



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE ARTES E COMUNICAÇÃO
DEPARTAMENTO DE DESIGN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

Helda Oliveira Barros

**ESTUDO DE CONCORDÂNCIA SOBRE A INTERAÇÃO COM ARTEFATOS
FÍSICOS E VIRTUAIS: Um Estudo Aplicado à Validação do Teste Virtual de Destreza
Manual Box and Blocks com Usuários sem Deficiência**

Recife
2017

HELDA OLIVEIRA BARROS

**ESTUDO DE CONCORDÂNCIA SOBRE A INTERAÇÃO COM ARTEFATOS
FÍSICOS E VIRTUAIS: Um Estudo Aplicado à Validação do Teste Virtual de Destreza
Manual Box and Blocks com Usuários sem Deficiência**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Design da Universidade Federal de Pernambuco, para obtenção do grau de Doutor (a) em Design, sob a orientação do Prof. Fábio Campos, D.Sc.

Recife

2017

Catálogo na fonte
Bibliotecário Jonas Lucas Vieira, CRB4-1204

B277e Barros, Helda Oliveira
Estudo de concordância sobre a interação com artefatos físicos e virtuais: um estudo aplicado à validação do teste virtual de destreza manual *box and blocks* com usuários sem deficiência / Helda Oliveira Barros. – Recife, 2017.
189 f.: il., fig.

Orientador: Fabio Ferreira da Costa Campos.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Artes e Comunicação. Design, 2017.

Inclui referências e apêndices.

1. Realidade virtual. 2. Usabilidade para sistemas virtuais. 3. Reabilitação virtual. 4. Destreza manual. I. Campos, Fabio Ferreira da Costa (Orientador). II. Título.

745.2 CDD (22. ed.) UFPE (CAC 2017-229)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA
DE DEFESA DE TESE DE
DOUTORADO ACADÊMICO DE

Helda Oliveira Barros

"Estudo de Concordância sobre a Interação com Artefatos Físicos e Virtuais: Um Estudo Aplicado à Validação do Teste Virtual de Destreza Manual *Box and Blocks* com Usuários sem Deficiência."

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Planejamento e Contextualização de Artefatos.

A comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, considera o(a) candidato(a) **Helda Oliveira Barros** APROVADA .

Recife, 31 de julho de 2017.

Prof. Walter Franklin Marques Correia (UFPE)

Prof^a. Laura Bezerra Martins (UFPE)

Prof. Ney Brito Dantas (UFPE)

Prof^a. Daniella Araújo de Oliveira (UFPE)

Prof. Felipe Santana Furtado Soares (CESAR)

Dedico esta tese às minhas filhas

Nicole, Beatriz e Valentina

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a Deus e à Nossa Senhora por terem me abençoado, guiado, protegido e iluminado em todos os meus caminhos.

Agradeço imensamente à minha família, meu alicerce, minha vida! Em especial, a Fábio Henrique Cavalcanti, à minha mãe Edna Barros e às minhas três filhas - Nicole, Beatriz e Valentina.

Agradeço imensamente ao meu orientador Prof. Dr. Fábio Campos, que eu tanto respeito e admiro. É uma honra ser uma "aluna sem solução de continuidade"!

Agradeço aos professores Daniella Araújo, Felipe Furtado, Walter Correia, Ney Dantas e Laura Bezerra pelas contribuições valiosas e pelos elogios ao trabalho.

Agradeço a Angélica Acioly, Eduardo Oliveira, Anthony Lins, Breno Carvalho, Henrique Gonçalves, Pedro Barbosa Queiroz e Ícaro Correia pela parceria na execução do projeto e apoio acadêmico e científico.

Agradeço ao Prof. Ulisses Montarroyospela análise estatística criteriosa dos resultados.

Por fim, agradeço a toda a equipe do CESAR pela gentileza infinita durante toda a pesquisa.

“Existem momentos na vida onde a questão do saber se pode pensar diferentemente do que se pensa. E perceber diferentemente do que se vê, é indispensável para continuar a olhar ou a refletir”.

Michel Foucault

RESUMO

Uma das motivações para o uso da realidade virtual é a oportunidade de inserir o usuário em uma interface simulada controlada, capaz de proporcionar relevantes vivências sensório-motoras. O controle simultâneo de estímulos multimodais, através da inserção das variáveis visuais, auditivas, táteis, cognitivas e cinestésicas em um sistema virtual pode proporcionar efetivas soluções de análise diagnóstica em reabilitação. A presente pesquisa teve como objetivo realizar um estudo de concordância da interação com artefatos físicos e virtuais. Para isto, utilizou-se como tarefa modelo o teste *Box and Blocks*, que é considerado mais simples e popular teste de função manual usado no mundo. Foram realizados 1.620 testes, sendo 720 testes físicos e 900 virtuais entre formas imersivas e não imersivas; coletados com os 30 voluntários sem alteração da destreza manual que concluíram toda a pesquisa. Foram analisados os resultados quantitativos dos testes *Box and Blocks* físicos e virtuais e os requisitos de usabilidade utilizados para a criação das aplicações interativas. Os testes virtuais foram criados com base em heurísticas voltadas à realidade virtual e na abordagem de construção de serious games baseados em realidade virtual para saúde. Os testes virtuais imersivos foram totalmente compatíveis com os resultados físicos encontrados nesta pesquisa e com os resultados de referência da literatura. Os testes virtuais não imersivos de visão anterior apresentaram compatibilidade após treino prévio, que possibilitou o aprendizado da tarefa virtual. A realidade virtual pode ser inserida como uma ferramenta de avaliação da destreza manual, desde que sejam cumpridos os requisitos de usabilidade e que sejam respeitadas as necessidades de sistemas voltados para avaliação, análise diagnóstica e reabilitação funcional humana.

Palavras-chave: Realidade virtual. Usabilidade para Sistemas Virtuais. Reabilitação virtual. Destreza Manual

ABSTRACT

One of the motivations for using virtual reality is the opportunity to insert the user into a simulated controlled interface, capable of providing relevant sensory-motor experiences. Simultaneous control of multimodal stimuli by inserting visual, auditory, tactile, cognitive and kinesthetic variables into a virtual system can provide effective solutions for diagnostic analysis in rehabilitation. The present research had as objective to perform a concordance study of the interaction with physical and virtual artifacts. For this, the Box and Blocks test, which is considered the most simple and popular manual function test used in the world, was used as model task. There were 1.620 tests, 720 physical tests and 900 virtual immersive and non-immersive forms; collected with the 30 volunteers without altering the manual dexterity that concluded all the research. We analyzed the quantitative results of physical and virtual Box and Blocks tests and the usability requirements used to create the interactive applications. The virtual tests were created based on virtual reality heuristics and the approach to building serious games based on virtual reality for health. The immersive virtual tests were fully compatible with the physical results found in this research and with the literature reference results. The non-immersive virtual tests of previous vision showed compatibility after previous training, which enabled the learning of the virtual task. Virtual reality can be inserted as a manual dexterity assessment tool, provided that the usability requirements are met and the needs of systems for evaluation, diagnostic analysis and human functional rehabilitation are respected.

Keywords: Virtual reality. Usability for Virtual Systems. Virtual Rehabilitation. Manual dexterity.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultados do teste Box and Block aplicados a homens sem deficiência por Mathiowetz et al (1985)	57
Tabela 2. Resultados do teste Box and Block aplicados a mulheres sem deficiência por Mathiowetz et al (1985)	57
Tabela 3. Resultados do teste Box and Block quanto a sexo e lateralidade por Mathiowetz et al (1985)	58
Tabela 4. Resultados do teste Box and Block aplicados a homens sem deficiência por Mendes et al (2001)	59
Tabela 5. Resultados do teste Box and Block aplicados a mulheres sem deficiência por Mendes et al (2001)	59
Tabela 6. Resultados do teste Box and Block quanto a sexo e lateralidade por Mendes et al (2001)	60
Tabela 7. Abordagem para construção do <i>serious game</i>	65
Tabela 8. Correlação entre heurísticas e abordagem de <i>serious games</i>	74
Tabela 9. Arranjo experimental e denominação dos setups	88
Tabela 10. Divisão dos grupos por ordem de aplicação dos testes e intervalo entre as sub-etapas	105
Tabela 11. Perfil da Amostra	112
Tabela 12. Comparação dos resultados dos testes físicos com Mathiowetz et al (1985) – Mão direita	122
Tabela 13. Comparação dos resultados dos testes físicos com Mathiowetz et al (1985) – Mão esquerda	123
Tabela 14. Comparação dos resultados dos testes físicos com Mendes et al (2001) – Mão direita	126
Tabela 15. Comparação dos resultados dos testes físicos com Mendes et al (2001) – Mão esquerda	127
Tabela 16. Diferença média do número de blocos das réplicas - Imersivo	135
Tabela 17. P-valor da significância na diferença média do número de blocos máximo entre os setups físicos (convencionais e ergonômicos) no dia 1 e os virtuais não imersivos (anterior monitor, anterior TV, superior monitor e superior TV), e o virtual imersivo – mãos direita e esquerda (Computador 1 e 2)	138
Tabela 18. P-valor da significância na diferença média do número de blocos máximo entre os setups físicos (convencionais e ergonômicos com 30 usuários) no dia 1 e os virtuais não imersivos (anterior monitor, anterior TV,	140

superior monitor e superior TV), e o virtual imersivo – mãos direita e esquerda (Computador 1 e 2)

Tabela 19. P-valor da significância na diferença média da primeira medida dos setups físicos (convencionais e ergonômicos com usuários do grupo 2 - 15 a 30) no dia 1 com a média do número de blocos máximo dos setups virtuais imersivo e não imersivos (anterior monitor, anterior TV, superior monitor e superior TV) – mãos direita e esquerda (apenas o computador 2) 143

Tabela 20. P-valor da significância na diferença média entre a primeira medida dos setups físicos (convencionais e ergonômicos com usuários do grupo 2 - 15 a 30) no dia 1 com a média da primeira medida dos setups virtuais imersivo e não imersivos (anterior monitor, anterior TV, superior monitor e superior TV) – mãos direita e esquerda (apenas o computador 2) – mãos direita e esquerda (apenas o computador 2) 145

Tabela 21. P-valor da significância na diferença média entre a primeira medida dos setups físicos (convencionais e ergonômicos com usuários do grupo 2 - 15 a 30) no dia 1 com a média da primeira medida dos setups virtuais imersivo e não imersivos (anterior monitor, anterior TV, superior monitor e superior TV) – mãos direita e esquerda (apenas o computador 2) – mãos direita e esquerda (apenas o computador 2) 147

Tabela 22. Comparação dos resultados dos testes não imersivos com os resultados dos físicos de Mathiowetz et al (1985) – Mão direita 148

Tabela 23. Comparação dos resultados dos testes não imersivos com os resultados dos físicos de Mathiowetz et al (1985) – Mão esquerda 149

Tabela 24. Comparação dos resultados dos testes não imersivos com os resultados dos físicos de Mendes et al (2001) – Mão direita 151

Tabela 25. Comparação dos resultados dos testes não imersivos com os resultados dos físicos de Mendes et al (2001) – Mão esquerda 152

Tabela 26. Comparação dos resultados dos testes imersivos com os resultados dos físicos de Mathiowetz et al (1985) – Mãos direita e esquerda 155

Tabela 27. Comparação dos resultados dos testes imersivos com os resultados dos físicos de Mendes et al (2001) – Mãos direita e esquerda 157

Tabela 28. Resultados estatísticos sobre a heurística ‘Presença’ 165

Tabela 29. Resultados estatísticos sobre a heurística ‘Engajamento Natural’ 165

Tabela 30. Resultados estatísticos sobre a heurística ‘Expressão Natural da Ação’ 166

Tabela 31. Resultados estatísticos sobre a heurística ‘Compatibilidade da Tarefa’ 166

Tabela 32. Resultados estatísticos sobre a heurística ‘Coordenação Ação / 167

Representação'

Tabela 33. Resultados estatísticos sobre a heurística 'Reação Realista'	167
Tabela 34. Resultados estatísticos sobre a heurística 'Pontos de Vista Fíéis'	168
Tabela 35. Resultados estatísticos sobre 'Satisfação'	168
Tabela 36. Resultados estatísticos com a pontuação total dos questionários de usabilidade	169
Tabela 37. Categorias dos pontos positivos e negativos	171

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Diferenças na média no número de blocos máximos entre os dias 1 e 2 no setup convencional e ergonômico, mão direita, segundo o intervalo de tempo	115
Gráfico 2. Diferenças na média no número de blocos máximos entre os dias 1 e 2 no setup convencional e ergonômico, mão esquerda, segundo o intervalo de tempo	116
Gráfico 3. Diferença na média no número de blocos da primeira medida do dia 1 e número de blocos máximo no dia 2 no setup convencional e ergonômico, mão direita, segundo o intervalo de tempo	116
Gráfico 4. Diferença na média no número de blocos da primeira medida do dia 1 e número de blocos máximo no dia 2 no setup convencional e ergonômico, mão esquerda, segundo o intervalo de tempo	117
Gráfico 5. Diferença na média no número de blocos da primeira medida do dia 1 e número de blocos máximo no dia 1 no setup convencional e ergonômico, mão direita, segundo o intervalo de tempo	118
Gráfico 6. Diferença na média no número de blocos da primeira medida do dia 1 e número de blocos máximo no dia 1 no setup convencional e ergonômico, mão esquerda, segundo o intervalo de tempo	118
Gráfico 7. Diferença na média no número de blocos da primeira medida do dia 2 e número de blocos máximo no dia 2 no setup convencional e ergonômico, mão direita, segundo o intervalo de tempo	119
Gráfico 8. Diferença na média no número de blocos da primeira medida do dia 1 e número de blocos máximo no dia 1 no setup convencional e ergonômico, mão esquerda, segundo o intervalo de tempo	119
Gráfico 9. Diferença na média no número de blocos máximo no dia 1 e número de blocos na primeira medida do dia 2 no setup convencional e ergonômico, mão direita, segundo o intervalo de tempo	120
Gráfico 10. Diferença na média no número de blocos máximo no dia 1 e número de blocos na primeira medida do dia 2 no setup convencional e	121

ergonômico, mão esquerda, segundo o intervalo de tempo

Gráfico 11. Média da medida máxima do número de blocos entre os setups físicos (convencionais e ergonômicos com 30 usuários) no dia 1 e os virtuais não imersivos (anterior monitor, anterior TV, superior monitor e superior TV), e o virtual imersivo – Mão direita 136

Gráfico 12. Média da medida máxima do número de blocos entre os setups físicos (convencionais e ergonômicos com 30 usuários) no dia 1 e os virtuais não imersivos (anterior monitor, anterior TV, superior monitor e superior TV), e o virtual imersivo – Mão esquerda 137

Gráfico 13. Média da medida máxima do número de blocos entre os setups físicos (convencionais e ergonômicos com 30 usuários) no dia 2 e os virtuais não imersivos (anterior monitor, anterior TV, superior monitor e superior TV), e o virtual imersivo – Mão direita 139

Gráfico 14. Média da medida máxima do número de blocos entre os setups físicos (convencionais e ergonômicos com 30 usuários) no dia 2 e os virtuais não imersivos (anterior monitor, anterior TV, superior monitor e superior TV), e o virtual imersivo – Mão esquerda 139

Gráfico 15. Média da medida máxima da contagem do número de blocos entre os setups físicos (convencionais e ergonômicos com usuários do grupo 2 - 16 a 30) no dia 1 e os virtuais não imersivos (anterior monitor, anterior TV, superior monitor e superior TV), e o virtual imersivo – Mão direita 141

Gráfico 16. Média da medida máxima da contagem do número de blocos entre os setups físicos (convencionais e ergonômicos com usuários do grupo 2 - 16 a 30) no dia 1 e os virtuais não imersivos (anterior monitor, anterior TV, superior monitor e superior TV), e o virtual imersivo – Mão esquerda 142

Gráfico 17. Comparação da primeira medida dos dois setups físicos (convencionais e ergonômicos com usuários do grupo 2 - 16 a 30) no dia 1 e com a média do número de blocos máximo dos setups virtuais imersivo e não imersivos (anterior monitor, anterior TV, superior monitor e superior TV) – Mão direita 144

Gráfico 18. Comparação da primeira medida dos dois setups físicos 144

(convencionais e ergonômicos com usuários do grupo 2 - 16 a 30) no dia 1 e com a média do número de blocos máximo dos setups virtuais imersivo e não imersivos (anterior monitor, anterior TV, superior monitor e superior TV) – Mão esquerda

Gráfico 19. Comparação da primeira medida do físico no dia 1 146
(convencionais e ergonômicos com usuários do grupo 2 - 16 a 30) com a primeira medida dos virtuais (não imersivos – anterior monitor, anterior TV, superior monitor e superior TV, e imersivo) – Mão direita

Gráfico 20. Comparação da primeira medida do físico no dia 1 146
(convencionais e ergonômicos com usuários do grupo 2 - 16 a 30) com a primeira medida dos virtuais (não imersivos – anterior monitor, anterior TV, superior monitor e superior TV, e imersivo) – Mão esquerda

Gráficos 21 e 22. Resultados de memória de atenção nos setups de visão 170
anterior

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fatores que influenciam a sensação de presença no ambiente virtual	38
Figura 2. Modelo de reabilitação baseada em realidade virtual	52
Figura 3. Desenho padronizado da caixa de teste e da caixa de armazenamento utilizadas no teste <i>Box and Blocks</i>	55
Figura 4. Leap Motion	76
Figuras 5 e 6. Oculus Rift	77
Figura 7. Interface outgame não imersiva	81
Figura 8. Visão anterior do teste físico <i>Box and Blocks</i>	82
Figura 9. Visão anterior do teste virtual <i>Box and Blocks</i>	82
Figura 10. Visão superior do teste físico <i>Box and Blocks</i>	83
Figura 11. Visão superior do teste virtual <i>Box and Blocks</i>	83
Figura 12. Interface outgame imersiva	84
Figura 13. <i>Box and Blocks</i> imersivo, ambiente ‘sala de teste’	85
Figura 14. <i>Box and Blocks</i> imersivo, ambientes ‘sala de avaliação’ e ‘escritório’	85
Figura 15. <i>Box and Blocks</i> imersivo, ambiente ‘sala de estar’	86
Figura 16. <i>Box and Blocks</i> imersivo, elementos de personificação do ambiente virtual	86
Figura 17. Dimensões em metros para mesas utilizadas por pessoas com deficiência	89
Figura 18. Dimensões de cadeiras de rodas	89
Figura 19. Alturas na posição sentada, vista Sagital	90
Figuras 20 e 21. Posicionamento do membro superior no setup físico convencional	91
Figura 22. Posicionamento do membro superior no setup físico ergonômico	92

Figuras 23 e 24. Amplitude do ombro durante os testes físicos, convencional e ergonômico	92
Figuras 25 e 26. Ambientação do teste físico convencional	94
Figuras 27 e 28. Posicionamento do usuário no teste físico convencional, no início do teste e durante a ultrapassagem da divisória	94
Figura 29. Ambientação do teste físico ergonômico	96
Figura 30. Calibração do mobiliário no setup físico ergonômico	96
Figuras 31 e 32. Posicionamento do usuário no teste físico ergonômico, no início do teste e durante a ultrapassagem da divisória	97
Figura 33. Interação não imersiva do teste virtual na visão anterior	98
Figura 34. Interação não imersiva do teste virtual na visão superior	98
Figura 35. Ambientação do teste virtual não imersivo para a visão anterior	100
Figuras 36 e 37. Posicionamento do usuário no teste virtual não imersivo, visão anterior	101
Figuras 38 e 39. Ambientação e posicionamento do usuário no teste virtual não imersivo, visão superior	102
Figura 40. Ambientação do teste virtual imersivo	103
Figura 41. Posicionamento do usuário no teste virtual imersivo	104

