos utilizados, HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador.

Neste experimento, tem-se as seguintes configurações:

- Variáveis Independentes: Tipos de dispositivos
  - HMD-RA
  - HMD-RV
  - Monitor de Computador
- Variáveis Dependentes:
  - Semelhança dos personagens com seres humanos (estáticos)
  - Semelhança dos personagens com seres humanos (com todos os movimentos)
- Tipo de Análise: Análise de Variância (ANOVA) de um fator (*One-way* ANOVA) e Análise Descritiva das Médias
- Hipótese Nula ((H_0)): Não há uma diferença significativa na Semelhança dos personagens com humanos quando estão estáticos ou quando estão com todos os movimentos adicionados e visualizados nos diferentes dispositivos (Monitor de Computador, HMD-RA, HMD-RV).
- Hipótese Alternativa ((H_1)): Há uma diferença significativa na Semelhança dos personagens com humanos quando estão estáticos ou quando estão com todos os movimentos adicionados e visualizados nos diferentes dispositivos (Monitor de Computador, HMD-RA, HMD-RV).

São extraídas as respostas dos usuários para a Semelhança dos personagens com humanos (estáticos) e a Semelhança dos personagens com humanos com todos os movimentos (oculares, labiais e corporais) e segmentados pelo tipo de dispositivo que o usuário está utilizando.

K.1 RESULTADOS DA ANOVA

Os resultados da ANOVA aplicada aos dados de semelhança com seres humanos percebida nos personagens estáticos revelam que o fator "Dispositivo"tem um efeito alta-

mente significativo na percepção de semelhança, com estatística F = 19,33 e um valor-p extremamente baixo ($4{,}8e^{-9}$), bem abaixo do nível de significância usual de 0,05. Isso indica que há uma diferença significativa na percepção de semelhança com seres humanos entre os diferentes dispositivos utilizados no experimento.

Da mesma forma, a ANOVA para a semelhança com seres humanos percebida nos personagens com todos os movimentos também indica que o fator "Dispositivo"exerce um efeito significativo, embora de forma um pouco menos intensa. A estatística F = 9,35 e o valor-p ($9{,}1e^{-5}$) mostram que existem diferenças significativas na percepção de semelhança com seres humanos entre os dispositivos quando os personagens estão em movimento.

Esses resultados sugerem que a percepção de semelhança com seres humanos é fortemente influenciada pelo tipo de dispositivo utilizado, tanto para personagens estáticos quanto para personagens em movimento.

K.2 RESULTADOS DO TESTE *POST-HOC* DE TUKEY

Os testes *post-hoc* de Tukey são realizados para identificar os pares de dispositivos apresentaram diferenças significativas. Os resultados podem ser vistos na Tabela K.1 e na Tabela K.2.

Tabela K.1 – Teste *Post-hoc* Tukey para Semelhança do Personagem com um humano (estático)

Grupo1	**Grupo2**	**Dif. médias**	**p-ajustado**	**Inferior**	**Superior**	**Rejeita**
Monitor	HMD-RA	-0.7922	0.0000	-1.1113	-0.4715	**Sim**
Monitor	HMD-RV	-0.6636	0.0000	-0.9843	-0.3428	**Sim**
HMD-RA	HMD-RV	0.1287	0.6143	-0.1921	0.4494	Não

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados do teste Post-hoc de Tukey para a semelhança percebida dos personagens com humanos sem movimentos indicam que existem diferenças significativas entre o Monitor e os dois dispositivos HMD. A diferença média entre o Monitor e o HMD-RA é de -0,7922, com um valor-p ajustado de 0,0000, indicando uma rejeição da hipótese nula. Isso sugere que o Monitor apresenta uma percepção de semelhança significativamente menor em comparação ao HMD-RA. De maneira semelhante, a diferença média entre o Monitor e o HMD-RV foi de -0,6636, com um valor-p ajustado de 0,0000, indicando nova-

mente uma percepção significativamente menor de semelhança dos personagens, quando estáticos, com seres humanos, observados no Monitor de Computador em comparação ao HMD-RV.

Por outro lado, a comparação entre os dois dispositivos HMD (HMD-RA e HMD-RV) não revela diferenças significativas na percepção de semelhança, com uma diferença média de 0,1287 e um valor-p ajustado de 0,6143, sugerindo que, em ambos os dispositivos, os personagens são percebidos de forma semelhante em termos de semelhança com seres humanos sem movimentos.

Esses resultados reforçam a ideia de que o tipo de dispositivo afeta significativamente a percepção de semelhança dos personagens com seres humanos, sendo que os dispositivos HMDs proporcionam uma experiência mais imersiva e realista em comparação ao Monitor tradicional.

Quanto a semelhança percebida dos personagens com humanos e todos os movimentos, o teste *post-hoc* de Tukey gera os dados da Tabela K.2.

Tabela K.2 – Teste *Post-hoc* Tukey para Simpatia do Personagem com todos os movimentos

Grupo1	**Grupo2**	**Dif. médias**	**p-ajustado**	**Inferior**	**Superior**	**Rejeita**
Monitor	HMD-RA	0.1101	0.3621	-0.0797	0.2999	Não
Monitor	HMD-RV	-0.2326	0.0114	-0.4223	-0.0428	**Sim**
HMD-RA	HMD-RV	-0.3426	0.0001	-0.5324	-0.1528	**Sim**

Fonte: Elaborado pelo autor.