LISTA DE SIGLAS

CESAR	Centro de Estudos e Sistemas Avançados do Recife
FM	Setup não imersivo de visão anterior com uso do monitor
FTV	Setup não imersivo de visão anterior com uso da televisão
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MMII	Membros Inferiores
MMSS	Membros Superiores
NR 17	Norma Regulamentadora da Ergonomia
NBR 9050	Norma Brasileira de Acessibilidade
OMS	Organização Mundial da Saúde
RV	Realidade Virtual
RA	Realidade Aumentada
TM	Setup não imersivo de visão superior com uso do monitor
TTV	Setup não imersivo de visão superior com uso da televisão
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UNICAP	Universidade Católica de Pernambuco
VI	Setup virtual imersivo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	Objetivos	22
1.1.1	Objetivo Geral	22
1.1.2	Objetivos Específicos	23
1.2	Hipótese	23
1.3	Justificativa	24
1.4	Metodologia Geral	26
1.4.1	Desenho Geral do Estudo	27
1.4.2	Descrição da Metodologia Geral	28
1.4.3	Estrutura da Tese	32
2	REFERENCIAL TEÓRICO E ESTADO DA ARTE	34
2.1	Interação e Usabilidade em Realidade Virtual	34
2.1.1	Design e Contextualização da Interação Virtual	35
2.1.2	Imersão e Percepção de Presença em Contextos Virtuais	36
2.1.3	Seleção de Entradas Multimodais e Dispositivos Hápticos	39
2.1.4	Avaliação de Usabilidade em Contextos Virtuais	40
2.1.4.1	Métodos de Avaliação de Usabilidade em Realidade Virtual	42
2.1.4.2	Heurísticas de Usabilidade Aplicadas à Realidade Virtual	44
2.2	Aplicações da Realidade Virtual em Reabilitação	46
2.2.1	Inovação em Reabilitação	48
2.2.2	Imersão e Presença em Reabilitação Virtual	49
2.2.3	Utilização de Estímulos Multimodais e Dispositivos Hápticos em Reabilitação Virtual	51
2.2.4	Aprendizado Motor na Reabilitação Virtual	51
2.3	Teste Box and Blocks	53
2.3.1	Procedimentos e Padronização do Teste	54
2.3.2	Validação e Resultados Encontrados	56
2.4	Serious Games Baseados em Realidade Virtual para Saúde	60
2.4.1	Abordagem de Construção de Serious Games em Saúde	63
3	MATERIAIS E MÉTODOS	66
3.1	Construção dos Testes Virtuais	67
3.1.1	Requisitos de Usabilidade Utilizados na Construção dos Testes Virtuais	68
3.1.2	Planejamento e Desenvolvimento dos Testes Virtuais	75
3.1.2.1	Planejamento da Aplicação Interativa	76

3.1.2.1.1	Roteiro da Aplicação Interativa.....	76
3.1.2.1.2	Conceituação Artística e Gráfica.....	78
3.1.2.1.3	CrITÉrios de Jogabilidade.....	78
3.1.2.1.4	Design da Interface.....	79
3.1.2.2	Desenvolvimento da Aplicação Interativa.....	80
3.1.2.2.1	Modelagem.....	80
3.1.2.2.2	Programação.....	87
3.2	Descrição das Etapas do Experimento	87
3.2.1	Descrição da Etapa Física.....	88
3.2.1.1	Ambientação do Teste Físico Convencional.....	93
3.2.1.2	Ambientação do Teste Físico Ergonômico.....	95
3.2.2	Descrição da Etapa Virtual Não-imersiva.....	97
3.2.2.1	Ambientação da Etapa Virtual Não-imersiva na Visão Anterior.....	100
3.2.2.2	Ambientação da Etapa Virtual Não-imersiva na Visão Superior.....	101
3.2.3	Descrição da Etapa Virtual Imersiva.....	102
3.2.3.1	Ambientação da Etapa Virtual Imersiva.....	103
3.2.4	Sequência de Realização do Experimento.....	104
3.2.5	Aplicação dos Testes Virtuais.....	105
3.3	Descrição do Estudo de Usabilidade	106
3.3.1	Elaboração do Questionário Baseado em Heurísticas.....	107
3.4	Caracterização da Amostra	108
3.4.1	CrITÉrios de Inclusão e Exclusão.....	108
3.5	Considerações Éticas	109
3.6	Descrição da Análise dos Resultados	109
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	110
4.1	Perfil da Amostra	111
4.2	Estudo de Concordância dos Testes Físicos	112
4.2.1	Resultados dos Testes Físicos Convencional e Ergonômico.....	113
4.2.2	Discussão dos Testes Físicos Convencional e Ergonômico.....	121
4.2.3	Conclusão dos Testes Físicos Convencional e Ergonômico.....	129
4.3	Estudo de Concordância entre os Testes Físicos e Virtuais	132
4.3.1	Resultados dos Testes Virtuais.....	132
4.3.2	Discussão dos Testes Virtuais.....	148
4.3.3	Conclusão dos Testes Virtuais.....	159
4.4	Estudo de Usabilidade dos Testes Virtuais	163

4.4.1	Resultados do Estudo de Usabilidade	164
4.4.2	Conclusões do Estudo de Usabilidade	173
5	CONCLUSÕES GERAIS E DESDOBRAMENTOS	177
5.1	Principais Achados	177
5.2	Principais Dificuldades	178
5.3	Considerações Finais	178
	REFERÊNCIAS	180
	APÊNDICE A – Questionário de Usabilidade.....	185
	APÊNDICE B – Ficha para Coleta dos Testes Físicos	188
	APÊNDICE C – Ficha para Coleta dos Testes Virtuais Não Imersivos	189
	APÊNDICE D – Ficha para Coleta dos Testes e Questionários Virtuais Imersivos.....	190

1 INTRODUÇÃO

Estudos sobre a reabilitação virtual (RV) vem sendo aplicados em todo o mundo. Ferramentas foram desenvolvidas para treino da deambulação dos pacientes com a doença de Parkinson, a fim de facilitar um padrão de marcha (MA et al, 2011); ambientes virtuais foram usados por crianças com paralisia cerebral para melhorar a percepção espacial e a operação de cadeiras de rodas motorizadas (GALVIN, LEVAC, 2011. SHARAN et al, 2012. YOU et al, 2005. FRASCARELLI et al, 2009); assim como para a recuperação funcional de pacientes acometidos por lesões espinhais (KIZONY et al, 2002), no tratamento da esclerose múltipla (CARPINELLA et al, 2009), no pós-operatório de cirurgias de mão e na reabilitação de pacientes com acidente vascular cerebral (ALAMRI et al, 2008. CAMEIRÃO et al, 2011. CONNELLY et al, 2010. CROSBIE et al, 2012. HENDERSON, KORNER-BITENSKY, LEVIN, 2007. JACK et al, 2001. JANG et al, 2005. HILTON et al, 2002. SISTO, FORREST, GLENDINNING, 2008. SUBRAMANIAN et al, 2007).

Resultados positivos foram descritos após o uso de realidade virtual para reabilitação de diversas doenças. Os relatos incluem a redução das deficiências, a melhora do desempenho das atividades do mundo real após o treinamento com um sistema de RV, a estimulação de redes cognitivas e um aumento da ativação de áreas motoras secundárias (ALAMRI et al, 2008. CONNELLY et al, 2010. JANG et al, 2005).

Em 2016, Donati et al divulgaram resultados surpreendentes em um programa de reabilitação de oito voluntários paraplégicos, submetidos a um sistema híbrido de realidade virtual imersiva, interação cérebro-máquina e robótica. Os autores descreveram resultados de recuperação funcional abaixo do nível da lesão medular, até então considerados impossíveis em indivíduos com lesão motora completa.

Uma das mais importantes motivações para o uso da realidade virtual é a oportunidade de inserir o usuário em uma interface simulada controlada, capaz de proporcionar relevantes vivências sensorio-motoras. O controle simultâneo de estímulos multimodais, através da inserção das variáveis visuais, auditivas, táteis, cognitivas e cinestésicas em um sistema de RV possui dois desdobramentos. O primeiro sobre o realismo do próprio ambiente virtual. Quanto mais adequada for a seleção de estímulos à natureza da interface, maior será a percepção de presença. O segundo sobre a análise do comportamento do usuário, pois o observador terá pleno domínio da quantidade de estímulo ofertada, dos intervalos de tempo de entrada de cada estímulo e, conseqüentemente, do período de mapeamento das respostas. Todos os fatores descritos – construção da interface, seleção de estímulos

multimodais e dos dispositivos de interação, análise da percepção e do comportamento do usuário - são permeados e balizados pela usabilidade do sistema.

Entretanto, apesar dos avanços e de inúmeros estudos envolvendo a reabilitação virtual, ainda são necessárias novas pesquisas para definir a relação entre aceitabilidade do usuário e à adequabilidade dos sistemas virtuais aos seus requisitos funcionais, sejam eles cognitivos ou motores.

Quando a usabilidade é utilizada desde o início do processo de desenvolvimento das aplicações interativas, o sistema torna-se mais propensos a corresponder às reais exigências da tarefa e a evitar a produção de normas e princípios para desenvolvimento de interfaces que não fazem sentido para o usuário com deficiência (BOWMAN, GABBARD, 2002).

Em sistemas destinados à saúde, os preceitos do Design Inclusivo devem ser amplamente correspondidos, envolvendo os requisitos de usabilidade e abrangendo o maior espectro de deficiências. Este conceito é essencial para a reabilitação de múltiplas variáveis funcionais, entretanto, torna o projeto do ambiente virtual ainda mais complexo.

Diante do exposto, a presente pesquisa teve como objetivo estudar e comparar a interação dos usuários com sistemas virtuais voltadas para a área da saúde. Para isto, utilizou-se como tarefa modelo o teste *Box and Blocks*. Esse teste foi criado e validado por Mathiowetz et al. em 1985, nos Estados Unidos, e é considerado mais simples e popular teste de função manual usado no mundo. Foi escolhido por configurar uma tarefa simples e fácil de ser replicada em formas virtuais imersivas e não-imersivas.

Em 1985, este teste foi aplicado a 628 adultos sem nenhum tipo de deficiência declarada, objetivando validar a ferramenta e criar parâmetros de normalidade. Igualmente, o presente estudo incluiu apenas indivíduos sem deficiência para validar o teste virtual. No futuro, dar-se-á continuidade à pesquisa e serão incluídos voluntários com redução das habilidades de destreza manual.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Realizar um estudo de concordância da interação com artefatos físicos e virtuais, tendo como tarefa modelo o teste de destreza manual *Box and Blocks*.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Propor e analisar a influência da adequação ergonômica sobre os aspectos qualitativo e quantitativos da interação do usuário com o teste *Box and Blocks* físico;
- Selecionar, aplicar e avaliar os requisitos de usabilidade adequados a sistemas virtuais voltados para saúde, incluindo características objetivas de construção do teste *Box and Blocks* virtual e aspectos subjetivos de percepção do usuário;
- Desenvolver um sistema virtual voltado para a avaliação da destreza manual, contemplando formas imersivas e não-imersivas do teste modelo *Box and Blocks*;
- Observar a influência do aprendizado da tarefa na performance do usuário em contextos físicos e virtuais, considerando os resultados quantitativos dos testes *Box and Blocks*;
- Validar um modelo virtual para futura aplicação a usuários com deficiência dos métodos de avaliação da destreza manual, considerando os requisitos de funcionalidade motora e usabilidade do sistema, no âmbito plural da correlação entre reabilitação e design.

1.2 Hipótese

A realidade virtual configura-se como um relevante sistema de interação para o usuário com ou sem deficiência declarada, podendo agregar recursos aplicáveis na pesquisa cinético-funcional e tratamento de diversas afecções e substituir tarefas físicas adequadas e programadas para promover saúde.

Os resultados encontrados na interação com sistemas virtuais dependem diretamente dos requisitos de usabilidade previamente atendidos, do claro conhecimento das necessidades dos usuários, da correta definição de tarefas voltadas para a promoção de saúde e da adequada seleção dos dispositivos hápticos e dos estímulos multi-modais. Assim, proporciona-se maior realismo ao sistema e o fornecimento ponderado de inputs e feedbacks para o usuário.

1.3 Justificativa

A realidade virtual(RV) é uma tecnologia de computação que possibilita a interação com ambientes tridimensional e pode conter algumas soluções para a reabilitação. As tecnologias virtuais podem ser utilizadas para produzir ambientes em que a prática de feedback e o desempenho podem ser manipulados para fornecer treinos motores adaptados (JANG et al, 2005).

A área de reabilitação virtual pode ser abordada para treinar o paciente visando à recuperação de movimentos perdidos, bem como avaliar e reabilitar processos cognitivos como a percepção visual, a atenção e a memória. Para isto, os sistemas devem incluir o realismo visual e a interação intuitiva, permitindo ao usuário concentrar-se em uma tarefa especialmente voltada para sua recuperação funcional (NUNES et al, 2011).

O uso da RV surgiu em um esforço para promover a tarefa de treinamento de movimento orientado e repetitivo de novas habilidades motoras, usando os estímulos virtuais multimodais (CAMEIRÃO et al, 2011).Jang et al (2005), ressaltam ainda que a intervenção terapêutica com jogos e exercícios virtuais interativos pode ser mais agradável e mais motivadorque a terapia convencional.

O sistema nervoso central não é capaz de distinguir as vivências sensório-motoras e as experiências relacionais ocorridas no mundo real e em ambientes virtuais. Durante a imersão, o aprendizado supera o limite da mente cognitiva suportada pela corporalidade sensório-motora, permitindo a análise integral do sujeito em um ambiente de variáveis controladas (RESNIK et al, 2011. UEKI et al, 2012).

Assim, o uso da RV promove o treinamento orientado e repetitivo de novas habilidades motoras, usando ambiente multimodal estimulante. Suas principais vantagens são a repetição e o feedback sobre a performance e a motivação. Este potencial para avaliar o desempenho do paciente, através da medição de diferentes parâmetros, os quais não podem ser avaliadas na reabilitação tradicional, pode ser um benefício para os pacientes e profissionais terapeutas (ALAMRI et al, 2008).

Além disso, a tecnologia RV deve fornecer feedback sensorial realístico para o usuário obter respostas cerebrais e comportamentais que podem ser generalizadas para situações equivalentes do mundo real (DI DIODATO et al, 2007). Os recursos multisensoriais de realidade virtual podem promover mudanças comportamentais, melhorar a plasticidade neural e favorecer o desempenho e o aprendizado (SHARAN et al, 2012).

Como relaciona-se com o desenvolvimento das capacidades de observação, análise, planejamento, decisão, aplicação e avaliação, a RV revela-se como um recurso potente, uma vez que propicia a visualização, a interação e a resposta em tempo real (MA et al, 2011).

Os níveis de participação, satisfação, cooperação e fatores motivacionais apresentam-se significativamente maiores em RV, quando comparados à terapia convencional (SHARAN et al, 2012). Para Nunes e Costa (2008), os sistemas tridimensionais virtuais podem apoiar o tratamento de diferentes deficiências motoras e cognitivas, causadas por danos cerebrais, pois têm sido especialmente bem sucedidos em criar uma rica associação multissensorialnesses ambientes. Para Cardoso et al (2006), a RV é a maior evolução da relação entre homem e computadores em saúde.

No entanto, embora muito promissora, a RV ainda convive com problemas relacionados com a qualidade limitada das metodologias utilizadas e com o alto custo desta tecnologia (CROSBIE et al, 2012. BOWMAN, McMAHAN, 2007).

Para a construção do ambiente virtual, os recursos utilizados em imersão são: dispositivos áudio-visuais, que auxiliam a sensação de movimento e localização, as interfaces táteis, que produzem as sensações de forma, calor e textura, e a resposta cinestésica, que exigem utilização de força, além das percepções de pressão e vibração.

De acordo com Jack et al (2001), embora indivíduos treinados no ambiente virtual demonstrem a capacidade de melhorar o desempenho de suas tarefas motoras, a aprendizagem nem sempre é transferida para o mundo real. Este conflito pode ser derivado das diferenças na percepção das habilidades motoras em ambientes reais versus virtuais, ou pode ser reflexo da atual escassez de investigações sobre o uso da realidade virtual em reabilitação. Crosbie et al (2012) afirmam ainda que a escassez de estudos aplicados à reabilitação é tão grave que este é o único estudo conhecido randomizado que relata a comparação entre um ensaio clínico de terapia baseada na realidade virtual para o membro superior e a terapia convencional naquele ano, na Irlanda e no Reino Unido.

Desta forma, pode-se afirmar que os experimentos sobre o aprendizado da tarefa motora e sua transferência do ambiente virtual para o meio real ainda não são totalmente compreendidos, nem totalmente conclusivos.

Assim, a presente pesquisa foi motivada por duas lacunas. A primeira refere-se à adequação entre as tarefas virtuais propostas para a reabilitação fisioterapêutica e a adequação dos sistemas aos usuários com deficiência. Encontram-se muitos dados acerca da reabilitação virtual que não incluem a necessária adequação da tarefa e que utilizam erradamente interfaces que não foram concebidas e pensadas para a saúde. O maior exemplo deste

equivoco é o uso de games lúdicos em reabilitação. A segunda lacuna deriva-se do pouco conhecimento dos aspectos de usabilidade de sistemas virtuais voltados para a saúde e, conseqüentemente, dos requisitos funcionais que afetam a percepção destes usuários.

Este estudo busca avaliar se a interação do usuário com artefatos físicos e virtuais, através dos aspectos objetivos de construção da interface virtual e da adequação ergonômica e dos aspectos subjetivos de percepção do usuário, pode ou não convergir para a mesma experiência. Para isto, serão considerados os resultados quantitativos dos setups propostos para as formas físicas e virtuais do teste *Box and Blocks* e os aspectos subjetivos da usabilidade dos sistemas virtuais, identificados pela pesquisadora durante a interação dos usuários com o sistema e coletados através do questionário baseado nas heurísticas de Sutcliffe e Gault (2004).

1.4 Metodologia Geral

Esta seção descreve a metodologia de trabalho, enquanto que a descrição dos métodos de pesquisa utilizados nos experimentos será apresentada no capítulo 3 deste trabalho.

Aqui, estão apresentadas as seguintes etapas metodológicas: Levantamento Bibliográfico, Abordagem para a Construção do Teste Virtual, Etapas do Experimento, Estudo de Usabilidade, Realização dos Testes, Caracterização da Amostra e a Descrição da Análise dos Resultados.

Para a melhor compreensão da metodologia geral utilizada nesta pesquisa, foi montado o esquema a seguir.