O teste indica que há diferenças significativas entre o Monitor de Computador e o HMD-RV e também entre o HMD-RA e o HMD-RV. A diferença média entre o Monitor de Computador e o HMD-RV é de -0,2326, com um valor-p ajustado de 0,0114, rejeitando a hipótese nula, o que sugere que o Monitor de Computador apresenta uma percepção de semelhança dos personagens, e todos os movimentos, com seres humanos significativamente menor em comparação ao HMD-RV.

De maneira semelhante, a diferença média entre o HMD-RA e o HMD-RV é de -0,3426, com um valor-p ajustado de 0,0001, também indicando uma diferença significativa. Isto mostra que o HMD-RV foi percebido como tendo uma maior semelhança dos personagens com seres humanos quando todos os movimentos são implementados, em comparação ao HMD-RA.

Por outro lado, a comparação entre o Monitor de Computador e o HMD-RA

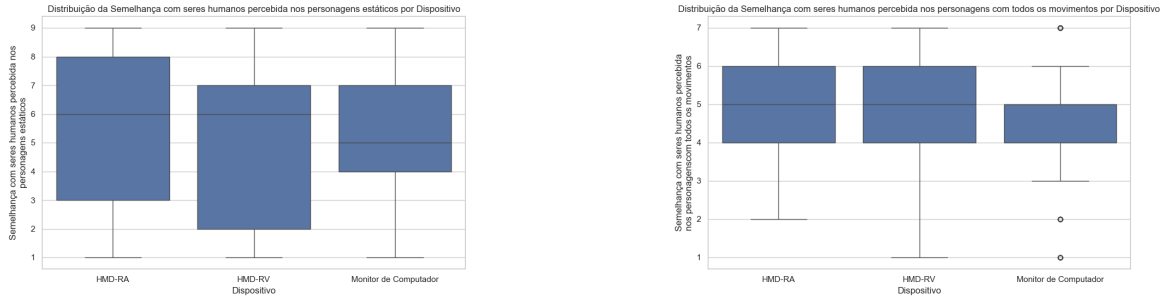
não revela uma diferença significativa na percepção de semelhança, com uma diferença média de 0,1101 e um valor-p ajustado de 0,3621, sugerindo que ambos os dispositivos são percebidos de forma similar em termos de semelhança com seres humanos quando todos os movimentos dos personagens são considerados.

Esses resultados indicam que o HMD-RV tende a ser percebido como dispositivo que mais proporciona uma experiência realista em comparação com o HMD-RA e o Monitor de Computador, com diferenças significativas na percepção de semelhança dos personagens com seres humanos com todos os movimentos.

K.3 GRÁFICOS BOXPLOTS

A Figura K.1 apresenta os Boxplots da Semelhança dos Personagens com um humano estático e com todos os movimentos, em relação aos dispositivos Monitor de Computador, HMD-RA e HMD-RV.

Figura K.1 – Distribuição da Semelhança dos personagens com seres humanos estáticos e com todos os movimentos por Dispositivos



(A) (B)

Em (A), o gráfico apresenta a semelhança dos personagens com um humano estático indicada pelos usuários e em (B), a semelhança dos personagens com humano com todos os movimentos apontada pelos usuários.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura K.1, em (A), observa-se a distribuição da semelhança dos personagens estáticos com seres humanos, percebida pelos usuários, em relação aos diferentes dispositivos. Para o HMD-RA, a caixa do *boxplot* varia de 3 a 8, com uma mediana em 6, e os bigodes se estendem de 1 a 9, indicando uma percepção variada de semelhança, mas com uma concentração maior nas avaliações médias.

No HMD-RV, a caixa varia de 2 a 7, também com uma mediana em 6, e os

bigodes igualmente se estendem de 1 a 9, sugerindo uma distribuição similar à do HMD-RA, embora com uma maior dispersão nos valores mais baixos. Por fim, o Monitor de Computador exibe uma caixa que varia de 4 a 7, com uma mediana em 5, e os bigodes vão de 1 a 9, indicando uma percepção de semelhança geralmente inferior em comparação com os dispositivos de realidade aumentada e virtual.

Esses resultados sugerem que, de modo geral, os dispositivos HMD-RA e HMD-RV proporcionam uma percepção mais consistente de semelhança com seres humanos, quando estáticos, com uma concentração de avaliações em níveis médios, enquanto o Monitor de Computador tende a ser associado a uma percepção ligeiramente inferior de semelhança com seres humanos, com uma mediana mais baixa.

Na Figura K.1 em (B), mostra-se que, com os personagens em movimento, tanto HMD-RA quanto HMD-RV têm caixas que variam de 4 a 6, com bigodes de 2 a 7 e medianas em 5. Isso indica que a percepção de semelhança se manteve relativamente estável quando os personagens se movem, com uma leve concentração em torno da mediana. O Monitor de Computador, por sua vez, exibe uma caixa menor, de 4 a 5, com mediana em 4, bigodes de 3 a 6 e alguns *outliers* em 1, 2 e 7, sugerindo que, mesmo em movimento, a percepção de semelhança dos personagens com seres humanos nesse dispositivo não é tão alta quanto nos HMDs.

Esses resultados indicam que, independentemente do movimento, os dispositivos HMD-RA e HMD-RV tendem a proporcionar uma percepção de semelhança do personagem com um humano mais alta, em comparação ao Monitor de Computador.