1.4.1 Desenho Geral do Estudo

Levantamento Bibliográfico e Estado da Arte	Interação e Usabilidade em Realidade Virtual	
	Aplicações da Realidade Virtual em Reabilitação	
	Apresentação do Teste <i>Box and Blocks</i>	
	<i>Serious Games</i> Baseados em Realidade Virtual para Saúde	
Construção do Teste Virtual	Planejamento da Aplicação Interativa	
	Desenvolvimento da Aplicação Interativa	
	Seleção e Adequação às Heurísticas	
Etapas do Experimento Descrição dos Setups e Ambientação dos Testes	Físico	Convencional
		Ergonômico
	Virtual Não-imersivo	Visão Anterior
		Visão Superior
	Virtual Imersivo	
Estudo de Usabilidade	Avaliação com Usuários Baseada em Heurísticas	
	Construção e Aplicação da Ferramenta de Análise	
Realização dos Testes Número de testes, sequenciamento das etapas e intervalos entre etapas	Físico	Convencional
		Ergonômico
	Virtual Não-imersivo	Visão Anterior
		Visão Superior
	Virtual Imersivo	
Caracterização da Amostra e Aplicações Éticas	Perfil	
	Critérios de Inclusão e Exclusão	
	Considerações Éticas	
Descrição da Análise dos Resultados	Análise Qualitativa Descritiva	
	Testes Estatísticos	

1.4.2 Descrição da Metodologia Geral

Inicialmente, foi realizado o levantamento bibliográfico da fundamentação teórica e do estado da arte abrangendo conhecimentos sobre usabilidade e interação em contextos virtuais e sobre a aplicação da realidade virtual em reabilitação. Considerando que houve a necessidade da criação do jogo utilizado nesta pesquisa, incluiu-se também o levantamento teórico sobre o desenvolvimento de *serious games* para a área da saúde e a descrição do teste de destreza manual *Box and Blocks*, teste físico validado por Mathiowetz et al (1985) que já é utilizado por profissionais da área de reabilitação (FURTADO, TAVARES, 2007. GUIMARÃES, BLASCOVI-ASSIS, 2012. MENDES, TILBERY, BALSIMELLI, MOREIRA, CRUZ, 2001. MICHAELSEN, OVANDO, NATALIO, MAZO, RODRIGUES, 2011).

A definição da tarefa que seria utilizada nos experimentos foi um importante passo metodológico. Foram considerados dois critérios: 1. a aplicabilidade da tarefa para reabilitação; 2. e a possibilidade de transformá-la em uma tarefa virtual. Para recriar virtualmente o teste *Box and Blocks*, foi desenvolvida uma aplicação interativa baseada na abordagem de construção de *serious games*. A abordagem utilizada englobou as etapas de planejamento e desenvolvimento do jogo, incluindo roteiro, conceituação artística e gráfica, especificações da tarefa, definição de regras e desafios, design da interface, requisitos para a modelagem e programação do software. Esta abordagem foi definida com base em cinco trabalhos voltados para a área da saúde (MACHADO, MORAES, NUNES, 2009. MACHADO, MORAES, NUNES, COSTA, 2011. MORAIS, MACHADO, VALENÇA, 2011. MORAES, MACHADO, NUNES, COSTA, 2012. COSTA, MACHADO, MORAES, 2014).

Para a construção da aplicação interativa, objetivou-se também cumprir com os requisitos de usabilidade propostos por Sutcliffe e Gault (2004). Os autores listaram doze heurísticas que foram adotadas como pré-requisito a elaboração do teste virtual e que incluem a compatibilidade entre tarefas e domínio do usuário, o realismo e expressão natural das ações com feedback fiel e coordenado do sistema, consistência e suporte à navegação e orientação espacial, o apoio para aprendizagem ativa e a análise da percepção de presença.

A partir dos requisitos adotados, o teste *Box and Blocks* foi selecionado para esta pesquisa por se tratar de uma tarefa simples, já validada para aplicação em saúde e fácil de ser recriada em uma concepção de *serious game*. Além disso, o fato do teste *Box and Blocks* configurar uma ferramenta de avaliação e não de exercício terapêutico foi mais um ponto

favorável para a sua escolha. É importante esclarecer que a presente pesquisa não tem o objetivo de analisar o uso da realidade virtual como proposta de cinesioterapia. O foco é observar a interação dos usuários com artefatos virtuais voltados e concebidos dentro dos requisitos necessários de aplicação em saúde, agregando conhecimento científico para que futuros projetos possam ser adequadamente definidos e aplicados em reabilitação.

Assim, uma vez que o teste *Box and Blocks* foi selecionado como objeto desta pesquisa, foi realizado um estudo sobre a sua aplicação e sobre os resultados encontrados pelos autores Mathiowetz et al (1985), responsáveis pela sua validação, e por Mendes et al (2001) que concluíram um amplo experimento com um perfil populacional brasileiro. Deste estudo, observaram-se as seguintes lacunas: 1. A primeira referente à descrição do mobiliário do próprio do teste físico. A falta de especificação dimensional demandou a realização de uma análise ergonômica e a sugestão de um setup que cumprisse com os requisitos de conforto e adequação biomecânica, previstos na Ergonomia; 2. A segunda sobre a rotina de aplicação do teste.

Os autores propõem a realização do teste como forma de quantificar o aumento da destreza manual em indivíduos com déficit funcional dos membros superiores submetidos a um programa de reabilitação. Apesar do teste ser utilizado como medida para verificação do sucesso do tratamento, não há nenhuma consideração sobre o aprendizado da tarefa e sua influência nos resultados encontrados. Assim, definiram-se as seguintes designações: 1. Foi proposto um segundo setup físico, chamado de setup ergonômico; 2. O experimento foi iniciado com o estudo comparativo dos dois setups físicos – o setup convencional proposto por Mathiowetz et al (1985) e o ergonômico, que é resultado da presente pesquisa; 3. Os testes foram aplicados em uma sequência de três repetições diárias e em dois dias de coleta, sendo a amostra dividida em três grupos, com intervalos entre o primeiro e o segundo dia de testes de uma, duas ou quatro semanas. A aplicação dos testes físicos nestes dois setups teve por dois objetivos: 1. Observar os resultados quantitativos atingidos pelos usuários comparando-os entre os resultados dos setups convencional e ergonômico e com os resultados encontrados por Mathiowetz et al (1985) e Mendes et al (2001); 2. Observar se havia aumento significativo do resultado quantitativo após a sequência de testes proposta, decorrente de aprendizado da tarefa.

Após a definição metodológica do teste físico, iniciou-se a seleção dos testes virtuais. O teste virtual *Box and Blocks* foi criado e aplicado em dois contextos – imersivo e não-imersivo. Os testes não imersivos contemplaram duas formas de visualização da caixa (*box*) virtual: anterior e superior, e incluíram o uso de um monitor 15" e de uma TV de 42". A partir

da definição das formas de visualização, os estudos sobre a definição dos setups virtuais não-imersivos foi iniciada e realizou-se um pré-teste.

Após a discussão dos resultados deste pré-teste, foram definidos quatro setups não-imersivos. Definidos os quatro setups, a pesquisa passou por mais um ponto decisório. Optou-se por subdividir os testes não-imersivos em dois grupos: 1. O primeiro grupo de quinze usuários realizou os testes das visões anterior e superior através do processamento de um notebook (Acer Aspire V5-471 series, modelo MS2360, processador Intel Celeron, 1T de memória RAM, Windows 8); 2. O segundo grupo, também com quinze usuários, realizou os testes com o mesmo computador utilizado com o Oculus Rift, selecionado a partir das especificações necessárias para uso em realidade virtual imersiva (desktop com processador Intel Core i5, placa de vídeo Nvidia GTX 970 / AMD, 8GB de memória RAM, Windows 7 x64). Ambos os computadores, foram conectados aos mesmos dispositivos de exibição (monitor 15" e de uma TV de 42"), alterando apenas o processamento do software. O objetivo foi verificar a possibilidade de desenvolver um sistema portátil, que pudesse ser facilmente transportado para qualquer unidade de saúde e ser levado até o paciente. Para esta análise, dois resultados foram considerados: 1. O comportamento quantitativo do teste, para isto foram considerados os resultados e a faixa de desvio percentual com o uso do primeiro computador; 2. Os resultados do estudo de usabilidade.

Para a realização do teste imersivo, foi definido um único setup, pois contemplou uma única forma de visualização, através do uso do Oculus Rift. Todos os setups virtuais propostos foram definidos de forma a se aproximar do dimensionamento do setup ergonômico, proposto nesta pesquisa. Para a realização dos testes imersivos foi utilizado um único computador (desktop com processador Intel Core i5, placa de vídeo Nvidia GTX 970 / AMD, 8GB de memória RAM, Windows 7 x64). Porém, para a análise dos resultados considerou-se os mesmos dois grupos dos testes não-imersivos. O objetivo foi verificar a influência da experiência não-imersiva prévia na interação com o sistema virtual imersivo.

Em seguida, foi definido o uso do dispositivo háptico para a captação dos movimentos das mãos dos usuários. Para a seleção do equipamento de interação, foram considerados três requisitos: 1. Aplicabilidade à tecnologia gestual, pois se trata de leitura de movimento das mãos, 2. Possuir baixo custo, de forma a facilitar a aquisição por profissionais de saúde e promover maior acesso ao sistema virtual proposto, e 3. Ser de fácil transporte, podendo ser utilizado em qualquer centro de saúde. Tendo por base os requisitos descritos, o Leap Motion foi selecionado e utilizado em todos os experimentos virtuais.

Os testes virtuais foram aplicados em cinco dias, e cada dia de teste contemplou um setup. Os testes também foram realizados em três réplicas. A aplicação dos testes virtuais nestes cinco setups teve três objetivos: 1. Observar os resultados quantitativos atingidos pelos usuários nos testes virtuais imersivos e não-imersivos, comparando-os entre os resultados dos setups físicos convencional e ergonômico, levantados nesta pesquisa, e com os resultados encontrados por Mathiowetz et al (1985) e Mendes et al (2001); 2. Observar se havia aumento significativo do resultado quantitativo após a sequência de testes proposta, decorrente de aprendizado da tarefa, 3. Observar se houve diferença na aproximação com os resultados dos testes físicos, decorrente de aprendizado do uso do sistema virtual.

Para a realização dos testes físicos, foram obedecidas fielmente as regras de orientação ao usuário, definidas por Mathiowetz et al (1985). Os testes virtuais também priorizaram estas orientações, existindo uma única ressalva definida após o pré-teste. No teste físico, os autores definiram um prazo de 15 segundos para treino e experimentação do teste. Este tempo é utilizado apenas para melhor conhecer o teste *Box and Blocks*, pois o comportamento dos objetos físicos dentro do contexto real já é conhecido pelos usuários. Para o uso dos sistemas virtuais, este prazo foi insuficiente, pois existe a necessidade de aprendizagem do comportamento do próprio sistema virtual. Assim, adotou-se o prazo de 1 minuto para treino e experimentação de todos os testes virtuais. O tempo expandido permitiu ao usuário alcançar melhor orientação espacial dentro do ambiente virtual, regular o posicionamento das suas mãos sobre o Leap Motion e experimentar a manipulação de objetos virtuais.

O último passo decisório foi a organização da avaliação de usabilidade realizada com os usuários em todas as formas virtuais, imersivas e não-imersivas. Para isto, foi aplicado um questionário baseado nas heurísticas de Sutcliffe e Gault (2004), utilizadas nesta pesquisa como requisitos de elaboração do sistema virtual. O critério de seleção das heurísticas analisadas foi a adequação à tarefa proposta. Foram contempladas as seguintes heurísticas: ‘Presença’, ‘Engajamento Natural’, ‘Expressão Natural da Ação’, ‘Compatibilidade da Tarefa’, ‘Coordenação Ação-representação’, ‘Reação Realista’ e ‘Pontos de Vista Fieis’. Além dessas heurísticas foram incluídos aspectos sobre satisfação, memória e atenção. O questionário possui vinte e duas perguntas fechadas escalonadas, para captar a intensidade das respostas dos usuários, e três perguntas abertas. Este questionário foi aplicado ao final do primeiro teste de cada setup virtual. A aplicação foi realizada como entrevista e observações foram registradas pela pesquisadora, sempre que necessário.

Após a finalização dos experimentos, foram realizados a descrição e discussão dos resultados dos testes *Box and Blocks* físicos e virtuais, incluindo a análise estatística dos dados quantitativos e a descrição qualitativa de comportamento do usuário. As perguntas fechadas dos questionários também foram analisadas estatisticamente. As perguntas abertas e as observações registradas pela pesquisadora foram analisadas e hierarquizadas por aproximação e incidência de resultados.

Por fim, foram descritos as conclusões sobre o estudo de concordância da interação dos usuários com os testes *Box and Blocks* físicos e virtuais, os desdobramentos da pesquisa e as orientações para trabalhos futuros.

1.4.3 Estrutura da Tese

Esta seção descreve como foi definida a estrutura geral da tese. A partir desta leitura, será possível compreender as etapas da pesquisa e a organização da coleta de dados e resultados. Esta tese foi dividida em seis capítulos, sendo que o primeiro capítulo referente à Introdução (capítulo atual).

O segundo capítulo corresponde ao referencial teórico e estado da arte. Tem por finalidade conceituar a temática da pesquisa elucidando a importância dos tópicos abordados. Este capítulo está subdividido nas seguintes seções: 1. 'Interação e Usabilidade em Realidade Virtual', que inclui conhecimentos teóricos sobre 'Design e Contextualização da Interação Virtual', 'Imersão e Presença em Contextos Virtuais', 'Seleção de Entradas Multimodais e Dispositivos Hápticos', e 'Avaliação da Usabilidade em Contextos Virtuais'; 2. 'Aplicações da Realidade Virtual em Reabilitação', que inclui 'Inovação em Reabilitação', 'Imersão e Presença em Reabilitação Virtual', 'Utilização de Estímulos Multimodais e Dispositivos Hápticos em Reabilitação Virtual', e 'Aprendizado Motor em Reabilitação Virtual'; 3. 'Teste *Box and Blocks*', que descreve ainda 'Procedimentos e Padronização do Teste', e 'Validação e Resultados Encontrados'; este capítulo se encerra com o tópico '*Serious Games* Baseados em Realidade Virtual para Saúde', que contempla o tópico 'Abordagem de Construção de *Serious Games* em Saúde'.

O terceiro capítulo inclui a descrição dos métodos e técnicas utilizados nesta pesquisa. Nesta seção, estão descritas as etapas físicas e virtuais, assim como a ambientação dos sete setups propostos: 1. Físico convencional; 2. Físico ergonômico; 3. Virtual não-imersivo na visão anterior com monitor; 4. Virtual não-imersivo na visão anterior com TV; 5. Virtual não-

imersivo na visão superior com monitor; 6. Virtual não-imersivo na visão superior com TV; e 7. Virtual imersivo. Encontram-se descritos também a construção das aplicações interativas, o estudo de usabilidade baseado nas heurísticas de Sutcliffe e Gault (2004) e o questionário criado para a avaliação com usuários. A caracterização da amostra, com a descrição dos critérios de inclusão e exclusão, e as considerações éticas fazem parte desta seção, que se encerra com a descrição dos resultados, incluindo a análise qualitativa descritiva e os testes estatísticos utilizados.

O quarto capítulo descreve e discute os resultados encontrados. Para isto, estão apresentados e discutidos os resultados encontrados na presente pesquisa, considerando a análise estatística e a descrição qualitativa comportamental. Para facilitar a discussão, os resultados foram divididos em três blocos: 1. Estudo de concordância entre os testes físicos – convencionais e ergonômicos; 2. Estudo de concordância entre os testes físicos – convencionais e ergonômicos, e virtuais – imersivos e não imersivos; 3. Estudo de usabilidade dos testes virtuais – imersivos e não imersivos. Para facilitar a leitura, a discussão de cada um desses blocos será apresentada logo após os resultados. A discussão inclui um estudo comparativo com os resultados descritos por Mathiowetz et al (1985) e Mendes et al (2001). Após a discussão, uma conclusão parcial será apresentada para cada bloco.

O quinto e último capítulo apresenta as conclusões da presente pesquisa. Este capítulo está dividido em três seções: ‘Principais Achados’, ‘Principais Dificuldades’ e ‘Considerações Finais’, incluindo as recomendações para estudos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO E ESTADO DA ARTE

O presente trabalho aborda três grandes áreas do conhecimento: ‘Realidade Virtual e suas Aplicações em Reabilitação’, ‘Usabilidade em Sistemas Virtuais’ e ‘*Serious Games* baseados em Realidade Virtual Aplicados à Saúde’. Para fundamentá-las, este capítulo apresenta as conceituações utilizadas, descreve os resultados de importantes autores e aponta as metodologias que permearam os métodos e técnicas definidos para esta pesquisa.

Assim, a primeira seção aborda a ‘Interação e Usabilidade em Realidade Virtual’, buscando esclarecer os seguintes conceitos: 1. Relacionados ao design de sistemas virtuais; 2. Às premissas de imersão e presença; 3. À importância dos estímulos multimodais na interação virtual; 4. Concluindo-se com a contextualização das ferramentas de avaliação usabilidade e a descrição das heurísticas de Sutcliffe e Gault (2004) selecionadas para este estudo.

A segunda seção aponta as ‘Aplicações da Realidade Virtual em Reabilitação’, incluindo os seguintes conceitos: 1. Relacionados à necessidade de inovação e das perspectivas futuras de uso de tecnologias emergentes em reabilitação; 2. Quanto ao uso das premissas de imersão, presença, navegação e multimodalidade em sistemas virtuais voltados para a reabilitação; 3. Concluindo-se com as evidências de aprendizado motor em reabilitação virtual.

A terceira apresenta o teste *Box and Blocks*. Para isto, serão descritos: 1. Os procedimentos e padronização definidos por Mathiowetz et al (1985), que validaram o teste físico; 2. O estudo realizado por Mendes et al (2001), único estudo representativo de uma população brasileira; 3. Os resultados encontrados nesses dois trabalhos, que serão confrontados com os resultados dos testes físicos e virtuais imersivos e não imersivos da presente pesquisa.

A quarta e última seção aborda o conceito de ‘*Serious Games* Baseados em Realidade Virtual para Saúde’, se concluindo com a apresentação da Abordagem para a Construção de *Serious Games* utilizada na presente pesquisa.

2.1 Interação e Usabilidade em Realidade Virtual

Nesta seção, estão apresentados os conceitos iniciais relacionados à realidade virtual e usabilidade e em suas implicações no design e contextualização da interação virtual. Este tópico aborda também as premissas de imersão e presença na navegação virtual e os requisitos

para a seleção de entradas multimodais, buscando descrever a importância da adequada escolha dos dispositivos hápticos. Conclui-se com as principais ferramentas de avaliação de usabilidade em contextos virtuais e com a apresentação das heurísticas de Sutcliffe e Gault (2004), selecionadas para esta pesquisa em função da sua aplicabilidade à realidade virtual.

A realidade virtual (RV) consiste no uso de um sistema computacional para interação com um ambiente artificial tridimensional (3D), no qual o usuário não está fisicamente inserido, mas que tem a sensação de estar. Suas aplicações simulam a realidade através do uso de dispositivos interativos bidirecionais, ou seja, enviam informações do sistema – inputs, e recebem feedback do usuário – outputs, que por sua vez tornam-se novos inputs para o sistema (REBELO et al, 2010).

A Usabilidade pode ser definida como facilidade de uso. Objetivamente, a análise da usabilidade de um sistema de realidade virtual inclui características quantificáveis como capacidade de aprendizado, velocidade e precisão do desempenho do usuário e a taxa de erro durante a realização de uma dada tarefa, e, subjetivamente, avalia a satisfação do usuário (BOWMAN, GABBARD, 2002). Porém, a grande justificativa do uso da RV é oportunidade de vivenciar experiências em um envoltório simulado controlado.

Para Takatalo, Nyman e Laaksonen (2008), a experiência humana pode ser formada por vivências ou por observação direta de um evento. Isto inclui estados mentais e corporais e está intimamente relacionada com percepções e sensações. Para que ela ocorra, é necessário a interação entre uma pessoa e seu entorno, seja ele físico ou virtual. O conteúdo da experiência é afetado pela memória e pelo conhecimento gerado em experiências anteriores, quando então a vivência é interpretada e ganha um significado de valor. Podendo desta forma aplicar-se e replicar-se entre contextos físicos e virtuais, pois existem padrões comuns em várias experiências.

Neste contexto, a investigação desses padrões em ambientes restritos, como os tridimensionais ambientes virtuais interativos, permite expandir o conhecimento a respeito de ambas as experiências subjetivas (físicas e virtuais) e orientar a criação de sistemas de RV, cada vez mais adaptados às reais necessidades dos usuários e mais responsivos quanto à adequabilidade das tarefas (TAKATALO, NYMAN, LAAKSONEN, 2008).

2.1.1 Design e Contextualização da Interação Virtual

Ambientes virtuais são construídos para representar o mundo real, as tarefas do usuário devem idealmente espelhar ações do contexto físico. A capacidade de interação

virtual dos usuários exige o mapeamento de ações reais e sua adequação às tecnologias disponibilizadas em realidade virtual (SUTCLIFFE, GAULT, 2004).

O uso de sistemas interativos deve considerar os aspectos subjetivos da realização das tarefas, como percepção do usuário e fidelidade das ações, presentes em contextos físicos. Segundo Sutcliffe e Gault (2004), os sistemas devem garantir que exista a máxima aproximação da tarefa realizada em contexto real - promovendo um engajamento natural do usuário; a compatibilidade entre tarefa e domínio do usuário - correspondendo sempre que possível a suas expectativas; a expressão natural da ação do usuário - sem provocar restrições de movimentos ou constrangimentos biomecânicos; a adequada representação visual das ações dos sujeitos - de forma a não provocar efeitos adversos como cefaleia, náusea, vertigem ou diplopia; e o respeito ao comportamento dos objetos - já previstos nas leis da física, como a ação da gravidade e os padrões de ação/reação que se manifestam no deslocamento e na colisão de artefatos virtuais.

Outro aspecto de grande relevância é o meio físico em que o sistema virtual é instalado. Portanto, o avaliador deve garantir que o usuário não vai esbarrar em paredes ou outros objetos físicos, enrolar-se em cabos ou se mover fora do alcance do dispositivo de rastreamento, gerando inputs que não estão presentes no sistema virtual no qual o usuário está inserido (BOWMAN, GABBARD, 2002).

Outra questão é a forma como o avaliador se coloca em análises que consideram a sensação de presença, especialmente nos casos de contextos imersivos. O avaliador não deve falar ou tocar no usuário, para não dar a ele um feedback que não consta no sistema de interação. Portanto, o avaliador não deve intervir durante todo o experimento. Para isto, as instruções dadas ao usuário devem ser detalhadas, explícitas e precisas, e o avaliador deve certificar-se de que o usuário tem uma compreensão completa do processo e das tarefas antes de iniciar a sessão (BOWMAN, GABBARD, 2002).

2.1.2 Imersão e Percepção de Presença em Contextos Virtuais

Os conceitos de imersão, presença, interação e envolvimento são fundamentais para compreender as experiências físicas e psíquicas dos sujeitos em ambientes virtuais. A imersão provoca no usuário a sensação da vivência no mundo real durante a navegação no ambiente virtual. Já a presença liga-se aos aspectos psicológicos envolvidos, sendo verificada nas sensações provocadas - visuais e auditivas - no relacionamento do sujeito com a interface virtual. O envolvimento e a interação dependem da concentração do indivíduo no ambiente

virtual e no isolamento do mundo real, sendo mais propício em imersão (REBELO et al, 2010).

Na década de 90, grande parte da excitação gerada pela realidade virtual era centrada na imersão – tecnologias complexas que substituíram as informações sensoriais do mundo real com os estímulos sintéticos, como imagens em 3D, som espacializado, força e feedback tátil. O objetivo de ambientes virtuais imersivos era trazer realismo à experiência do usuário em um mundo gerado por computador. Era produzir, virtualmente e em tempo real, uma sensação de presença na mente do usuário (BOWMAN, McMAHAN, 2007).

Imersão refere-se ao nível de fidelidade sensorial que um sistema virtual oferece, referindo-se à plataforma de RV (WEISS et al, 2010). O produto psicológico de imersão tecnológica é presença - a sensação psicológica de estar no ambiente virtual em vez do ambiente físico e interagir com a mídia (BOHIL, ALICEA, BIOCCA, 2011).

O nível de imersão de um sistema virtual depende apenas do seu software e da tecnologia utilizada. A imersão é objetiva e mensurável. A presença varia com a resposta do usuário e dependente do contexto. Diferentes usuários podem ter experiências diferentes de presença com o mesmo sistema virtual, e um único usuário pode experimentar diferentes níveis de presença com o mesmo sistema em momentos diferentes, dependendo do seu estado de espírito e da sua história recente (BOWMAN, McMAHAN, 2007).

A presença é definida como a experiência subjetiva de estar em um ambiente, mesmo quando a pessoa está fisicamente noutro. Quando aplicado a contextos virtuais, a presença refere-se a experimentar o ambiente artificial computacional em vez do local físico real. Também pode ser definida como a ilusão de não mediação de artefatos tecnológicos, uma vez que o usuário não percebe os dispositivos de interação nem o meio de visualização. Esta definição fornece um entendimento comum do conceito, mas não identifica os fatores que influenciam a presença, nem descreve a natureza exata da experiência (WITMER, SINGER, 1998).

Para Takatalo, Nyman e Laaksonen (2008), para promover a sensação de presença um sistema de RV precisa responder a três alicerces: o realismo do ambiente, a capacidade do sistema de induzir uma percepção espacial para o usuário e a imersão psicológica, tomada de atenção do usuário para o contexto virtual em vez do mundo real.

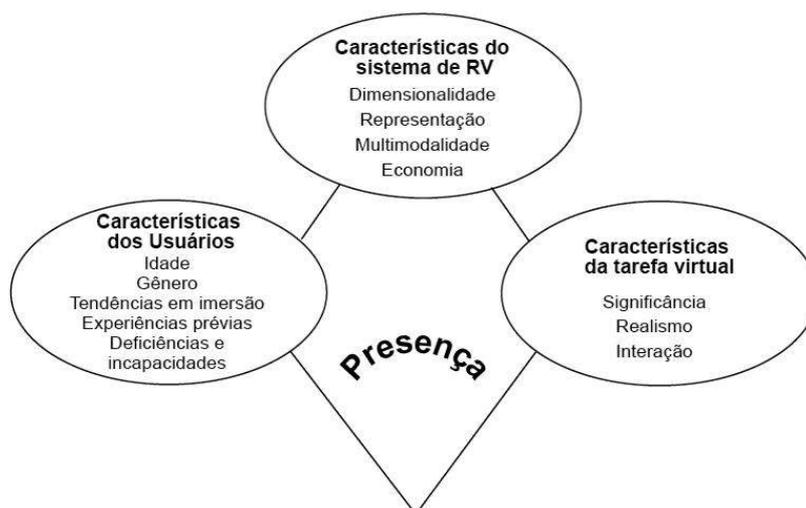
A atenção direcionada para o ambiente é também ressaltada por Witmer e Singer (1998). Os autores afirmam que os sujeitos experimentam diferentes graus de presença mesmo no contexto real; onde a atenção é dividida entre o mundo físico e o mundo mental de memórias, sonhos e atividades planejadas. Apontam ainda que indivíduos podem vivenciar

interações virtuais e simultaneamente atender a eventos em seu entorno físico. Porém, quanto mais atenção o usuário centrar sobre a interação virtual, maior será o envolvimento e a presença que eles irão relatar (WITMER, SINGER, 1998).

A percepção de presença é uma medida tão subjetiva que características pessoais de: habilidade, desafio, relevância, bem como excitação e controle são componentes cognitivo-emocionais e motivacionais essenciais para aprofundar o entendimento sobre a qualidade, intensidade, valor e significado da experiência virtual para o usuário (TAKATALO, NYMAN, LAAKSONEN, 2008).

De acordo com Weiss et al (2010), a sensação de presença em um ambiente virtual depende de um conjunto de fatores (ver figura 1) que incluem: a representação virtual do usuário, a plataforma utilizada (bi ou tridimensional), o número e a qualidade das modalidades de feedback, as características do usuário - como idade, gênero e capacidades funcionais, as características do ambiente virtual e a tarefa solicitada – incluindo seu significado e a intuitividade da interação.

Figura 1. Fatores que influenciam a sensação de presença no ambiente virtual.



Fonte: Weiss et al, 2010. Traduzido pela autora, 2017.

Segundo Bowman e Gabbard (2002), a avaliação da qualidade dos sistemas de RV deve focar a percepção da presença, avaliando como a experiência do usuário influi na sensação de realismo e de engajamento na realização da tarefa. Para Stuclyffe e Gault (2004), embora as percepções de presença realmente interfiram na experiência do usuário, elas não são suficientes para diagnosticar aspectos técnicos e funcionais dos projetos de RV. Além

disso, os autores colocam que aspectos objetivos como a seleção de dispositivos multimodais e a adoção de sistemas totalmente imersivos facilitam a experiência da presença.

Witmer e Singer (1998) corroboram com esta ideia, afirmando que a imersão inclui o isolamento do ambiente físico, o engajamento natural de interação e controle, e a ausência de desconforto quanto ao uso dos dispositivos, como o head mounted display, privando os usuários de sensações proporcionadas pelo ambiente real e aumentando a percepção de presença no contexto virtual.

2.1.3 Seleção de Entradas Multimodais e Dispositivos Hápticos

Háptico, um termo que foi derivado do verbo grego "Haptesthai", que significa "toque", acrescenta o sentido do tato e feedback de força na interação humano-computador. Além dos sistemas de realidade virtual, que proporcionam ambientes virtuais tridimensionais dentro do qual o utilizador pode navegar, dispositivos hápticos melhoram a interatividade do usuário e o desempenho da tarefa.

Segundo Witmer e Singer (1998), o tipo de feedback ofertado pelo sistema pode influenciar a percepção de presença experimentada pelo usuário. Os autores colocam que muitas das informações provenientes de sistemas virtuais provêm de canais visuais, porém quanto mais completa e coerente for a estimulação de múltiplos sentidos, maior deve ser a capacidade de experimentar a presença. Por exemplo, a adição de movimento normal, com a percepção cinestésica e o feedback proprioceptivo, devem reforçar a presença.

Nos últimos anos, pesquisadores têm investigado os efeitos de parâmetros de exibição visual na percepção da presença de uma pessoa. Os parâmetros de exibição visual podem incluir nível de detalhe visual (textura), campo de visão, estereoscopia, utilização de head tracking e frames por segundo. Em geral, quanto maior for o grau de realismo visual, maior a sensação de presença. O fato de que o aumento do realismo visual aumenta a sensação de presença é interessante, mas não é surpreendente. Além disso, quando o designer aumenta o detalhe visual, o sistema de resposta diminui. Este, por sua vez, pode reduzir a sensação da presença de uma pessoa no ambiente virtual (STUTCLIFFE, 2016).

Os sinais sensoriais para ambientes virtuais geralmente consistem de estímulos visuais, muitas vezes, mas não sempre, acompanhados de estímulos de áudio e, ainda menos, de estímulos táteis. Os sinais sensoriais geralmente não estão presentes ou estão presentes em contradição com o que está sendo apresentado no ambiente virtual. Por exemplo, um participante em um ambiente virtual pode visualmente ver a si mesmo em um ambiente ao ar livre,

ensolarado, enquanto a temperatura que ele percebe é compatível com estar em um laboratório fechado, com ar condicionado ligado (DINH et al, 1999). Por isto, a consistência da informação multimodal e o isolamento do usuário do ambiente real são medidas essenciais para promover o realismo em contextos virtuais.

A imersão tem forte ligação com o isolamento do ambiente real. O uso de dispositivos como óculos imersivos e headphones que isolam os usuários de seu ambiente real podem aumentar a presença em um ambiente virtual, quando comparados ao uso do sistema em versões não imersivas, através de tela padrão bidimensional. Reduzir o ruído ambiente local também poderia aumentar a presença mesmo quando nenhuma entrada auditiva é fornecida pelo sistema virtual (DINH et al, 1999). Os autores complementam que é sempre recomendável acrescentar feedback auditivo, pois estes possuem baixo custo computacional e produzem poucos atrasos na resposta operacional do sistema.

Feedback tátil é um dos mais importantes incrementos para os sistemas de RV (DINH et al, 1999), entretanto trata-se do feedback que mais sofre com a baixa oferta de tecnologias e equipamentos no mercado. Quando o feedback tátil está ausente, a ação do usuário pode passar através da representação virtual de objetos sólidos. Para atenuar esta ausência, muitos aplicativos usam feedback visual com algoritmos de detecção de colisão (SUTCLIFFE, 2016). Estes problemas podem ser evitados através da concepção de sistemas em realidade aumentada, em que as superfícies interativas são modelados como maquetes físicas. De acordo com Sutcliffe e Gault (2004) a solução comumente encontrada para suprir a deficiência da resposta tátil é o incremento dos feedbacks visual e de áudio.

Estímulos olfativos desempenham um papel importante em nossa experiência do mundo físico. No entanto, poucos trabalhos relatam a utilização do olfato em ambientes virtuais ou sobre o desenvolvimento de monitores olfativos para ambientes virtuais. Para Stutcliffe e Gault (2004), o uso de feedbacks olfativos está em crescimento potencial, pois com o aumento ao acesso a aplicações virtuais, desenvolvedores precisaram incrementar cada vez mais seus sistemas. Outros recursos como uso de lâmpadas de aquecimento, ventiladores e outros acessórios simples para produzir uma simulação correta de sensações na pele, ainda não foram devidamente demonstrados na literatura (SUTCLIFFE, 2016).

2.1.4 Avaliação de Usabilidade em Contextos Virtuais

O acesso ao usuário final de um número cada vez maior de projetos de realidade virtual gerou a identificação de problemas específicos para esta interação. O processo de

criação e de avaliação de usabilidade precisa se apoiar em conceitos de design, novos ou adaptados, que melhor correspondem à interface virtual. As heurísticas de Nielsen, por exemplo, não abordam questões como localizar e manipular objetos virtuais ou navegar em mundos tridimensionais (SUTCLIFFE, DEOL KAUR, 2000).

Para que uma interface virtual adquira naturalismo, deve-se replicar o mundo real no maior grau possível. Porém, o projeto precisa seguir orientações e métodos de usabilidade subjacentes aos conceitos de realidade virtual, pois os sistemas virtuais devem suportar aspectos de percepção, navegação, exploração e engajamento. Os problemas de usabilidade mais graves englobam desorientação conceitual e incapacidade de manipular objetos, que podem inviabilizar o uso do próprio sistema, gerando rejeição do usuário (BOWMAN, WINGRAVE, 2001. SUTCLIFFE, DEOL KAUR, 2000).

Outra diferença na interação do usuário em ambientes simulado tridimensionais em comparação com interfaces tradicionais é a percepção de presença criada na imersão em mundos virtuais. Aspectos de usabilidade importantes como naturalidade de interação, controle do sistema, consistência do ambiente virtual e coerência com o contexto real podem causar distorção e erros de interação e afetar diretamente a percepção de presença do usuário. Em via contrária, a presença tem grande impacto sobre a atenção e a memória dispendidas ao sistema, prejudicando a experiência global e influenciando novos problemas de interação (SUTCLIFFE, GAULT, SHIN, 2005).

Witmer e Singer (1998) dividem os aspectos relativos à usabilidade de interfaces virtuais em quatro fatores: controle, sensoriais, de distração e de realismo.

Para esses autores, os fatores de controle são fornecer ao usuário o maior grau de sucesso na realização das tarefas, o imediatismo do feedback do sistema às ações do usuário, a possibilidade de antecipar ou prever as respostas do sistema e a mínima exigência de aprendizagem para operar os dispositivos de interação.

Quanto aos fatores sensoriais, Witmer e Singer (1998) afirmam que a seleção adequada do tipo e da quantidade de feedbacks fornecerá ao usuário a quantidade de informações, promovendo de forma mais completa e coerente a estimulação de múltiplos sentidos e reforçando a experiência da presença. Outro aspecto importante é o sincronismo dos estímulos, as informações multimodais devem convergir para um mesmo objetivo, do contrário o sistema fornecerá um feedback inconsistente.

Para Sutcliffe, Gault and Shin, 2005, os fatores sensoriais podem ser facilitados com a adição de leitura dos movimentos do usuário e fornecimento de percepção cinestésica e feedback proprioceptivo, além da procura ativa do sistema com a adequada mudança do ponto

de vista do ambiente a qualquer movimento da cabeça. Os autores afirmam ainda que os sistemas não imersivos exigem especial atenção quando incluem movimentos dos usuários, uma vez que é possível visualizar simultaneamente segmentos corporais reais e sua representação virtual, a naturalidade da interação pode ser prejudicada.

Witmer e Singer (1998) concordam com esta afirmação indicando o uso de dispositivos de isolamento dos usuários do ambiente real. Para eles, a imersão visual e auditiva promove maior percepção de presença quando comparada ao uso de telas bidimensionais, como os utilizados em sistemas não imersivos. Reduzir o ruído ambiente local também é colocado como uma estratégia para aumentar a presença, mesmo quando nenhuma entrada auditiva é fornecida pelo sistema virtual.

Por fim, esses autores afirmam que o realismo do cenário virtual - conteúdo da cena, textura, resolução, fontes de luz, campo de visão, dimensionalidade, comportamento dos objetos virtuais – podem agregar maior significado à experiência e motivar o usuário à aprender e executar novas tarefas em contextos virtuais.

A mudança de contextos pode gerar diferentes níveis de desorientação e ansiedade quando os usuários saem de um ambiente virtual e retornam ao mundo real e vice-versa. A quantidade desta desorientação poderá aumentar à medida que a qualidade da experiência de presença aumenta (WITMER, SINGER, 1998).

2.1.4.1 Métodos de Avaliação de Usabilidade em Realidade Virtual

Segundo Sutcliffe (2002), o design de sistemas e interfaces multimídia comumente desconsideram os aspectos relativos à usabilidade. Tal como acontece com muitas tecnologias emergentes, é o fascínio por novos dispositivos, funções e formas de interação que motivam o design em vez da facilidade de uso e da adequação às aplicações práticas. A má usabilidade limita a eficácia dos sistemas que podem parecer bons, mas não oferecem experiência efetiva, além de constrangimentos biomecânicos e dificuldades na navegação.

De acordo com Bowman e Gabbard (2002), os métodos de avaliação de usabilidade em RV possuem três características principais: envolvimento de usuário, o contexto de avaliação e tipos de resultados produzidos.

Sobre o envolvimento do usuário, os principais métodos baseiam-se na experiência do usuário e no feedback que a interface oferece. Por isto, muitos métodos não necessitam da participação de especialistas. Sobre o contexto de avaliação, os autores abordam a diferença entre aplicabilidade e generalidade, pois muitos contextos em RV respondem a problemas

específicos e que só podem ser replicados a aplicativos semelhantes. Sobre o tipo de resultado, ressaltam apenas as diferenças entre dados quantitativos e qualitativos.

Segundo Bowman e Gabbard (2002), os métodos e técnicas utilizados para o design de sistemas virtuais incluem a aplicação de questionários e entrevistas, a avaliação formativa, a avaliação somativa ou comparativa e a avaliação baseada em heurísticas.

De acordo com os autores, a avaliação formativa consiste em um estudo observacional, empírico sobre a interação do usuário a fim de identificar problemas de usabilidade, bem como avaliar a capacidade do projeto de apoiar a exploração, aprendizagem e desempenho da tarefa. Já a avaliação somativa, inclui a comparação estatística de duas ou mais configurações de interface de usuário. As variáveis podem incluir a seleção de diferentes estímulos e feedbacks multimodais, os componentes de interação e o próprio setup físico do sistema. Tal como acontece com a avaliação formativa, podem ser coletados dados qualitativos e quantitativos. E ambas podem ser aplicadas formal ou informalmente.

Os questionários são bons para recolher dados subjetivos dos usuários, por isto, têm sido a forma mais adotada para avaliar a percepção de presença.