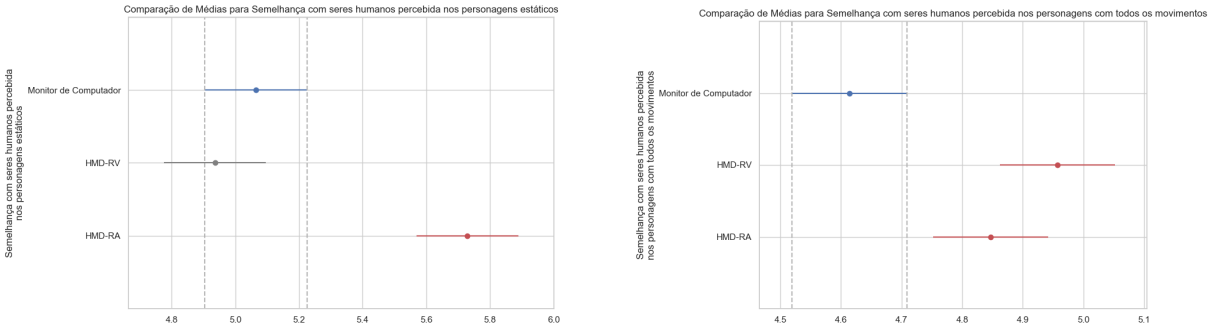
K.4 GRÁFICOS DAS MÉDIAS COM INTERVALOS DE CONFIANÇA

A Figura K.2 apresenta as médias com intervalos de confiança para Semelhança dos Personagens com um humano estático e com todos os movimentos nos diferentes dispositivos utilizados neste experimento.

A Figura K.2 em (A) mostra que as médias de semelhança dos personagens com seres humanos para o HMD-RA estão em torno de 5,7, enquanto para o HMD-RV e o Monitor de Computador, as médias se situam em torno de 4,9 e 5,0, respectivamente. Os intervalos de confiança do HMD-RA são mais largos, indicando maior variabilidade nas respostas, enquanto os intervalos para o HMD-RV e o Monitor de Computador são mais estreitos, sugerindo uma percepção mais consistente.

Esses resultados indicam que, em geral, os personagens estáticos são percebidos como mais semelhantes a seres humanos quando visualizados em dispositivos HMD-RA,

Figura K.2 – Médias de Semelhança dos personagens com um ser humano estáticos e com todos os movimentos por Dispositivos



(A) (B)

Em (A), o gráfico mostra as médias da Semelhança com humanos avaliadas pelos usuários nos personagens estáticos; em (B), o gráfico apresenta as médias da Semelhança com humanos indicada pelos usuários nos personagens com todos os movimentos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

enquanto o Monitor de Computador e o HMD-RV apresentam uma percepção de semelhança um pouco inferior e mais uniforme entre os participantes.

Já na Figura K.2 em (B), percebe-se que as médias de semelhança dos personagens com todos os movimentos com seres humanos são ligeiramente superiores no HMD-RV e HMD-RA, situando-se em torno de 4,9, enquanto o Monitor de Computador apresenta uma média ligeiramente inferior, em torno de 4,6. Os intervalos de confiança para o HMD-RA e HMD-RV são mais estreitos, indicando uma percepção mais consistente entre os participantes, enquanto o intervalo de confiança do Monitor de Computador é mais largo, sugerindo maior variabilidade nas avaliações.

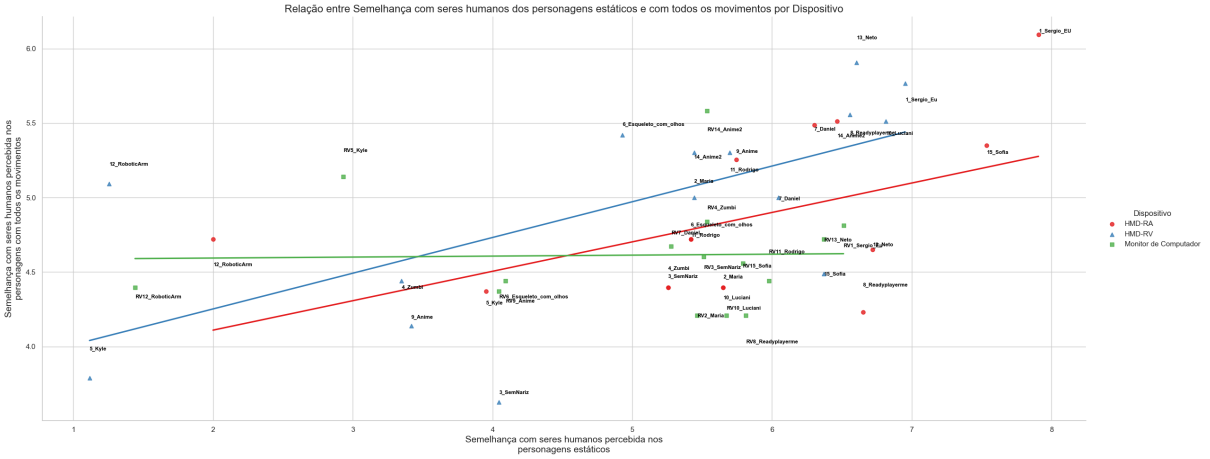
Esses resultados sugerem que a percepção de semelhança dos personagens com seres humanos, considerando todos os movimentos, é mais positiva e consistente em dispositivos de realidade aumentada e virtual, enquanto o Monitor de Computador tende a ter uma percepção menos favorável e mais variável.