Ainda que a sensação de presença esteja no centro da investigação psicológica em interações virtuais, sua avaliação é uma medida necessária quando se considera a usabilidade de um sistema de RV. Em seu trabalho intitulado “O que uma Década de Experiências Revela sobre Fatores que Influenciam o Sentido de Presença: Últimos Resultados”, Youngblut (2007) aponta que no período decorrido entre 1996 e 2006 houve uma grande preocupação da comunidade científica em descrever e estudar a percepção de presença e seus efeitos sobre a interação do usuário com contextos virtuais. Neste mesmo período o IEEE, iniciou as publicações no periódico “Presence”, que tratava apenas deste assunto.

Por se tratar de uma medida subjetiva, os principais autores da área desenvolveram questionários para obter medições confiáveis e consistentes de tais fatores relacionados à percepção de presença. Neste contexto, três estudos foram destacados e tomados por base para a elaboração do questionário utilizado na presente pesquisa. São eles: 1. o questionário de presença desenvolvido por Witmer e Singer (1998) no Massachusetts Institute of Technology (MIT), validado com 152 estudantes; 2. o questionário de Dinh et al (1999) que incluiu também perguntas relativas à localização de objetos virtuais, como forma de avaliação da atenção seletiva; e por fim, 3. o estudo de Stuclyffe, Gault e Shin publicado em 2005, que correlacionou os resultados de presença a uma verificação da memória do usuário sobre o ambiente virtual e uma sessão debriefing dos problemas e erros relatados.

Um dos pontos fracos da avaliação por questionário é que as avaliações das pessoas pode ser influenciada por sua experiência. Assim, é importante estabelecer uma visão arredondada da experiência do usuário em contextos virtuais, observando a experiência em termos de interação, a percepção da presença e memória da experiência (SUTCLIFFE, GAULT, SHIN, 2005).

Os aspectos relativos à memória são incluídos como uma forma também subjetiva de avaliar a atenção seletiva do usuário para o sistema. Esta atenção exige concentração no contexto virtual e desprendimento quanto aos acontecimentos do mundo real, sendo portanto fortemente influenciada pela presença (SUTCLIFFE, GAULT, SHIN, 2005). Para a avaliação da memória, são sugeridas entrevistas estruturadas com perguntas relativas ao cenário e à localização de objetos no ambiente virtual (DINH et al, 1999).

As interfaces multimodais abrem novas possibilidades, ofertando grandes quantidades de informação de forma mais atrativa, mas também tornam o design de sistemas virtuais mais complexo. Se mal projetadas as interfaces podem não satisfazer os requisitos do usuário e tornar-se irritantes, desagradáveis e inutilizáveis. Os problemas mais encontrados são as reações adversas ao uso – náusea, vertigem, lacrimejamento e cefaleia, desorientação espacial e incapacidade de operar controles e executar tarefas virtuais (SUTCLIFFE, 2002).

A usabilidade é um componente vital da qualidade do produto e torna-se cada vez mais importante, uma vez que a excitação inicial de uma nova tecnologia desaparece e os clientes passam a buscar produtos bem projetados, efetivos e maduros (SUTCLIFFE, 2002).

2.1.4.2 Heurísticas de Usabilidade Aplicadas à Realidade Virtual

Em 2004, Sutcliffe e Gault propuseram um conjunto de heurísticas aplicadas à realidade virtual. Os autores basearam-se nas heurísticas propostas por Nielsen (1994) e em princípios específicos a contextos virtuais propostos por Sutcliffe e Deol Kaur, em 2000. Esses princípios incluem a naturalidade da interação, a necessidade de ajuste de tarefas, a representação natural da ação do usuário e a facilidade de navegação.

As heurísticas propostas por Sutcliffe e Gault (2004) foram utilizadas nesta pesquisa e estão descritas a seguir.

- Engajamento natural

A interação deve atender a expectativa do usuário em relação ao mundo real ou um conhecimento prévio. Idealmente, o usuário deve ter consciência de que a realidade é virtual.

Essa heurística dependerá da exigência de naturalidade, percepção de presença e engajamento do usuário.

- Compatibilidade com tarefas e domínio do usuário.

O ambiente virtual e o comportamento de objetos virtuais devem corresponder, tanto quanto possível, com a expectativa do usuário de objetos do mundo real, o seu comportamento e intuitividade para a ação da tarefa.

- Expressão natural da ação

A representação do self / presença no contexto virtual deve permitir ao usuário agir e explorar o ambiente de uma forma natural e não restringir ações físicas normais. Esta qualidade de concepção pode ser limitado pelos dispositivos disponíveis. Se a resposta tátil está ausente, a expressão natural inevitavelmente sofre.

- Coordenação ação - representação

A representação da presença e comportamento no ambiente virtual deve ser fiel às ações do usuário. O tempo de resposta entre o movimento do usuário e a atualização no ambiente de exibição deve ser inferior a 200 milissegundos para evitar problemas adversos.

- Feedback real

O efeito das ações do usuário em objetos do mundo virtual deve ser imediatamente visível e estar em conformidade com as leis da física e expectativas de percepção do usuário.

- Pontos de vista fiéis

A representação visual do mundo virtual deve mapear a percepção normal do usuário, e a mudança ponto de vista pelo movimento da cabeça deve ser processado sem demora.

- Suporte à navegação e orientação

Os usuários devem sempre ser capaz de encontrar onde eles estão no ambiente virtual e voltar para posições predefinidas conhecidas.

- Pontos de entrada e saída

Os meios de entrar e sair de um mundo virtual devem ser claramente comunicados.

- Ações consistentes

As ações no ambiente virtual devem ser claramente identificadas , como por exemplo , ações de substituição de energia (comuns em jogos) ou alternância entre formas de navegação.

- Apoio à aprendizagem

Os objetos ativos devem ser sinalizados e, se necessário, explicados para promover aprendizagem do ambiente virtual.

- Tomada de vez clara

Quando a comunicação entre o usuário e o sistema, deve haver clareza no estabelecimento da tomada de vez. A alternância da comunicação deve estar clara para o usuário. Ex. Quando há um avatar que conversa com o usuário.

- Percepção de presença

A percepção e o engajamento do usuário de estar em um mundo "real" deve ser o mais natural possível.

2.2 Aplicações da Realidade Virtual em Reabilitação

Compreendidos os conceitos no âmbito geral da realidade virtual, esta seção se propõe a explicitar suas aplicações em reabilitação. Para isto, estão descritos os preceitos de imersão, presença, multimodalidade e aprendizagem duranteo uso da RV como potencial de inovação em reabilitação.

Nos últimos anos, o uso das tecnologias de Realidade Virtual (RV) começaram a ser utilizadas em saúde. Os sistemas incluem simulações de procedimentos médicos, avaliações cognitivas e a aquisição de habilidades adquiridas em experiências virtuais (ANJOS, NUNES, TORI, 2012. TORI et al, 2011).

Potencialmente, a RV ainda poderá compor ferramentas de análise diagnóstica e tratamento de pessoas com deficiência, gerando grande impacto sobre a neuroreabilitação. A lógica para a utilização da RV em reabilitação baseia-se na oportunidade da aprendizagem experiencial ativa, que estimula e motiva o participante, na possibilidade de medir objetivamente o comportamento motor e cognitivo de pessoas com deficiência em ambientes construídos com tarefasdesafiadoras, e na manutenção rigorosa e quantificada dos estímulos

multimodais que serão ofertados ao paciente. Além disso, oferece a capacidade de individualizar as necessidades de tratamento, proporcionando a reciclagem dos padrões de análise diagnóstica, avaliação cinético-funcional e protocolos de tratamento.

O sistema nervoso central não é capaz de distinguir as vivências sensório-motoras e as experiências relacionais ocorridas no mundo real e em ambientes virtuais. Os recursos multisensoriais de RV podem promover mudanças comportamentais, aprimorar a plasticidade neural e favorecer o desempenho e o aprendizado. Quando os efeitos neuroplásticos são alcançados, observa-se a transferência das habilidades adquiridas no mundo virtual para o contexto real. Cumpre-se então o grande objetivo da reabilitação que é o ganho ou aprimoramento da independência funcional.

Dois áreas de pesquisa têm um forte potencial para melhorar a avaliação e reabilitação desta incapacidade. Primeiro os exames de neuroimagem funcional, em particular a ressonância magnética funcional, que podem ilustrar a atividade do córtex cerebral pós-lesão e proporcionar maior compreensão das deficiências. Da mesma forma, estes exames podem demonstrar a recuperação da função cerebral, comprovando os efeitos da terapia baseada em realidade virtual (YOU et al, 2005). Segundo, a realidade virtual (RV) imersiva, que envolve a prática reiterada de tarefas do mundo real simuladas num mundo virtual, e supõe-se que possa render melhorias funcionais que se generalizam para as atividades da vida diária.

Apesar de apresentar-se como uma forte tendência, a utilização da RV ainda enfrenta algumas dificuldades. As principais são a caracterização da amostra, em termos de representação da população com deficiência e do número de participantes envolvidos nas pesquisas, o alto custo desta tecnologia, a construção do ambiente virtual e a inabilidade das tarefas solicitadas, em relação às necessidades terapêuticas dos indivíduos.

Além disso, ainda são escassos estudos que comparem a eficácia da terapia virtual em relação à terapia convencional. Os estudos devem envolver amostras significativas da população estudada, respeitar o tempo de lesão de cada paciente e seus impactos sobre a plasticidade neural, ter como grupo controle indivíduos em tratamento no meio real e manter, em ambas as terapias – virtual ou real, e o acompanhamento da equipe de reabilitação interdisciplinar.

Mais pesquisas devem ser realizadas para obter dados clinicamente significativos. Estudos mais aprofundados são necessários para fornecer evidência da alta qualidade deste tratamento para o efeito específico de terapia mediada pela realidade virtual.

2.2.1 Inovação em Reabilitação

As recentes inovações tecnológicas aprimoraram uma variedade de tarefas clínicas e geraram um importante impacto sobre a neurociência. Neste contexto, as tecnologias de Realidade Virtual (RV) começaram a ser utilizadas como uma ferramenta de avaliação e tratamento de pessoas com deficiência, gerando grande impacto sobre a neuroreabilitação.

A RV promove a interação com um ambiente simulado controlado, facilitando a reorganização das atividades cerebrais (BOHIL, ALICEA, BIOCCA, 2011). A grande vantagem da utilização da RV é promover a reabilitação das deficiências motoras, cognitivas e sensoriais de forma simultânea, através dos estímulos multimodais.

A realidade virtual está sendo utilizada em diversas áreas da reabilitação. A RV permite o trabalho simultâneo de deficiências motoras, sensoriais e cognitivas, através dos estímulos multimodais, e ainda proporciona oportunidades de lazer para as pessoas com deficiências graves. De acordo com Kizony, Katzy e Weiss (2004), a grande vantagem da reabilitação virtual é potencializar as capacidades residuais, sem causar fadiga ou frustração.

A terapia virtual promove ainda importantes benefícios psíquicos, tais como redução da tensão e aumento da calma, uma vez que a interação com o ambiente virtual é compreendida por muitos pacientes como uma atividade de lazer (CHEN et al, 2009).

Na reabilitação no ambiente real, o terapeuta define o programa de exercícios do paciente a partir das deficiências diagnosticadas no exame físico detalhado. Na reabilitação virtual, as tarefas solicitadas no ambiente virtual também devem ser definidas a partir das necessidades terapêuticas de cada paciente, possibilitando a individualização do tratamento e proporcionando a reciclagem dos padrões de avaliação e protocolos de tratamento.

A deficiência caracteriza-se por sua manifestação na vida real, onde estratégias compensatórias são adotadas. É importante ressaltar que a reabilitação virtual, que envolve a prática reiterada de tais tarefas do mundo real, pode render melhorias funcionais que se generalizam para as atividades da vida diária (DI DIODATO et al, 2007). Assim, torna-se importante observar a transferência das habilidades adquiridas no mundo virtual para o contexto real. De acordo com Jack et al (2001), embora indivíduos treinados no ambiente virtual demonstrem a capacidade de melhorar o desempenho de suas tarefas motoras, a aprendizagem nem sempre é transferida para o mundo real. Este conflito pode ser derivado das diferenças na percepção das habilidades motoras em ambientes reais versus virtuais, ou pode ser reflexo da atual escassez de investigações sobre o uso da realidade virtual em reabilitação.

Na reabilitação cognitiva, a RV tem sido usada como um meio para a avaliação e reabilitação da percepção visual, negligência espacial, atenção, memória, processamento e sequenciamento da informação (WEISS et al, 2010). Segundo os autores, as adaptações aplicadas aos ambientes de realidade virtual são essenciais ao tratamento de déficits cognitivos, pois permitem o controle da direção, do número e da cor dos estímulos do cenário.

Na reabilitação motora, o grande objetivo é ajudar as pessoas com deficiência a melhorar a sua independência funcional, através da recuperação da força e da amplitude dos movimentos. Ao ajudar os pacientes a melhorar suas habilidades motoras, compensando as perdas permanentes de função, os pacientes podem alcançar uma melhor qualidade de vida.

Os ambientes virtuais são projetados para estimulação sensorial multimodal, tornando-os ideais para a pesquisa de integração multissensorial – estímulos multimodais (visuais, auditivos, táteis e hápticos) são utilizados em uma experiência perceptiva unificada (Bohil, Alicea, Biocca, 2011).

O controle dos estímulos multimodais é de grande importância em neuroreabilitação pois permite a personalização dos ambientes interativos, sua consequente adequação às habilidades dos usuários e ainda fornece feedback proprioceptivo, essencial para a recuperação motora.

Assim, a realidade virtual (RV) oferece oportunidades para manipular variáveis terapêuticamente relevantes e trabalhar o desempenho de habilidades motoras e cognitivas durante a interação.

2.2.2 Imersão e Presença em Reabilitação Virtual

Um princípio fundamental na reabilitação é realizar as tarefas terapêuticas sem causar fadiga e frustração. O conhecimento sobre a relação entre as características do usuário, a sensação de presença e o desempenho dentro do ambiente virtual podem ajudar os terapeutas a alcançar uma correspondência ideal entre a personalização dos ambientes, o ganho de habilidades motoras e cognitivas e reforçar o envolvimento dos pacientes na tarefa. Assim, uma melhor compreensão da relação entre a deficiência e desempenho em ambientes virtuais devem conduzir a uma maior eficiência na utilização da reabilitação baseada em RV (Kizony, Katz and Weiss, 2004).

Neste contexto, a terapia virtual permite o ajuste individual do protocolo de tratamento em congruência com a capacidade funcional de cada paciente e o controle quantitativo das tarefas solicitadas, como velocidade, potência e resistência, que não são possíveis no controle

por seres humanos. Isto aumenta a confiabilidade na execução de tarefas repetitivas (Pignolo, 2007).

Para a realização do treino virtual, a utilização de ferramentas imersivas apresenta-se em três possibilidades: totalmente imersiva (utilizando head-mounted display), semi-imersiva (large projection screens), ou não-imersiva (desktop-based VR). O nível físico da imersão influenciará na sensação de presença no ambiente virtual (REBELO et al, 2010).

Altos níveis de imersão podem causar uma maior sensação de presença, o que pode tornar algumas aplicações mais eficazes. O mais importante é a experiência realista que a RV imersiva promove para o usuário. Ao exigir um alto nível de fidelidade sensorial, visual, auditiva e háptica, o ambiente virtual imersivo permite que a experiência no mundo virtual corresponda, tanto quanto possível, à experiência do mundo real simulado (BOWMAN, McMAHAN, 2007).

Sharan et al (2012) apresentaram resultados satisfatórios para a reabilitação de crianças portadoras de Paralisia Cerebral com a utilização de ambientes não-imersivos, através de games interativos. Entretanto, a terapia totalmente imersiva, em função da forte sensação de presença, é mais eficaz para alcançar os resultados para a reabilitação. Para conseguir uma forte sensação de presença, os usuários são submetidos a estímulos diferentes, tais como: feedback visual e de áudio. As características de hardware e software e a complexidade da tarefa solicitada tem como objetivo fornecer aos usuários uma experiência significativa no contexto dos objetivos terapêuticos do pesquisador.

Assim, muitas aplicações bem sucedidas de RV dependem da alta fidelidade dos estímulos sensoriais, com o objetivo de produzir uma experiência realista que efetivamente coloca o usuário no ambiente simulado. Segundo Riva, Molinari e Vancelli (2002), quanto maior for a qualidade do ambiente virtual imersivo, maior será a satisfação do usuário e mais realista será a sua experiência. Em outras palavras, estas aplicações requerem um alto nível de imersão porque produzem uma melhor sensação de presença (BOWMAN, McMAHAN, 2007).

É importante ressaltar que alguns usuários experimentam efeitos colaterais durante e após a exposição a ambientes virtuais. Os efeitos mais observados durante o uso de alguns sistemas de RV são náuseas, fadiga ocular e outros distúrbios oculomotores, instabilidade postural, cefaléia, sonolência e desorientação espacial (CHEN et al, 2009. WEISS et al, 2010).

Muitos destes efeitos parecem ser causados por incongruências entre a informação recebida a partir de estímulos sensoriais diferentes, podendo ser corrigidas no próprio design

do ambiente virtual. Destaca-se também a dificuldade de alguns usuários na interação com a tarefa através de movimento da cabeça, tronco ou do corpo inteiro (WEISS et al, 2010).

2.2.3 Utilização de Estímulos Multimodais e Dispositivos Hápticos em Reabilitação Virtual

A RV oferece a capacidade de criar um ambiente em que a intensidade do treino pode ser sistematicamente manipulado e individualizado, buscando um aprendizado motor adequado a cada paciente por meio de programas semi-automatizado (JACK et al, 2001).

Neste contexto, os dispositivos hápticos permitem ao usuário manipular objetos em ambientes virtuais de forma natural e eficaz e podem fornecer informações como rigidez, textura e peso dos objetos. Os dispositivos táteis são ferramentas indispensáveis na reabilitação virtual, pois ajudam a medir objetivamente o desempenho e adequar a base de exercícios para cada paciente. Este potencial para avaliar o desempenho do paciente, através da medição de diferentes parâmetros, os quais não podem ser avaliadas na reabilitação tradicional, pode ser um benefício para os pacientes e profissionais terapeutas (WEISS et al, 2010). Adicionalmente, o aspecto lúdico deve ser considerado como fator de incentive no processo de reabilitação.

Para que o feedback sensorial seja realista, durante a realização de tarefas relacionadas com a mão, o ambiente virtual deve conter dispositivos hápticos para rastrear os movimentos e fornecer respostas táteis e de força para simular a interação com objetos virtuais. Assim, a tecnologia em realidade virtual (RV) deve fornecer feedback sensorial realístico para o usuário obter respostas cerebrais e comportamentais que podem ser generalizadas para situações do mundo real equivalente.

Segundo Squeri et al (2009), os dispositivos hápticos promovem a interação bidirecional entre o usuário e o ambiente virtual proporcionando um importante aprendizado cortical. Em reabilitação, isto pode se manifestar como recuperação funcional.

2.2.4 Aprendizado Motor na Reabilitação Virtual

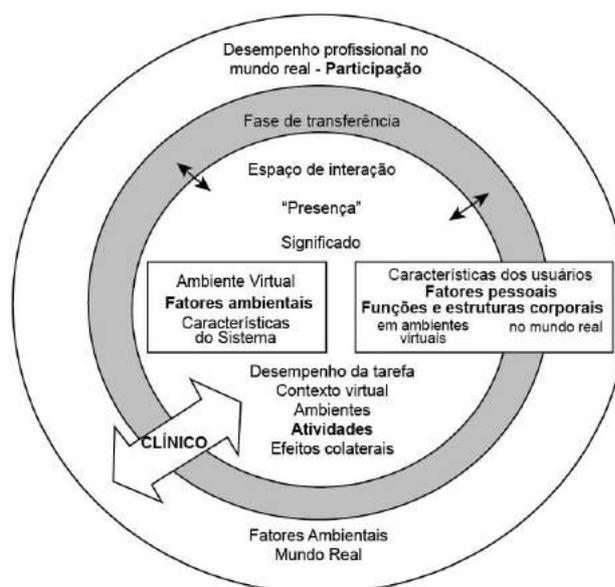
A aprendizagem é um processo individual e complexo, que se sustenta nas vivências do indivíduo e na sua conseqüente visão global do mundo (MA et al, 2011. RESNIK et al, 2011). Assim, considerando o prognóstico e a própria evolução da doença, o aprendizado cognitivo sensório-motor se alicerça em bases patológicas, influenciando os modelos mentais do sujeito com, no e sobre o mundo, agravando as deficiências motoras e cognitivas e

dificultando o planejamento e a execução de atividades e habilidades (ALAMRI et al, 2008. CONNELLY et al, 2010).

A formação dos modelos mentais baseia-se então em engramas sensório-motores influenciados pelas alterações fisiológicas, provocadas pela doença. As experiências são vivenciadas em bases anormais patológicas que alteram as respostas proprioceptivas, de artrestesia e cinestesia e provocam consideráveis déficits de orientação postural e de equilíbrio (CAMEIRÃO et al, 2011. UEKI et al, 2012).

De acordo com Weiss et al (2010), na reabilitação virtual (figura 3) dois fatores primários influenciam a interação entre o usuário e o ambiente. O primeiro desses fatores diz respeito às características pessoais do usuário (funções e estruturas do corpo). O segundo fator diz respeito às características do ambiente virtual incluindo a tecnologia utilizada, a natureza e as exigências da tarefa a ser executada dentro do ambiente virtual. As características do ambiente virtual podem ser tanto barreiras ou facilitadores para o desempenho. O usuário interage dentro do ambiente virtual e realiza tarefas funcionais de níveis de dificuldade variáveis, permitindo que os terapeutas modulem os fatores ambientais de forma compatível com os déficits funcionais de cada paciente.

Figura 2. Modelo de reabilitação baseada em realidade virtual



Fonte: WEISS et al, 2010. Traduzido pela autora, 2017.

Segundo Weiss et al (2010), as principais vantagens da utilização da RV em reabilitação são: o controle sobre o ambiente virtual e seus estímulos; a intervenção direta do

terapeuta na complexidade da tarefa, alterando protocolos de avaliação e tratamento, sempre que necessário; a possibilidade de medir objetivamente o desempenho do paciente; e a promoção de uma experiência mais agradável e motivadora, quando comparada à terapia convencional.

É importante ainda observar a transferência das habilidades adquiridas no mundo virtual para o contexto real. O objetivo final da reabilitação virtual é permitir que os pacientes se tornem mais capazes de interagir em seus próprios ambientes reais de forma tão independente quanto possível (WEISS et al, 2010).

Neste contexto, a realidade virtual de imersão, através da ativação dos processos cognitivos necessários para a navegação e interpretação dos ambientes, promoverá a automação das atividades de vida diária, gerando alterações permanentes nos modelos mentais dos sujeitos. Isto ocorre pois a imersão caracteriza-se pela percepção do usuário de estar inserido em um ambiente real, estando diretamente ligada às configurações do entorno virtual e as sensações de ver, ouvir, tocar e sentir provocadas durante a navegação (REBELO et al, 2010).

2.3 Teste Box and Blocks

Nesta seção, estão apresentados: 1. Os procedimentos de realização do teste *Box and Blocks*; 2. A padronização dimensional da caixa (*box*) e dos cubos (*blocks*); 3. A validação do teste por Mathiowetz et al (1985); 4. A pesquisade Mendes et al (2001), realizado no Brasil; 5. E os resultados encontrados nos trabalhos de Mathiowetz et al (1985) e Mendes et al (2001), utilizados como referencia para a análise comparativa da presente pesquisa.

O Teste *Box and Blocks* permite avaliar e medir de forma simples a destreza manual de usuários com redução da funcionalidade dos membros superiores. Foi validado por Mathiowetz et al. em 1985, e é considerado mais simples e popular teste de função manual. Por ser de fácil compreensão, permite a aplicação com usuários com redução das habilidades cognitivas sem comprometer o seu entendimento e realização, e assim não alterar os resultados finais (FURTADO, TAVARES, 2007).

Para Guimarães e Blascovi-Assis (2012), a mão é uma importante ferramenta criativa, uma extensão do intelecto, servindo como meio para a comunicação não verbal, e o mais importante órgão sensorial tátil. A qualidade e o desempenho nas atividades da vida diária são

determinados em grande parte pela habilidade de motricidade fina, assim como na capacidade de executar tarefas que requerem grande força.

A destreza manual pode ser definida como uma habilidade de executar e coordenar movimentos voluntários grossos ou finos, baseados em aprendizagem motora, treinamento e experiência cinestésica. Destreza fina é a capacidade de realizar movimentos rápidos e controlados, e manipular habilmente pequenos objetos com rapidez e precisão. Destreza grossa é a habilidade de utilizar mão e braço em movimentos controlados durante a manipulação de objetos maiores (GUIMARÃES, BLASCOVI-ASSIS, 2012).

O teste *Box and Block* consiste no transporte de pequenos cubos de madeira com 2,5cm cúbicos, durante um minuto. Esses blocos devem ser levados de uma extremidade a outra de uma caixa de madeira com divisória. O número de blocos deve ser registrado para membro superior esquerdo e direito, sendo iniciado pelo membro dominante. Esse teste, de fácil aplicação, rapidez e simplicidade, tem-se mostrado sensível em detectar mudanças na capacidade funcional de membros superiores (MICHAELSEN et al, 2011).

Alguns autores brasileiros traduziram o nome do teste para Caixa e Blocos (MENDES et al, 2001. GUIMARÃES, BLASCOVI-ASSIS, 2012). Outros pesquisadores, também brasileiros, preferiram manter o termo *Box and Blocks* (MICHAELSEN et al, 2011). Objetivando manter o nome criado e validado por Mathiowetz et al. (1985), amplamente utilizado em todo o mundo, e facilitar a identificação do teste em futuras publicações da presente pesquisa optou-se por adotar o termo original em inglês.

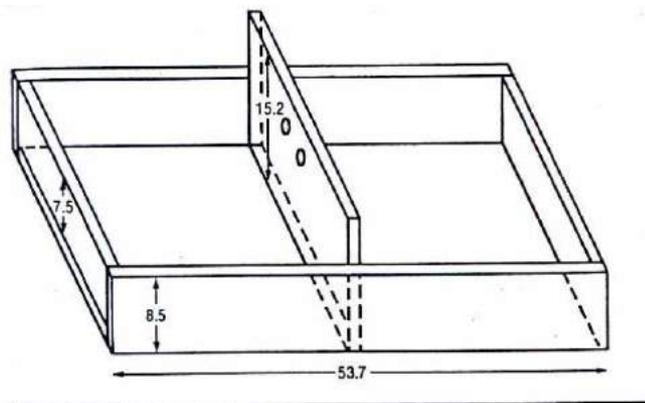
2.3.1 Procedimentos e Padronização do Teste

Para a padronização do teste, Mathiowetz et al (1985) definiram as dimensões exatas da caixa, assim como o tamanho e a quantidade dos cubos.

A caixa (box) deve possuir 53,7cm de largura por 25,4cm de profundidade. As faces de 53,7cm devem possuir 8,5cm de altura, utilizando-se madeira de 1cm de espessura. Os lados de 25,4cm devem possuir 7,5cm de altura. A caixa é dividida em dois compartimentos quadrados de 25,4cm, com uma divisória no centro. A divisória deve possuir 15,2cm de altura e 1cm de espessura. Na divisória, dois furos de 2,5cm podem ser perfurados para facilitar o transporte. Uma almofada de espuma auto-adesiva foi adicionada ao fundo da caixa para diminuir o ruído durante o teste (MATHIOWETZ et al, 1985). Para a realização do teste são utilizados 150 blocos (blocks), confeccionados como cubos de madeira com 2,5 cm cúbicos.

Na figura 3, observa-se o desenho padronizado da caixa utilizada no teste Box and Block.

Figura 3. Desenho padronizado da caixa de teste e da caixa de armazenamento utilizadas no teste Box and Block



Fonte: Mathiowetz et al (1985)

A caixa de teste deve ser colocada longitudinalmente ao longo da borda de uma mesa de altura padrão. Cada sujeito deve sentar-se em uma cadeira de altura padrão de frente para a caixa. Os 150 cubos ficam localizados no compartimento da caixa no lado da mão dominante. O examinador deve permanecer na frente do usuário, com boa visualização dos blocos transportados. Um período de treino de 15 segundos é ofertado ao usuário, antes do início do teste válido. Imediatamente antes do início do teste, os sujeitos devem permanecer com as mãos ao lado da caixa. Ao sinal do examinador, o usuário deve deslocar um bloco de cada vez com a mão dominante, transportando-o sobre a divisória e liberando-o no compartimento oposto. O examinador deve usar um cronômetro para garantir que o teste seja realizado em um minuto. O procedimento deve ser então repetido com a mão não dominante (MATHIOWETZ et al, 1985).

Como pré-requisito para a aplicação do teste, é necessário um ambiente silencioso. Ao iniciar o teste, sempre pela mão dominante, o examinador deve dizer ao usuário: “Quero ver com que rapidez você consegue pegar um bloco de cada vez, carregá-lo até o outro compartimento da caixa e soltá-lo”. O aplicador do teste deve fazer uma demonstração. Continuando com as instruções: “Se você pegar dois blocos ao mesmo tempo, será contado apenas um ponto. Se você derrubar algum bloco na mesa ou no chão, não perca tempo em pegá-lo: este contará um ponto. A ponta dos dedos deve chegar até o outro compartimento. Só então poderá soltar o bloco e será considerado um ponto. Você tem alguma dúvida? Quando eu avisar pode começar. Lembre-se: trabalhe sempre o mais rápido que conseguir”. O

usuário terá então 15 segundos para treino. Ao final de cada etapa, os blocos transportados devem retornar ao compartimento original. O aplicador deve utilizar um cronômetro para poder interromper a tarefa após exatamente 1 minuto. Repete-se o teste com a mão não dominante. O resultado do teste é expresso por um escore que indica o número de blocos transportados de um compartimento para o outro por minuto (BL/MIN) (MENDES et al, 2001).

2.3.2 Validação e Resultados Encontrados

Na presente pesquisa, dois estudos foram tomados como referência. O primeiro foi o estudo de Mathiowetz et al (1985) que é a publicação original do teste Box and Block, que contou com a participação de 628 usuários sem deficiência física ou motora declarada. O segundo foi o estudo de Mendes et al (2001) realizado com acompanhantes e familiares de pacientes que frequentam o Ambulatório de Neurologia, funcionários, médicos e estudantes da Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo.

O estudo de Mendes et al (2001) trata da avaliação da destreza manual de 117 pacientes com diagnóstico clínico de Esclerose Múltipla. Os pesquisadores utilizaram como escala de referência de normalidade os resultados encontrados por Mathiowetz et al (1985), mas também optaram por constituir seu próprio grupo controle, avaliando 446 indivíduos sem deficiência. Com isto, os autores constituíram o primeiro e mais completo banco de dados do teste Box and Block com uma população brasileira. Para a presente pesquisa, foram considerados e serão descritos apenas os resultados encontrados com voluntários sem restrições de funcionalidade.

O estudo de Mathiowetz et al (1985), realizado para a validação do teste, incluiu 628 voluntários sem deficiência – 310 homens e 318 mulheres. Os voluntários foram divididos em 12 grupos de idade, com intervalos de 5 anos. Todos os voluntários não possuíam nenhuma doença ou injúria que acometesse os membros superiores (MMSS). Os critérios de seleção foram: ausência de dor aguda nos MMSS, não ter tido nenhum internamento hospitalar nos últimos seis meses, e ausência de restrição do nível de atividade em decorrência de um problema de saúde.

Na tabela 1, observam-se os resultados encontrados com voluntários do sexo masculino sem deficiência física ou motora declarada, avaliados por Mathiowetz et al (1985).

Na tabela 2, observam-se os resultados encontrados com voluntárias do sexo feminino sem deficiência física ou motora declarada, avaliadas por Mathiowetz et al (1985).

Tabela 1. Resultados do teste Box and Block aplicados a homens sem deficiência por Mathiowetz et al (1985)

Average Performance of Normal Males on the Box and Block Test (number of cubes transferred in 1 minute)

Age, yr	Hand	Mean	SD	SE	Low	High
20-24	R	88.2	8.8	1.6	70	105
	L	86.4	8.5	1.6	70	102
25-29	R	85.0	7.5	1.4	71	95
	L	84.1	7.1	1.4	69	100
30-34	R	81.9	9.0	1.7	68	96
	L	81.3	8.1	1.6	69	99
35-39	R	81.9	9.5	1.9	64	104
	L	79.8	9.7	1.9	56	97
40-44	R	83.0	8.1	1.6	69	101
	L	80.0	8.8	1.7	59	93
45-49	R	76.9	9.2	1.7	61	93
	L	75.8	7.8	1.5	60	88
50-54	R	79.0	9.7	1.9	62	106
	L	77.0	9.2	1.8	60	97
55-59	R	75.2	11.9	2.6	45	97
	L	73.8	10.5	2.3	43	94
60-64	R	71.3	8.8	1.8	52	84
	L	70.5	8.1	1.6	47	82
65-69	R	68.4	7.1	1.4	55	80
	L	67.4	7.8	1.5	48	86
70-74	R	66.3	9.2	1.8	50	86
	L	64.3	9.8	1.9	45	84
75+	R	63.0	7.1	1.4	47	75
	L	61.3	8.4	1.7	46	74
All male subjects	R	76.9	11.6	.66	45	106
	L	75.4	11.4	.65	43	102

R, right; L, left.

Fonte: Mathiowetz et al (1985)

Tabela 2. Resultados do teste Box and Block aplicados a mulheres sem deficiência por Mathiowetz et al (1985)

Average Performance of Normal Females on the Box and Block Test (number of cubes transferred in 1 min)

Age, yr	Hand	Mean	SD	SE	Low	High
20-24	R	88.0	8.3	1.6	67	103
	L	83.4	7.9	1.6	66	99
25-29	R	86.0	7.4	1.4	63	96
	L	80.9	6.4	1.2	63	93
30-34	R	85.2	7.4	1.5	75	101
	L	80.2	5.6	1.1	66	92
35-39	R	84.8	6.1	1.2	71	95
	L	83.5	6.1	1.2	72	97
40-44	R	81.1	8.2	1.5	60	97
	L	79.7	8.8	1.6	57	97
45-49	R	82.1	7.5	1.5	68	99
	L	78.3	7.6	1.5	59	91
50-54	R	77.7	10.7	2.1	57	98
	L	74.3	9.9	2.0	53	93
55-59	R	74.7	8.9	1.8	56	94
	L	73.6	7.8	1.6	54	85
60-64	R	76.1	6.9	1.4	63	95
	L	73.6	6.4	1.4	62	86
65-69	R	72.0	6.2	1.2	60	82
	L	71.3	7.7	1.4	61	89
70-74	R	68.6	7.0	1.3	53	80
	L	68.3	7.0	1.3	51	81
75+	R	65.0	7.1	1.4	52	79
	L	63.6	7.4	1.5	51	81
All female subjects	R	78.4	10.4	.58	52	103
	L	75.8	9.5	.53	51	99

R, right; L, left.

Fonte: Mathiowetz et al (1985)

Na tabela 3, observam-se os resultados quanto a sexo e lateralidade, nos voluntários avaliados por Mathiowetz et al (1985).

Tabela 3. Resultados do teste Box and Block quanto a sexo e lateralidade por Mathiowetz et al (1985)

A Comparison of Right-Hand Dominant and Left-Hand Dominant Subjects on the Box and Block Test					
Hand	Subject Dominance	N	Mean	SD	SE
Males					
Right	Right dominant	288	76.8	11.5	.68
	Left dominant	22	78.2	13.5	2.87
Left	Right dominant	288	75.1	11.1	.65
	Left dominant	22	78.9	15.3	3.26
Females					
Right	Right dominant	295	78.5	10.4	.61
	Left dominant	23	76.9	9.2	1.92
Left	Right dominant	295	75.9	9.5	.55
	Left dominant	23	75.7	9.4	1.95

Fonte: Mathiowetz et al (1985)

De acordo com Mathiowetz et al (1985), os escores femininos foram ligeiramente melhores que os do sexo masculino, a destreza diminuiu com a idade, os sujeitos dominantes da mão direita obtiveram melhores resultados com as mãos direitas e os sujeitos dominantes da mão esquerda tiveram resultados mistos.

Os autores acreditam que a simplicidade do teste torna-o apropriado para avaliar a destreza manual em indivíduos com baixa habilidade cognitiva e limitação funcional dos MMSS. Relatam que o fato do teste ser administrado na posição sentada é uma vantagem, pois muitos pacientes não conseguem ou encontram muita dificuldade para adotar o ortostatismo. E observaram que uma desvantagem do teste foi o ruído durante a coleta de dados, que pode distrair os participantes. Por fim, recomendaram o uso do teste não apenas para avaliar a destreza manual, como também para acompanhar o ganho de funcionalidade em pacientes submetidos a programas de reabilitação.

O estudo de Mendes et al (2001) contou com 446 indivíduos, sendo 207 homens e 239 mulheres, com idades variando entre 15 e 86 anos (grupo controle), em cinco faixas etárias (15-24 anos, 25-34 anos, 35-44 anos e 55 anos ou mais). Todos os indivíduos foram submetidos a uma breve entrevista para determinar a dominância manual, sendo considerada dominante a mão utilizada para escrever ou alimentar-se. Os critérios de exclusão dos participantes foram: relato de hospitalização recente por sessenta dias ou mais, dores nos membros superiores, qualquer restrição das atividades físicas normais e uso de medicamentos

que possam reduzir as habilidades motoras (como tranquilizantes, psicotrópicos).

Na tabela 4, observam-se os resultados encontrados com voluntários do sexo masculino sem deficiência física ou motora declarada, avaliados por Mendes et al (2001).

Tabela 4. Resultados do teste Box and Block aplicados a homens sem deficiência por Mendes et al (2001)

Idade (anos)	n	Mão	Média	SD	Mínimo	Máximo
15 – 24	41	D	69,5	8,75	46	84
		E	68,0	8,10	46	81
25 – 34	44	D	67,8	10,25	42	86
		E	66,5	9,07	49	86
35 – 44	46	D	67,9	11,18	43	91
		E	66,5	9,96	45	84
45 – 54	38	D	65,8	9,79	34	83
		E	64,6	9,85	34	80
55 ou mais 65	38	D	59,4	9,49	43	90
		E	57,1	7,83	43	75
Total	207	D	66,2	10,46	34	91
		E	64,7	9,72	34	86

BL/MIN, blocos por minuto; D, direito; E, esquerdo; n, número de pacientes; SD, desvio padrão.

Fonte: Mendes et al (2001)

Na tabela 5, observam-se os resultados encontrados com voluntárias do sexo feminino sem deficiência física ou motora declarada, avaliadas por Mendes et al (2001).