K.5 GRÁFICO DE DISPERSÃO E REGRESSÃO

Na Figura K.3 observa-se os dados de dispersão e regressão da Semelhança dos Personagens com seres humanos estáticos e com todos os movimentos nos diferentes dispositivos.

Este gráfico da Figura K.3 mostra que a tendência geral indica que há uma correlação positiva entre as percepções nos dois cenários, ou seja, personagens considerados

Figura K.3 – Dispersão e Regressão da Semelhança dos personagens com seres humanos nos personagens estáticos e com todos os movimentos em relação aos Dispositivos



Fonte: Elaborado pelo autor.

semelhantes a seres humanos quando estáticos tendem a ser percebidos de forma similar quando em movimento.

Os dispositivos HMD-RA e HMD-RV mostram uma maior variação nas percepções de semelhança, com alguns personagens apresentando maior disparidade nas avaliações estáticas e em movimento. O Monitor de Computador, por outro lado, tende a manter uma percepção mais estável, mas ainda apresenta alguns casos de variação significativa.

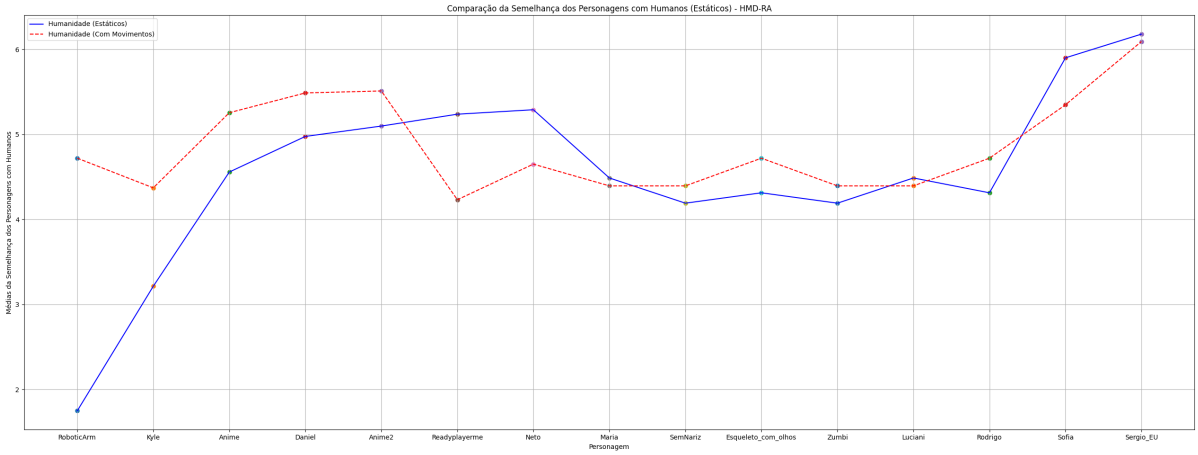
Esses resultados indicam que o tipo de dispositivo influencia não apenas a percepção de semelhança em diferentes estados do personagem (estático e em movimento), mas também a consistência dessas avaliações. Dispositivos de realidade aumentada e virtual tendem a produzir variações maiores, enquanto o Monitor de Computador apresenta percepções mais uniformes.

K.6 ANÁLISE DESCRITIVA DAS MÉDIAS

Uma Análise Descritiva das Médias é realizada para visualizar como as percepções de semelhança dos personagens com seres humanos variam entre os diferentes dispositivos, quando os personagens estão estáticos ou com todos os movimentos. A Figura K.4 apresenta as médias referentes ao HMD-RA para cada personagem.

O gráfico apresentado na Figura K.4 compara as médias de semelhança dos personagens com humanos nos cenários estáticos e com todos os movimentos, utilizando o dispositivo HMD-RA. Observa-se que, para a maioria dos personagens, as médias de se-

Figura K.4 – Análise Descritiva das Médias dos personagens no HMD-RA



Fonte: Elaborado pelo autor.

melhança são consistentemente maiores quando os personagens estão em movimento, em comparação com o cenário estático. Isso sugere que o movimento tende a aumentar a percepção de semelhança dos personagens com seres humanos quando visualizados através do HMD-RA.

No entanto, essa tendência não é uniforme para todos os personagens. Por exemplo, alguns personagens, como o "Zumbi"e o "SemNariz", apresentam diferenças menores entre as médias para os cenários estático e com movimento, indicando que o movimento não altera significativamente a percepção de semelhança para esses casos específicos.

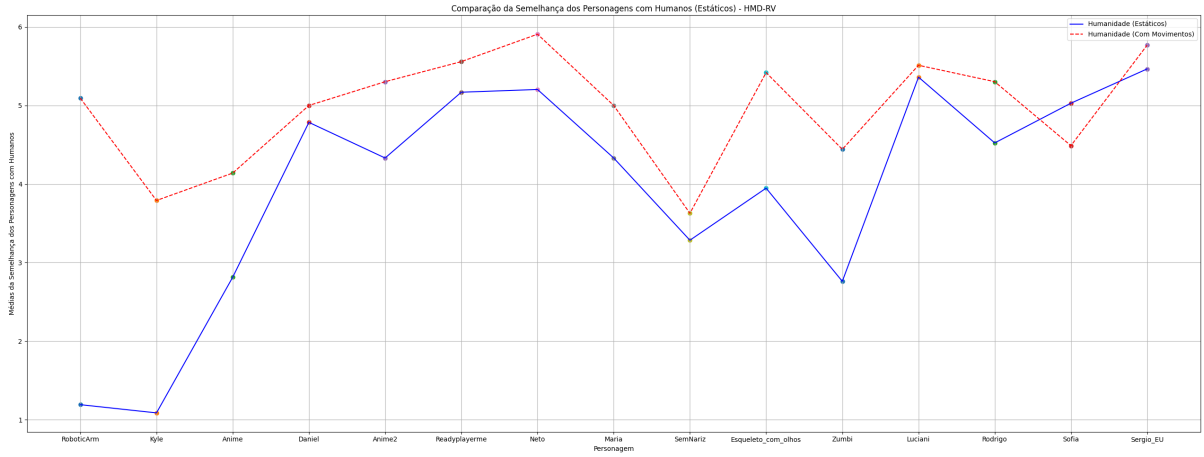
Conclui-se que, de forma geral, o movimento dos personagens melhora percepção de sua semelhança com humanos no HMD-RA, embora a magnitude desse efeito varie dependendo do personagem. Isso reforça a importância do movimento na percepção do Vale Estranho, alinhando-se com a hipótese de que os movimentos podem reduzir a estranheza e aumentar a semelhança percebida.

A Figura K.5 mostra as médias para o HMD-RV.

Assim como observado anteriormente com o HMD-RA, as médias de semelhança tendem a ser maiores quando os personagens estão em movimento em comparação com os cenários estáticos. No entanto, a variação entre as médias para personagens específicos é mais pronunciada neste gráfico.

Por exemplo, personagens como "RoboticArm"e "Kyle"apresentam uma diferença significativamente maior entre a ausência ou inclusão dos movimentos. Outros personagens, como "Neto"e "Luciani,"mostram uma menor diferença entre o mesmo cenário, indicando que a percepção de semelhança desses personagens é menos afetada pela adição de movimentos.

Figura K.5 – Análise Descritiva das Médias dos personagens no HMD-RV



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em resumo, o gráfico indica que o movimento tende a aumentar a percepção de semelhança dos personagens com humanos no HMD-RV, especialmente para aqueles personagens que inicialmente são percebidos como menos humanos quando estáticos. Isso reforça a ideia de que os movimentos podem ser um fator crítico na mitigação do efeito do Vale Estranho, dependendo do design específico do personagem.

Por fim, a Figura K.6 apresenta a mesma comparação no Monitor de Computador.

Figura K.6 – Análise Descritiva das Médias dos personagens no Monitor de Computador



Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se um comportamento interessante em relação aos dispositivos HMD-RA e HMD-RV na Figura K.6. Em geral, nota-se que as médias para personagens com movimentos tendem a ser maiores ou próximas das médias dos personagens estáticos, o

que sugere que o movimento tem um efeito positivo na percepção de semelhança com humanos, mesmo em um monitor de computador.

Contudo, a diferença entre as médias dos personagens estáticos e em movimento é menos acentuada do que nos gráficos anteriores, especialmente para personagens como "Kyle", "Anime", e "Rodrigo". Isso pode indicar que o Monitor de Computador, embora beneficie a percepção de semelhança com a adição de movimentos, não causa um impacto tão significativo quanto os dispositivos HMD.

Esse gráfico sugere que, enquanto os HMDs parecem amplificar de maneira mais marcante a percepção de semelhança dos personagens com humanos ao adicionar movimentos, o Monitor de Computador tende a oferecer uma experiência mais linear, com menos variação entre as percepções de personagens estáticos e em movimento.

K.7 CONCLUSÕES DO EXPERIMENTO

A análise dos dados de semelhança com seres humanos, tanto para personagens estáticos quanto para personagens com todos os movimentos, revela que o dispositivo utilizado influencia significativamente a percepção dos participantes. Nos testes ANOVA, observa-se diferenças estatisticamente significativas entre os dispositivos, os gráficos *box-plots* indicam que o HMD-RA e o HMD-RV tendem a produzir uma percepção mais consistente e favorável de semelhança com seres humanos, especialmente em personagens em movimento.

O teste Tukey reforçam essas observações, mostrando que as diferenças mais marcantes ocorrem entre o Monitor de Computador e os dispositivos HMDs, com o Monitor apresentando as avaliações menos favoráveis de semelhança e os HMDs tendendo a realçar mais as semelhanças com humanos nos personagens.

Em termos das questões de pesquisa, esses resultados destacam a importância do dispositivo na percepção de semelhança dos personagens com seres humanos, sugerindo que experiências imersivas com HMDs podem ser mais eficazes para criar personagens que sejam percebidos como mais próximos dos humanos.

Esses resultados estão, novamente, diretamente corroborando as questões de pesquisa. A análise evidencia que a percepção da Semelhança dos personagens com seres humanos (estáticos ou com todos os movimentos), varia entre os tipos de *displays* utilizados (Q1). Os HMDs (tanto RA quanto RV) tendem a ser associados a percepções mais positivas, enquanto o Monitor de Computador apresenta resultados menos favoráveis (Q2). Além disso, a adição de movimentos (Q3) aos personagens revela uma variação

significativa na semelhança percebida, com o HMD-RA e o HMD-RV apresentando um efeito positivo notável, indicando que esses dispositivos podem atenuar os efeitos do Vale Estranho de forma mais eficaz quando o personagem está em movimento.