Tabela 5. Resultados do teste Box and Block aplicados a mulheres sem deficiência por Mendes et al (2001)

Idade (anos)	n	Mão	Média	SD	Mínimo	Máximo
15 – 24	39	D	68,3	9,62	50	94
		E	66,4	10,17	47	89
25 – 34	46	D	71,4	9,36	50	85
		E	68,7	9,10	44	86
35 – 44	50	D	69,0	9,03	46	87
		E	67,3	8,62	48	88
45 – 54	39	D	65,9	9,44	49	93
		E	63,6	9,72	43	85
55 ou mais 65	65	D	58,2	11,24	35	79
		E	57,3	10,69	34	80
Total	239	D	65,9	11,01	35	94
		E	64,1	10,64	34	89

BL/MIN, blocos por minuto; D, direito; E, esquerdo; n, número de pacientes; SD, desvio padrão.

Fonte: Mendes et al (2001)

Na tabela 6, observam-se os resultados quanto a sexo e lateralidade, nos voluntários avaliados por Mendes et al (2001).

Tabela 6. Resultados do teste Box and Block quanto a sexo e lateralidade por Mendes et al (2001)

Mão	Lateralidade	N	Mulheres Média	SD	n	Homens Média	SD
Direita	Destro	225	66,0	11,05	193	66,4	11,05
	Canhoto	9	67,0	10,07	8	66,6	10,07
	Ambidestro	5	58,0	9,87	6	61,3	9,87
Esquerda	Destro	225	64,1	10,72	193	64,6	9,56
	Canhoto	9	65,7	9,62	8	67,8	10,42
	Ambidestro	5	59,2	8,50	6	65,5	14,65

BL/MIN, blocos por minuto.

Fonte: Mendes et al (2001)

De acordo com Mendes et al (2001), a análise da destreza manual por faixa etária revelou decréscimo do desempenho com aumento da faixa etária, sendo este decréscimo significativo no grupo com faixa etária superior a 55 anos ($p < 0,01$). Não foram encontradas diferença estatisticamente significativa de desempenho no teste entre indivíduos do sexo masculino quando comparados aos do sexo feminino.

Quanto à lateralidade, não foi observada uma clara diferença; porém, os autores creditam que a pequena amostra de indivíduos canhotos ou ambidestros pode ter influenciado o resultado. Também não houve diferença significativa entre as faixas etárias 15-24, 25-24, 35-44 e 45-54 anos. Foi considerado como escore mínimo normal para ambos os sexos, até 54 anos, o número de 60 BL/MIN e para indivíduos com 55 anos ou mais, 54 BL/MIN, para ambas as mãos (MENDES et al, 2001).

Compreendidas a padronização do teste e todos os procedimentos de aplicação, na próxima seção, será apresentada a Abordagem para a Construção de *Serious Games* utilizada no planejamento e no desenvolvimento do teste *Box and Blocks* virtual.

2.4 *Serious Games* Baseados em Realidade Virtual para Saúde

Nesta seção, estão apresentados os principais conceitos relacionados a *serious games* baseados em realidade virtual. Dada a aplicação específica para a presente pesquisa, estão

referenciados trabalhos cuja temática foi voltada para a área da saúde. Este tópico se finaliza com a descrição da Abordagem de Construção de *Serious Games* utilizada neste estudo para o desenvolvimento da aplicação interativa do teste *Box and Blocks*, incluindo um esquema para a melhor compreensão do leitor.

Apesar de não haver uma definição precisa sobre o termo *serious games*, essa classe de jogos visa principalmente a simulação de situações práticas, oferecendo atividades que favorecem a absorção de conceitos e habilidades psicomotoras. Deste modo, o termo *serious games* passou a ser utilizado para identificar os jogos com um propósito específico, ou seja, que extrapolam a idéia de entretenimento e oferecem outros tipos de experiências, como aquelas voltadas ao aprendizado e ao treinamento (MORAES, MACHADO, NUNES, COSTA, 2012).

O que difere o *serious games* dos demais tipos de jogos é o foco em resultados específicos de aprendizagem. Quando não contemplam características comuns a jogos lúdicos, como vencer etapas e passar de fase, sendo desenvolvidos apenas para oportunizar aprendizagem de tarefas e mudar comportamentos motores e/ou cognitivos, também são chamados de **aplicações interativas** (DEGUIMENDJIAN, MIRANDA, ZEM-MASCARENHAS, 2016).

Atualmente, a conexão dos *serious games* à Realidade Virtual encontra-se na proposta das aplicações e, principalmente, na forma de exploração dos recursos computacionais. Utilizam visualização estereoscópica, dispositivos hápticos e modelagem realista, trazendo aplicações que utilizam a tecnologia em um contexto aplicável de imediato (MORAES, MACHADO, NUNES, COSTA, 2012).

O uso dos *serious games* para treinamento e simulação tem sido provavelmente a abordagem mais promissora no contexto da RV. Em geral, *serious games* baseados em RV exigem a definição dos equipamentos especiais a serem utilizados, avaliando seus benefícios no contexto do jogo. Deste modo, estereoscopia, sensações táteis, vibrações, elementos sobrepostos, monitoramento de movimentos e outras abordagens podem ser utilizados para garantir melhores resultados relacionados ao uso do jogo. Estes elementos também fornecem subsídios para a elaboração do roteiro, com foco no objetivo do jogo (MACHADO, MORAES, NUNES, COSTA, 2011).

Uma área que mais se beneficia dos *serious games* é a saúde. As dificuldades encontradas na obtenção de materiais, validação de produtos e treinamento de pessoal, bem como a necessidade de novas abordagens para reabilitação e ensino de hábitos saudáveis, tornam os jogos um importante aliado do ensino, treinamento e simulação para a saúde,

beneficiando profissionais e pacientes. A utilização destes jogos em ambientes imersivos e a inclusão de dispositivos não convencionais estabelecem uma relação direta com as aplicações interativas, na qual o conceito de *serious games* pode contribuir para a motivação do aprendizado em ambientes virtuais (MACHADO, MORAES, NUNES, 2009). Diversas áreas da saúde (como Medicina, Enfermagem, Odontologia, Fisioterapia) têm se beneficiado das potencialidades dos jogos, em especial nas questões que envolvem o aprendizado e treinamento (COSTA, MACHADO, MORAES, 2014).

As vantagens advindas da utilização desses jogos e ambientes para profissionais na saúde incluem: a melhoria do treinamento, possibilitando o exercício de casos raros ou incomuns; redução de riscos para pacientes reais como ferramenta de treinamento de habilidades clínicas; possibilidade de validação de procedimentos utilizando medidas objetivas para avaliação de habilidades; e possibilidade de experimentação de materiais usuais ou não usuais de laboratório. No campo da saúde, a integração entre *serious games* e realidade virtual também é importante, pois possibilita que as situações apresentadas aos usuários reproduzam a realidade e incluam o envolvimento dos sentidos humanos. (COSTA, MACHADO, MORAES, 2014).

De acordo com Costa, Machado e Moraes (2014), os *serious games* na área da saúde podem ser aplicados em terapias, monitoramento, treinamento, promoção e cuidado da saúde. Estes jogos podem oferecer novas ferramentas para tratamentos, motivar cuidados com a saúde, praticar atividades em ambientes mais realistas, desenvolver novas habilidades e conhecimentos adquiridos e possibilitar *feedback* personalizado. Assim, enquadram-se em quatro categorias principais: auxílio a terapias, promoção de saúde e condicionamento físico, monitoração clínica e treinamento de habilidades.

No contexto da saúde, as aplicações computacionais que utilizam RV são capazes de responder às ações dos usuários de forma interativa em ambientes tridimensionais, oferecendo realismo em tempo real. O estímulo das funções cognitivas, a motivação e a possibilidade de construção de novos conhecimentos são elementos fundamentais em um *serious game*. Por se tratar de uma aplicação de propósito específico, seu planejamento demanda o envolvimento de profissionais da área com a qual o conteúdo se relaciona (MACHADO, MORAES, NUNES, COSTA, 2011).

Para Moraes, Machado e Valença (2011), a presença e participação dos profissionais da saúde é essencial para que tais ferramentas tenham validade e possam ser amplamente utilizadas pelos usuários finais. Tal parceria tem contribuído, de forma significativa, no treinamento, educação e informação destes profissionais e de pacientes, uma vez que estas

ferramentas estimulam e motivam o aprendizado dos jogadores. Diversos fatores são considerados relevantes à expansão destas aplicações: as dificuldades encontradas na obtenção de materiais, validação de produtos e treinamento de pessoal, bem como a necessidade de novas abordagens para reabilitação e ensino de hábitos saudáveis.

2.4.1 Abordagem de Construção de Serious Games em Saúde

Diversos autores vem utilizando os *serious games* na área da saúde(MACHADO, MORAES, NUNES, 2009. MACHADO, MORAES, NUNES, COSTA, 2011. MORAIS, MACHADO, VALENÇA, 2011. MORAES, MACHADO, NUNES, COSTA, 2012. COSTA, MACHADO, MORAES, 2014). Os estudos são voltados para a educação e formação de novos profissionais, para o treinamento de procedimentos e técnicas e a para a construção de novas habilidades com pacientes; e todos utilizam a mesma abordagem.

Para os autores, a construção dos *serious games* deve incluir as etapas de planejamento e desenvolvimento do jogo.

Etapa 1 – Planejamento do Jogo:

- Definição do roteiro do jogo:

Serve para documentar o diferencial do jogo e a adequação à área a que se destina. Deve incluir os desafios ao usuário, a seleção de dispositivos de interação, o modo de visualização, o ponto de vista do usuário, a pessoa do jogo - primeira pessoa ou terceira pessoa, classificação e perfil dos usuáriose os elementos de entretenimento, quando estes configurarem um requisito do jogo.Os conteúdos e estratégias que serão explorados no jogo também devem ser descritos em detalhes nesta fase, salientando-se a necessidade de participação contínua dos profissionais da área, propondo, alterando e aprovando as formas de abordagem do conteúdo;

- Conceituação artística e gráfica:

Trata do seu projeto artístico e gráfico, sobre o qual o roteiro se desenrolará. Deve incluir as características dos cenários, os esboços dos personagens e a evolução da história, quando o jogo possui diversas fases. Nesta etapa também devem ser definidos os sons que o jogo utilizará, ressaltando que o feedback sonoro é uma das formas de comunicação com o jogador. Utilizando como exemplo um jogo de aprendizagem de anatomia, esta etapa corresponderia ao planejamento dos modelos tridimensionais dos

órgãos que serão usados, definição de suas cores e texturas, dos sons a serem emitidos em resposta à ação do jogador, bem como dos cenários onde estes estarão contidos;

- Critérios de jogabilidade:

Aborda as regras do jogo e os diversos níveis de dificuldade a serem disponibilizados. Tais regras são especificadas pela equipe de desenvolvimento e exploram estratégias e técnicas que serão responsáveis pelo controle do jogo. Nos casos em que é necessário avaliar o usuário/jogador, essas regras serão levadas em consideração para verificar se esse usuário conseguiu vencer os desafios do jogo de modo compatível com o esperado;

- Design da interface:

Refere-se à forma de comunicação entre o jogo e o jogador, dividindo-se em ingame e outgame. A interface ingame é aquela disponibilizada durante o jogo e é responsável pelo envio de dados do jogador para a aplicação, e vice-versa. A interface outgame se caracteriza pela apresentação do jogo, como introdução e instruções. A melhor interface é aquela que passa completamente despercebida para o jogador, permitindo que ele se concentre no desenrolar do enredo e de suas ações e reações. Interfaces muito elaboradas podem confundir o jogador ou chamar a atenção mais para si do que para o foco principal do jogo: a interação com a história. Assim, uma interface complexa pode desmotivar o jogador e fazê-lo se desinteressar pelo jogo.

Etapa 2 – Desenvolvimento do Jogo:

Terminada a etapa de planejamento, o desenvolvimento de um jogo se divide em dois caminhos distintos:

- Modelagem:

Inclui a elaboração em software dos elementos que serão usados, tais como modelos tridimensionais, cores e texturas;

- Programação:

Inclui a implementação em software do mecanismo lógico do jogo para a integração dos elementos gráficos e das estratégias de controle. Inclui ainda a coordenação de tarefas, tais como gerenciamento da rede para a comunicação com outros jogadores e

gerenciamento de sons. Em geral, esta etapa se inicia com o desenvolvimento de um protótipo, ou seja, uma versão preliminar que evoluirá ao longo da implementação.

Para a melhor compreensão, a abordagem descrita pelos autores está esquematizada na tabela a seguir. Nela, encontram-se descritos as etapas do projeto, as sub-etapas e os principais passos decisórios que permeiam a construção de um *serious game*.

Tabela 7. Abordagem para construção do *serious game*

ETAPA	SUB-ETAPA	PASSOS DECISÓRIOS
PLANEJAMENTO	Roteiro do Jogo	Desafios do jogo
		Seleção dos dispositivos de interação
		Modo de visualização
		Ponto de vista do usuário
		Pessoa do jogo
		Perfil e classificação do usuário
	Conceituação artística e gráfica	Características dos cenários
		Esboço dos personagens
		Feedback sonoro
	Critérios de jogabilidade	Especificações do jogo
		Regras e estratégias
		Dificuldades e desafios
	Design da interface	Interface in game
Interface outgame		
DESENVOLVIMENTO	Modelagem	Modelos tridimensionais
		Cores e texturas
	Programação	Coordenação das tarefas
		Estratégias de controle
		Integração dos elementos gráficos

Fonte: Elaborada pela autora (2017), baseado em autores(MACHADO, MORAES, NUNES, 2009. MACHADO, MORAES, NUNES, COSTA, 2011. MORAIS, MACHADO, VALENÇA, 2011. MORAES, MACHADO, NUNES, COSTA, 2012. COSTA, MACHADO, MORAES, 2014)

Uma vez que todo o referencial teórico proporcionou a base científica necessária, o capítulo seguinte descreve os Métodos e Técnicas utilizados na presente pesquisa.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo utilizou o método hipotético-dedutivo, tratando-se de uma pesquisa de campo, com coleta de dados transversal e amostra por conveniência.

Para apresentar os materiais e métodos utilizados na presente pesquisa, este capítulo foi dividido nas seguintes seções:

- Construção do teste virtual: nesta seção, estão explicitados o planejamento e o desenvolvimentos dos testes virtuais imersivos e não-imersivos, baseados na Abordagem para a Construção de *Serious Games* e nas heurísticas de Sutcliffe e Gault (2004);
- Descrição das Etapas da Pesquisa: nesta seção, estão descritas as três etapas do experimento – física, virtual não-imersiva e virtual imersiva, incluindo a descrição e ambientação dos setups utilizados em cada uma dessas etapas, assim como dos equipamentos utilizados;
- Apresentação do Estudo de Usabilidade: estão descritos as heurísticas que conduziram a pesquisa e a elaboração do questionário, aplicado com a técnica de entrevista pela pesquisadora. O estudo de usabilidade foi aplicado apenas nas etapas virtuais. As heurísticas foram utilizadas para conduzir a criação dos ambientes e para elaborar o questionário, permeando toda a pesquisa virtual. Porém, é importante ressaltar que não houve avaliação com especialistas;
- Realização dos Testes: nesta seção, estão descritos os números de testes realizados por cada usuário e o sequenciamento dos setups, cuja ordem foi alterada para melhor análise estatística. Estarão explicitados ainda os intervalos de tempo programados entre a realização de cada etapa;
- Caracterização da Amostra: nesta seção, estão relatados o número de participantes do estudo, o perfil da amostra, os critérios de inclusão e exclusão e os dados coletados dos voluntários;

- Descrição da Análise dos Resultados: estão descritos a análise qualitativa descritiva e os testes estatísticos que foram utilizados para estabelecer as análises intra e inter-grupos.

Todas as etapas experimentais foram realizadas no CESAR – Centro de Estudos Avançados do Recife, em suas duas unidades localizadas na região do Porto Digital do Recife, no Recife Antigo. Além da disponibilização do espaço físico para a realização dos testes, a instituição também cedeu todos os equipamentos utilizados nos testes virtuais. A descrição da estrutura física e dos equipamentos utilizados está disposta nas seções de ambientação, descritas nas etapas a seguir.

3.1 Construção dos Testes Virtuais

Na presente pesquisa, o teste *Box and Blocks* foi recriado virtualmente dentro da concepção de *serious games*. Para isto, o jogo desenvolvido incluiu apenas a tarefa de deslocar blocos, descrita por Mathiowetz et al (1985) para avaliar a destreza manual. Considerando portanto que o roteiro não contemplou o desafio de ganhar ou perder o jogo e passar de fases, neste estudo optou-se por adotar o termo aplicação interativa. Tratou-se apenas de uma decisão conceitual.

Para o desenvolvimento da aplicação interativa, utilizou-se a abordagem para a construção de *serious games* descrita a seguir. Para esta seleção, foram considerados dois critérios:

1. A aplicabilidade da abordagem para a tarefa exigida no teste *Box and Blocks*;
2. E a validação desta abordagem na área de saúde.

Como a validação da ferramenta de construção de *serious games* não foi objetivo do presente estudo, considerou-se ainda a incidência do uso da abordagem. Assim, cinco trabalhos foram analisados e selecionados (MACHADO, MORAES, NUNES, 2009. MACHADO, MORAES, NUNES, COSTA, 2011. MORAIS, MACHADO, VALENÇA, 2011. MORAES, MACHADO, NUNES, COSTA, 2012. COSTA, MACHADO, MORAES, 2014) e todos utilizam a mesma abordagem.

Além do cumprimento das etapas descritas por esses autores quanto ao planejamento e desenvolvimento dos testes virtuais, foram consideradas também sete das doze heurísticas

propostas por Sutcliffe e Gault (2004). São elas: ‘Presença’, ‘Engajamento Natural’, ‘Expressão Natural da Ação’, ‘Compatibilidade da Tarefa’, ‘Coordenação Ação / Representação’, ‘Reação Realista’ e ‘Pontos de Vista Fielis’. A heurística ‘Apoio à Aprendizagem Ativa’ orienta os pesquisadores a fornecer todo o suporte e conhecimento para a melhor promover a interação com o sistema. Esta heurística foi considerada durante toda a pesquisa e balizou as explicações prévias fornecidas aos usuários.

O desenvolvimento da aplicação interativa contou com a colaboração de uma equipe de professores e alunos do curso de Jogos Digitais da UNICAP (Universidade Católica de Pernambuco), sob orientação e coordenação do Prof. Anthony Lins. Esta equipe foi responsável pela modelagem e programação da aplicação seguindo o planejamento definido pela pesquisadora responsável, que acompanhou todo o processo de criação.

3.1.1 Requisitos de Usabilidade Utilizados na Construção dos Testes Virtuais

Nesta seção, estão descritas as orientações fornecidas pelas heurísticas de Sutcliffe e Gault (2004) e como estas foram aplicadas no planejamento e, conseqüentemente, desenvolvimento da aplicação interativa. A descrição completa das heurísticas encontra-se no item 2.1.4.2 do capítulo de Referencial Teórico e Estado da Arte do presente trabalho.

A heurística descrita como ‘Presença’ estabelece o requisito de que o usuário deve ter a percepção subjetiva de estar em um mundo “real” durante a interação virtual. Também é definida como “estar lá”.

Para que a percepção do usuário seja compatível com a experiência em contextos físicos, a visualização do sistema deve ser sempre realizada em primeira pessoa. O usuário deve enxergar e se orientar no ambiente virtual sob a mesma perspectiva esperada em ambiente reais. Assim, espera-se que o usuário veja apenas partes do corpo do avatar que ele veria do seu próprio corpo e que a câmera central da aplicação interativa esteja corretamente dimensionada para o ângulo de visão esperado para a posição em que o usuário é colocado.

Sobre a escolha do corpo do avatar, inicialmente foi definido como modelo ideal a visualização esperada em contextos físicos que incluiria os membros superiores, o tronco e os membros inferiores. Entretanto, o retrato fiel do avatar exige a adequação às características dos usuários, principalmente às correspondentes a gênero, etnia, faixa etária e biótipo. Assim, optou-se por utilizar apenas a representação das mãos com luvas brancas, com um modelo gráfico do sistema do Leap Motion.