L ANÁLISE DA PRESENÇA E NATURALIDADE DOS MOVIMENTOS

O objetivo deste experimento é avaliar como diferentes dispositivos (HMD-RA, HMD-RV, e Monitor) influenciam a percepção de presença e a naturalidade dos movimentos dos personagens, considerando personagens com movimentos completos.

Neste experimento, tem-se as seguintes configurações:

- Variáveis Independentes: Tipos de dispositivos
  - HMD-RA
  - HMD-RV
  - Monitor de Computador
- Variáveis Dependentes:
  - Presença
  - Naturalidade dos movimentos
- Tipo de Análise: Análise de Variância (ANOVA) de um fator (*One-way* ANOVA)
- Hipótese Nula ((H_0)): Não há diferença significativa na percepção de presença e naturalidade dos movimentos dos personagens entre os dispositivos.
- Hipótese Alternativa ((H_1)): Há diferença significativa na percepção de presença e naturalidade dos movimentos dos personagens entre os dispositivos.

As respostas dos usuários sobre a sensação de presença e a naturalidade dos movimentos dos personagens foram extraídas e segmentadas de acordo com o tipo de dispositivo utilizado.

L.1 RESULTADOS DA ANOVA

Os resultados da ANOVA aplicada revelam que o fator "Dispositivo"tem um efeito significativo na percepção de presença, conforme indicado pela estatística $F = 300.10$ e um valor-p extremamente baixo ($3{,}1e^{-114}$), muito menor que o nível de significância usual de 0,05. Esses resultados sugerem que há uma diferença significativa na percepção de presença entre os dispositivos utilizados no experimento.

Para a naturalidade dos movimentos, os resultados da ANOVA indicam que também houve um efeito significativo do dispositivo, com estatística $F = 9.35$ e um valor-p de 0.000091, que é bem menor que o nível de significância usual de 0,05. Isso indica que os dispositivos afetam de forma significativa a percepção de naturalidade dos movimentos.

L.2 RESULTADOS DO TESTE *POST-HOC* DE TUKEY

Os testes *post-hoc* de Tukey são realizados para identificar quais pares de dispositivos apresentam diferenças significativas e seu resultado é apresentado na Tabela L.1.

Tabela L.1 – Teste *Post-hoc* Tukey para Presença percebida pelo usuário

Grupo1	**Grupo2**	**Dif. médias**	**p-ajustado**	**Inferior**	**Superior**	**Rejeita**
Monitor	HMD-RA	-0.1163	0.3195	-0.3054	0.0728	Não
Monitor	HMD-RV	-1.7659	0.0	-1.955	-1.5768	**Sim**
HMD-RA	HMD-RV	-1.6496	0.0	-1.8387	-1.4605	**Sim**

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados indicam que o HMD-RV proporciona uma percepção significativamente maior de presença em comparação com o Monitor de Computador e o HMD-RA, que não apresentaram diferenças significativas entre si. Já o teste *post-hoc* de Tukey para a naturalidade dos movimentos do personagem pode ser visto na Tabela L.2.

Tabela L.2 – Teste *Post-hoc* Tukey para Naturalidade dos movimentos dos personagens

Grupo1	**Grupo2**	**Dif. médias**	**p-ajustado**	**Inferior**	**Superior**	**Rejeita**
Monitor	HMD-RA	0.1101	0.3621	-0.0797	0.2999	Não
Monitor	HMD-RV	-0.2326	0.0114	-0.4223	-0.0428	**Sim**
HMD-RA	HMD-RV	-0.3426	0.0001	-0.5324	-0.1528	**Sim**

Fonte: Elaborado pelo autor.

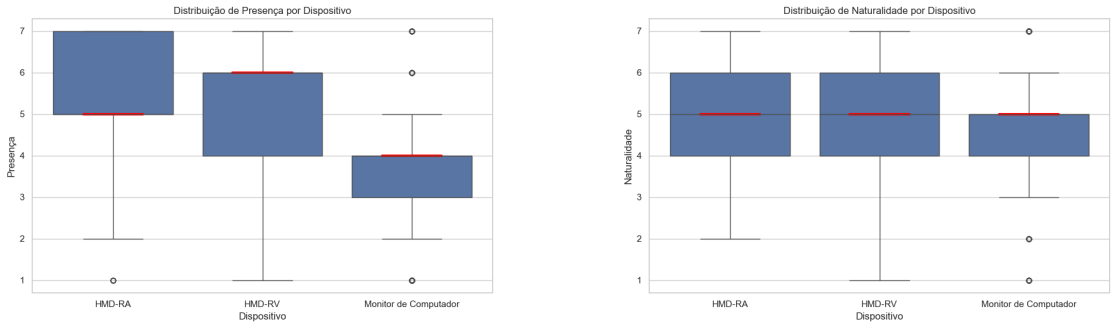
Os resultados indicam que o HMD-RV proporciona uma percepção significativamente maior de naturalidade dos movimentos em comparação com o Monitor de Computador e o HMD-RA, que não apresentaram diferenças significativas entre si.

Comparando todos os resultados, pode-se concluir que esses resultados indicam que o HMD-RV proporciona uma percepção significativamente maior tanto de presença quanto de naturalidade dos movimentos em comparação com o Monitor de Computador e o HMD-RA, que não apresentaram diferenças significativas entre si em ambos os aspectos.

L.3 GRÁFICOS BOXPLOTS

A Figura D.1 apresenta os Boxplots da presença percebida pelos usuários e da naturalidade dos movimentos dos personagens, em relação aos dispositivos.

Figura L.1 – Distribuição da Presença e Naturalidade dos Movimentos por Dispositivos



(A) (B)

Em (A), o gráfico mostra a distribuição da presença percebida pelos usuários; em (B), o gráfico apresenta a naturalidade dos movimentos dos personagens.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O gráfico boxplot apresentado, em (A), compara a percepção de presença entre os três dispositivos utilizados: HMD-RA, HMD-RV e Monitor de Computador. Observa-se que a mediana da percepção de presença é mais alta para os dispositivos HMD-RA e HMD-RV em comparação com o Monitor de Computador. Especificamente, o HMD-RA exibe uma mediana de presença ligeiramente superior ao HMD-RV, enquanto o Monitor de Computador apresenta a menor mediana, indicando que os participantes sentiram-se menos presentes ao usar este dispositivo. Além disso, o Monitor de Computador mostra uma maior dispersão dos dados, com alguns *outliers*, sugerindo variabilidade na experiência de presença entre os usuários. Estes resultados sugerem que os dispositivos HMDs proporcionam uma experiência de presença mais consistente e imersiva do que o Monitor de Computador.

Já em (B), observa-se que as medianas da percepção de naturalidade são semelhantes para os dispositivos HMD-RA e HMD-RV, ambos situando-se no valor 5, sugerindo uma percepção consistente de naturalidade entre esses dois dispositivos. Por outro lado, o Monitor de Computador apresenta uma média de responstas concentradas na faixa mais baixa, próxima a 4, indicando que os participantes perceberam uma menor naturalidade dos movimentos ao utilizar este dispositivo. Além disso, a dispersão dos dados é mais pro-

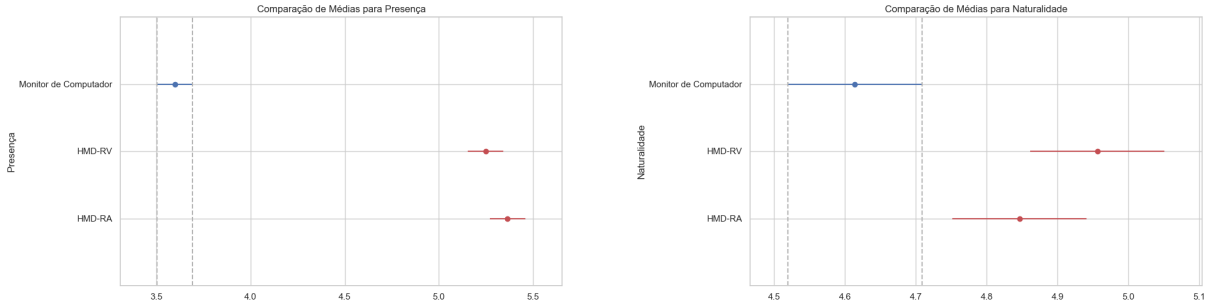
nunciada no Monitor de Computador, evidenciada por uma maior amplitude interquartil e a presença de *outliers*, o que sugere uma variabilidade maior na experiência dos usuários em relação à naturalidade dos movimentos. Estes resultados indicam que os dispositivos HMDs são percebidos como mais naturais em comparação ao Monitor de Computador, que proporciona uma experiência de menor naturalidade e maior variabilidade na percepção dos participantes.

De forma geral, esses resultados reforçam que os dispositivos de visualização interferem significativamente nas percepções dos usuários quanto a presença e naturalidade de movimentos. Os HMDs tendem a ser associados a percepções mais positivas de presença e maior naturalidade de movimentos, enquanto a visualização por monitor não acentua as percepções da mesma forma.

L.4 GRÁFICOS DAS MÉDIAS COM INTERVALOS DE CONFIANÇA

A Figura L.2 em (A) demonstra as médias da percepção de presença indicada pelos usuários, nos diferentes dispositivos utilizados neste experimento.

Figura L.2 – Médias de Presença percebida pelos usuários e Naturalidade dos movimentos por Dispositivos



(A) (B)

Em (A), o gráfico mostra as médias da percepção de presença indicada pelos usuários; em (B), o gráfico apresenta as médias da naturalidade dos movimentos dos personagens.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em (A), podemos observar que o Monitor de Computador possui uma média de presença significativamente menor, posicionada mais à esquerda, enquanto os dispositivos HMD-RV e HMD-RA possuem médias mais altas e próximas entre si, posicionadas à direita. A ausência de sobreposição entre os intervalos de confiança dos dispositivos

HMDs e do Monitor de Computador indica uma diferença significativa na percepção de presença, confirmando que os HMDs proporcionam uma experiência de presença mais intensa em comparação ao Monitor de Computador. Além disso, como os intervalos de confiança dos dispositivos HMD-RV e HMD-RA se sobrepõem, isso sugere que não há uma diferença significativa entre esses dois dispositivos na percepção de presença.

Em se tratando da Estranheza dos personagens, a Figura D.2 em (B) apresenta as médias com intervalos de confiança por dispositivos avaliados pelos usuários.

Já em (B), é possível observar que o Monitor de Computador possui a menor média de naturalidade dos movimentos dos personagens, com seu intervalo de confiança posicionado mais à esquerda. Os dispositivos HMD-RV e HMD-RA apresentam médias mais altas, localizadas à direita do gráfico, com o HMD-RV ligeiramente superior ao HMD-RA. A ausência de sobreposição entre o intervalo de confiança do Monitor de Computador e os dos dispositivos HMDs indica que há uma diferença significativa na percepção de naturalidade dos movimentos dos personagens, com os HMDs sendo percebidos como mais naturais. A diferença entre HMD-RV e HMD-RA, embora menor, ainda indica uma preferência por HMD-RV, sugerindo que este dispositivo proporciona uma experiência ligeiramente mais natural em comparação ao HMD-RA.

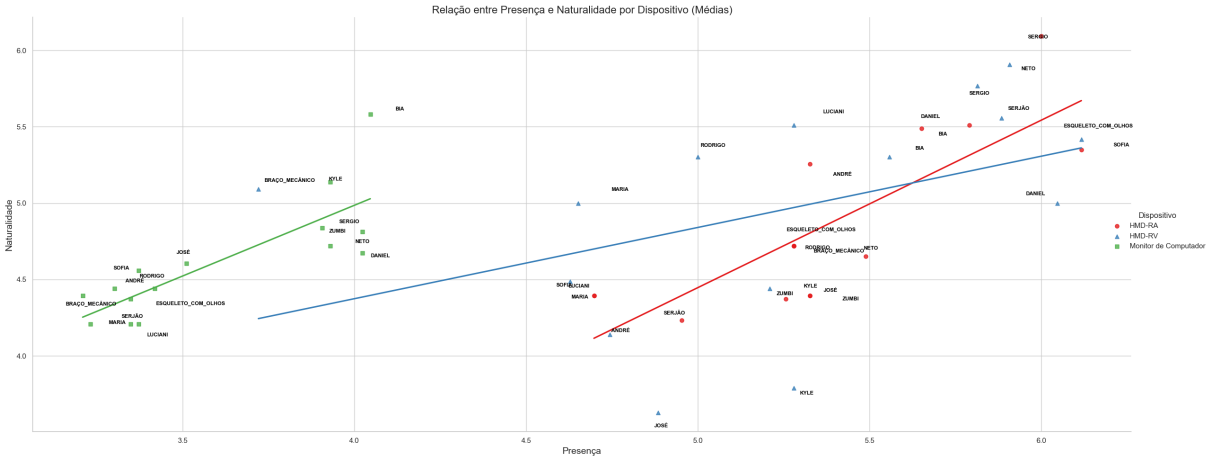
A conclusão que pode-se ter dos resultados das médias sugere que os dispositivos HMDs (HMD-RV e HMD-RA) proporcionam uma experiência significativamente melhor em termos de percepção de presença pelos usuários e naturalidade dos movimentos dos personagens em comparação ao Monitor de Computador. Entre os HMDs, o HMD-RV é ligeiramente superior ao HMD-RA em termos de naturalidade, mas ambos são percebidos de forma similar em relação à presença. Isso indica que, para uma experiência mais imersiva e natural, os HMDs são preferíveis ao Monitor de Computador, com o HMD-RV oferecendo uma leve vantagem em naturalidade.

L.5 GRÁFICO DE DISPERSÃO E REGRESSÃO

Na Figura L.3 são apresentados os dados de dispersão e regressão da Presença percebida pelos usuários vs Naturalidade dos movimentos dos personagens em relação aos dispositivos.

Os resultados indicam que há uma correlação positiva entre presença e naturalidade em todos os dispositivos, mas com variações na inclinação e dispersão dos dados. Para o HMD-RA, os personagens têm uma percepção de presença e naturalidade ligeiramente mais elevada em comparação aos outros dispositivos, conforme a linha de tendência

Figura L.3 – Dispersão e Regressão da Presença percebida pelos usuários vs Naturalidade dos movimentos dos personagens em relação aos dispositivos



Fonte: Elaborado pelo autor.

mais inclinada. O HMD-RV também mostra uma correlação positiva, mas com menor variação, enquanto o Monitor de Computador exibe a menor inclinação, sugerindo que a percepção de naturalidade e presença é menos impactante ou mais uniforme nesse dispositivo.

No geral, personagens apresentados nos dispositivos HMD tendem a ter uma percepção mais elevada de presença e naturalidade em relação ao Monitor de Computador, o que pode ser observado pelos agrupamentos de pontos nos quadrantes superiores do gráfico para HMD-RA e HMD-RV. Isso reforça a ideia de que os dispositivos HMD são mais eficazes em fornecer experiências mais imersivas e naturais.

L.6 CONCLUSÕES DO EXPERIMENTO

Os resultados sugerem que os dispositivos HMDs, particularmente o HMD-RV, são superiores ao Monitor de Computador na criação de uma experiência imersiva e natural para os usuários. Isso destaca a importância de considerar a escolha do dispositivo ao desenvolver aplicações e experiências que dependem de uma forte sensação de presença e movimentos naturais, especialmente em contextos onde a imersão é crucial.