Esta decisão considerou dois aspectos:

1. A não adequação do avatar às reais características dos usuários poderia causar o efeito contrário pela não identificação da pessoa com a representação gráfica, reduzindo a percepção de presença;
2. A pesquisa não possui nenhum critério de exclusão relacionado a sexo, gênero, etnia e biótipo, com faixa etária extensa (21 a 60 anos) e amostra por conveniência, podendo incluir usuários com perfis diversos.

A heurística ‘PRESENÇA’ influenciou as seguintes decisões:

1. Adoção da visão em primeira pessoa;
2. Definição do corpo do avatar com o uso de mãos que simulavam uma luva branca e descaracterizavam o usuário;
3. Posicionamento do ângulo de visão considerando o indivíduo sentado, com a altura entre os olhos e as mãos estimada a partir de um usuário médio.

É importante ressaltar que o cumprimento da heurística de ‘Presença’ aqui descrito se limita aos requisitos adotados para a construção dos testes. Esta é a heurística mais complexa da realidade virtual, pois engloba aspectos subjetivos de envolvimento durante a interação. O que aqui se buscou descrever foram apenas os requisitos objetivos e técnicos que podem influenciar a percepção subjetiva do usuário.

A segunda heurística é o ‘Engajamento Natural’. Ela estabelece a exigência de naturalidade do sistema. Para cumprir com esta heurística, foi decidido que o ambiente seria construído com texturas realistas, utilizando o dimensionamento da caixa (*box*) e as cores conforme definido por Mathiowetz et al (1985).

A heurística ‘ENGAJAMENTO NATURAL’ influenciou as seguintes decisões:

1. Adoção de texturas realistas para todos o ambiente;
2. Dimensionamento da caixa (*box*) de acordo com as medidas definidas por Mathiowetz et al (1985);
3. Caixa (*box*) na textura de madeira e 150 blocos (*blocks*), divididos em três cores.

A terceira heurística é a ‘Compatibilidade entre Tarefas e Domínio do Usuário’, que define que deve-se atender a expectativa do usuário quanto às ações realizadas no mundo real. Para cumprir essa heurísticas, foi definido que a tarefa exigida no teste virtual deveria

corresponder à tarefa do *Box and Blocks*. Foi decidido que as regras e desafios da aplicação interativa deveriam corresponder às dificuldades encontradas no teste físico. Além disso, esta heurística permeou a escolha do próprio teste que teve como principal objetivo atender de forma específica a área da saúde.

Apesar das tarefas serem compatíveis, houve a mudança de uma única regra. No teste físico, os autores definiram um prazo de 15 segundos para treino e experimentação do teste. Este tempo é utilizado apenas para melhor conhecer o teste *Box and Blocks*, pois o comportamento dos objetos físicos dentro do contexto real já é conhecido pelos usuários. Para o uso dos sistemas virtuais, este prazo foi insuficiente, pois existe a necessidade de aprendizagem do comportamento do próprio sistema virtual.

Assim, adotou-se o prazo de 1 minuto para treino e experimentação de todos os testes virtuais. O tempo expandido permitiu ao usuário alcançar melhor orientação espacial dentro do ambiente virtual, regular o posicionamento das suas mãos sobre o Leap Motion e experimentar a manipulação de objetos virtuais. Como esta heurística trata do domínio do usuário, entendeu-se nesta pesquisa que o aumento do prazo poderia melhorar o desempenho da tarefa.

A heurística ‘COMPATIBILIDADE ENTRE TAREFAS E DOMÍNIO DO USUÁRIO’ influenciou as seguintes decisões:

1. Reprodução da regra principal do teste – número de cubos deslocados em 1 minuto;
2. Alteração do tempo de treino e experimentação do teste de 15 segundos para 1 minuto;
3. Início do teste com a mão dominante, seguido imediatamente pela mão não-dominante;
4. Reprodução do desafio de vencer a altura da divisória da caixa (*box*).

A quarta heurística é a ‘Expressão Natural da Ação’ que afirma que o setup do experimento não deve restringir ações físicas normais. Para o cumprimento desta heurística, especial cuidado deve ser tomado para que os usuários não se choquem com objetos físicos, durante a interação virtual. Além disso, é extremamente importante que os dispositivos hápticos não provoquem restrições de movimento ou constrangimentos acionais e/ou biomecânicos.

A heurística ‘EXPRESSÃO NATURAL DA AÇÃO’ influenciou as seguintes decisões:

1. O mobiliário usado nos setups virtuais imersivo e não-imersivos deve ser ajustável;
2. A altura do assento deve corresponder à altura da cavidade poplíteica com tríplice flexão de 90° dos membros inferiores;
3. A altura da mesa de apoio do Leap Motion deve corresponder à altura dos cotovelos em flexão de 90°;
4. O envelope acional do usuário deve ser respeitado, preservando a distância adequada entre o tronco do indivíduo e a mesa de altura fixa onde se localizava o equipamento de exibição (monitor ou TV).

A quinta heurística é a ‘Coordenação Ação / Representação’ que determina que o tempo de resposta entre a ação do usuário e a atualização no ambiente de exibição deve ser inferior a 200 milissegundos para evitar efeitos adversos – náusea, vertigem, cefaleia, visão turva ou dupla. Esta heurística influencia a programação exigindo sincronismo entre a ação do usuário e os feedbacks visual e sonoro do sistema.

Assim, todo o sistema foi pensado e concebido de forma a permitir o menor *delay* possível. O cumprimento desta heurística foi especialmente difícil durante a decisão de realizar os experimentos não-imersivos com metade da amostra com o uso de um notebook, que possui capacidade de processamento da informação abaixo do nível desejado para o sistema. Esta decisão foi motivada pelo limitado acesso que muitos centros de saúde possuem a testes como o *Box and Blocks*.

Mas, para que esta decisão pudesse ser mantida, a avaliação desta heurística foi incluída no estudo de usabilidade desta pesquisa. Pois, compreende-se que a rejeição subjetiva do usuário pode inviabilizar um sistema, ainda que os resultados objetivos sejam atendidos. Ou seja, ainda que os resultados quantitativos dos testes não-imersivos com o uso do notebook (Acer Aspire V5-471 series, modelo MS2360, processador Intel Celeron, 1T de memória RAM, Windows 8) pudessem corresponder estatisticamente aos testes físicos, se a avaliação destes critérios de usabilidade fossem negativos, o sistema deveria ser contraindicado.

Para que as características de processamento do software pudessem ser isoladas, optou-se por subdividir os testes não-imersivos em dois grupos:

1. O primeiro grupo de quinze usuários realizou os testes das visões anterior e superior através do processamento de um notebook (Acer Aspire V5-471 series, modelo MS2360, processador Intel Celeron, 1T de memória RAM, Windows 8);

2. O segundo grupo, também com quinze usuários, realizou os testes com o mesmo computador utilizado com o Oculus Rift (Desktop com processador Intel Core i5, placa de vídeo Nvidia GTX 970 / AMD, 8GB de memória RAM, Windows 7 x64). Ambos os computadores, foram conectados aos mesmos dispositivos de exibição (monitor 15" e de uma TV de 42").

A heurística 'COORDENAÇÃO AÇÃO / REPRESENTAÇÃO' influenciou as seguintes decisões:

1. O sistema foi concebido com o objetivo de possuir o menor delay possível;
2. O sincronismo deve estar presente entre as ações dos usuários e os feedbacks ofertados;
3. Esta heurística deve ser contemplada na avaliação de usabilidade de forma a identificar a influência qualitativa de qualquer atraso do sistema no desempenho do usuário.

A sexta heurística é chamada de 'Reação Realista' e estabelece que o comportamento dos objetos virtuais devem estar em conformidade com as leis da Física. Para o cumprimento desta heurística dois pontos que exigiram maior atenção foram a adequação gravitacional da queda dos cubos e a colisão dos objetos virtuais.

A heurística 'REAÇÃO REALISTA' influenciou as seguintes decisões:

1. A programação do sistema deve contemplar o comportamento gravitacional esperado para objetos físicos;
2. A colisão entre objetos virtuais deve contemplar, sempre que possível, a lei física de ação e reação;
3. A manipulação dos objetos virtuais deve cumprir, sempre que possível, com o requisito metafísico de impenetrabilidade (dois corpos não podem ocupar o mesmo espaço, ao mesmo tempo).

A sétima e última heurística intitulada 'Pontos de Vista Fíéis' determina que a perspectiva de visualização do ambiente deve obedecer o movimento da cabeça do usuário.

Para o cumprimento desta heurística, foram tomados por base os pontos de vista presentes na realização dos teste físico.

Quando um indivíduo interage com o *box and blocks* físico, através dos seus movimentos de cabeça e tronco é possível observar o teste em duas perspectivas: pela frente que é a face anterior da caixa (*box*), e por cima que é a face superior, o topo da caixa (*box*). Na realidade virtual imersiva, quando o indivíduo percebe-se dentro do ambiente virtual, todos os ângulos de visão permanecem preservados.

Porém, nas formas não-imersivas, ainda que a tridimensionalidade dos objetos virtuais seja preservada, a perspectiva de visualização fica limitada ao equipamento de exibição utilizado, neste caso monitor ou TV.

Assim, a heurística ‘PONTOS DE VISTA FIÉIS’ influenciou as seguintes decisões:

1. O teste virtual não-imersivo foi dividido em duas formas de visualização: visão anterior e visão superior;
2. O teste virtual imersivo deve ser concebido e programado de forma a alterar o ângulo de visão a partir de qualquer movimento da cabeça do usuário.

Na tabela 8, observa-se a correlação entre as heurísticas e a abordagem para desenvolvimento de *serious games* apresentada no Referencial Teórico.

Nesta tabela, encontram-se correlacionados as etapas e sub-etapas da Abordagem de Construção para *Serious Games*(MACHADO, MORAES, NUNES, 2009. MACHADO, MORAES, NUNES, COSTA, 2011. MORAIS, MACHADO, VALENÇA, 2011. MORAES, MACHADO, NUNES, COSTA, 2012. COSTA, MACHADO, MORAES, 2014) com as heurísticas de Sutcliffe e Gault (2004). Os principais passos decisórios que permearam o desenvolvimento da aplicação interativa estão descritos como o detalhamento do projeto.

O planejamento e o desenvolvimento dos testes virtuais contemplaram as formas imersiva e não imersivas do *Box and Blocks*. Na coluna do detalhamento, é possível observar algumas diferenciações do projeto, especialmente no cumprimento da heurística ‘Pontos de Vista Fiéis’.

Tabela 8. Correlação entre heurísticas e abordagem de *serious games*

Heurística	Etapa da Abordagem	Sub-etapa	Detalhamento
Presença	Planejamento	Roteiro	Usar visão em 1ª pessoa
			Usar modelo das mãos virtuais não personificado
			Fixar câmera no ângulo de visão do usuário
Engajamento Natural	Planejamento	Conceituação artística e gráfica	Simular caixa de madeira e cubos coloridos
	Planejamento	Critérios de jogabilidade	Especificar <i>box</i> virtual com o dimensionamento do teste físico
	Desenvolvimento	Modelagem	Usar texturas realistas
Compatibilidade entre tarefa e domínio	Planejamento	Critérios de jogabilidade	Manter regras do teste físico Aumentar tempo de treino
Coordenação Ação / Representação	Desenvolvimento	Programação	Alcançar delay mínimo Estabelecer sincronismo entre ações e feedbacks
Reação Realista	Desenvolvimento	Programação	Adequado comportamento às leis da Física
Pontos de Vista Fíéis	Planejamento	Roteiro	Definir teste virtual não-imersivo com visão anterior
	Desenvolvimento	Modelagem Programação	Definir teste virtual não-imersivo com visão superior Definir teste virtual com perspectiva de visão acompanhada pelo movimento da cabeça

Fonte: Elaborada pela autora (2017)

3.1.2 Planejamento e Desenvolvimento dos Testes Virtuais

Nesta seção, está detalhada a abordagem de construção de *serious games* utilizada para o planejamento e desenvolvimento de todos os testes virtuais. Antes de descrever a construção dos ambientes imersivo e não-imersivos, serão discutidos alguns pontos decisórios importantes.

Os aspectos relacionados à colisão e impenetrabilidade configuram o cumprimento mais difícil da heurística ‘Reação Realista’. A colisão entre objetos virtuais pode ser resolvida nas situações em que o cubo (*blocks*) era lançado e se chocava com a parede da caixa (*box*). Entretanto, durante o período em que o cubo estava na mão do usuário, este objeto perpassava por outros objetos virtuais. Isto ocorre porque a ação do usuário é sempre prioritária no sistema. O movimento das mãos dos usuário, lido e transmitido ao ambiente virtual pelo Leap Motion, atravessava as paredes da caixa e a superfície dos cubos, comprometendo a adequação à lei física de ação e reação e metafísica de impenetrabilidade. Ainda que algoritmos de detecção tivessem sido trabalhados, estes problemas não puderam ser resolvidos.

Em 2005, Sutcliffe e Gault descreveram este problema e recomendaram o uso de dispositivos de feedback tátil, que fornecessem ao usuário da informação sensorial da localização dos objetos virtuais. Doze anos depois, mesmo com todo o avanço tecnológico da última década, a colisão ainda não é um problema de fácil solução. Esta lacuna foi considerada na presente pesquisa e optou-se pela aquisição de uma luva chamada *Glove One*, comprada em dezembro de 2015, na época em pré-venda, e que até a presente data não foi entregue.

Havia sido previsto como desafio da aplicação interativa ter que ultrapassar a divisória da caixa (*box*), que é mais alta que as laterais. Esta dificuldade foi selecionada porque é imposta no teste físico. Inclusive, foi eleito como critério de jogabilidade a modificação da cor do cubo ao ultrapassar a divisória. Quando o usuário transporta o cubo por cima da divisória, o cubo fica verde. Se ele atravessa a divisória, o cubo fica vermelho. Este critério foi sugerido como um feedback visual na tentativa de fornecer subsídios aos usuários e não contar aqueles cubos que ficassem vermelhos.

Entretanto, diante da ausência da colisão e do feedback tátil, a informação visual não foi suficiente para orientar os usuários e, após a realização dos pré-testes, esta regra foi desconsiderada. Os usuários eram devidamente orientados a ultrapassar a divisória, porém quando eventualmente apareciam cubos vermelhos, estes eram contabilizados.

Outro ponto relevante é a dificuldade de orientação espacial em ambientes virtuais. As noções de altura eram principalmente exigidas para regular a distância entre a mão real e o Leap Motion, sendo baseada no feedback visual da mão virtual. Para facilitar este posicionamento, adotou-se o recuso de sombra para as mãos virtuais.

3.1.2.1 Planejamento da Aplicação Interativa

Nesta seção, está descrito o planejamento da construção da aplicação interativa, com base na abordagem para *serious games*. Para isto, serão contempladas as etapas de ‘Roteiro da Aplicação Interativa’, ‘Conceituação Artística e Gráfica’, ‘Critérios de Jogabilidade’ e ‘Design da Interface’.

3.1.2.1.1 Roteiro da Aplicação Interativa

Para a definição do roteiro da aplicação interativa, foram estabelecidos os passos decisórios descritos a seguir.

- Desafios da aplicação interativa

O desafio foi baseado na tarefa do próprio teste *Box and Blocks*, sendo estabelecido como deslocar o maior número de blocos em um minuto.

- Seleção dos dispositivos de interação

Para a realização dos testes virtuais imersivo e não-imersivos foi selecionado o dispositivo Leap Motion, que usa infravermelho para ler os movimentos das mãos, caracterizando-se como uma tecnologia gestual.

Figura 4. Leap Motion



Fonte: Elaborada pela autora (2017)

- Modo de visualização

O modo de visualização variou entre as formas imersiva e não-imersivas.

Para a realização dos testes não-imersivos foram utilizados um monitor de 15" e de uma TV de 42". O monitor foi selecionado por ser o dispositivo de visualização mais comum em uso com computadores. Já a TV de 42" foi escolhida pela possibilidade de aumentar a visualização do teste. Com a utilização da TV, o dimensionamento do teste virtual ficou próximo do tamanho do *Box and Blocks* físico, definido por Mathiowetz et al (1985).

Para a realização dos teste imersivo, foi utilizado o equipamento Oculus Rift que limita toda a visão do usuário para o ambiente virtual.

Figuras 5 e 6. Oculus Rift



Fonte: Elaboradas pela autora (2017)

- Ponto de vista do usuário

Os pontos de vista variaram de acordo com as formas imersiva e não-imersiva, objetivando cumprir com a heurística 'Pontos de Vista Fieis'. Para a realização dos testes não-imersivos, foram definidos dois pontos de vista: visão anterior e visão superior. Para o teste imersivo, o ponto de vista variou de acordo com a movimentação da cabeça do usuário.

- Pessoa da aplicação interativa

Os testes foram definidos em primeira pessoa. Em ambas as formas virtuais, os usuários viam apenas as mãos do avatar. No ambiente imersivo, a câmera foi fixada na altura estimada dos olhos do usuário.

- Perfil e classificação dos usuários

O perfil foi definido de acordo com o usuário fim que são indivíduos adultos, de ambos os sexos, que cursem com algum tipo de deficiência que altere a destreza manual.

3.1.2.1.2 Conceituação Artística e Gráfica

Para a definição da conceituação artística e gráfica, foram estabelecidos os passos decisórios descritos a seguir.

- Características dos cenários

Os cenários variaram de acordo com as formas imersiva e não-imersiva. Para a realização dos testes não-imersivos na visão anterior, foi definido um cenário de fundo da caixa (*box*) do teste. Este cenário limitou-se ao fundo da tela e seu ponto de vista foi fixado pela face anterior do teste. Para a realização dos testes não-imersivos na visão superior, foi definido que o usuário veria apenas o *Box and Blocks*. Este cenário limitou-se ao próprio teste e seu ponto de vista foi fixado pela face superior da caixa. Para o teste imersivo, foi definido um cenário amplo, que simulou um consultório com quatro ambientes: 1. Área do teste *Box and Blocks*; 2. Sala de estar; 3. Sala de avaliação e; 4. Escritório.

- Esboço dos personagens

Objetivando não personificar o avatar, foi definida uma identidade visual que não caracterizasse o personagem quanto a sexo, gênero, etnia, biótipo ou faixa etária. Assim, adotou-se um modelo pré-definido do Leap Motion, que se parece com um par de luvas brancas. Para melhor orientar espacialmente o usuário, definiu-se o uso de sombra para as mãos virtuais.

- Feedback sonoro

O feedback sonoro foi utilizado apenas na versão imersiva e simulou o som de cubo de madeira batendo numa caixa de madeira.

3.1.2.1.3 Critérios de Jogabilidade

Para a definição dos critérios de jogabilidade, foram estabelecidos os passos decisórios descritos a seguir.

- Especificações do teste *Box and Blocks* virtual

As especificações seguiram o protocolo de Mathiwetz et al (1985) com as seguintes determinações: 1. A caixa (*box*) e os cubos (*blocks*) virtuais deveriam possuir as mesmas

dimensões do teste físico; 2. A caixa (*box*) ficaria colocada longitudinalmente à mesa na frente do usuário; 2. Estariam disponibilizados 150 cubos coloridos, preferencialmente com as cores primárias – amarelo, azul e vermelho; 3. O teste sempre se iniciaria com o lado dominante, e os cubos ficariam sempre localizados do lado da mão do teste; 4. Imediatamente após o teste com o lado dominante, o membro superior não dominante deveria ser testado.

- Regras

As regras seguiram o protocolo de Mathiowetz et al (1985). A única exceção foi a alteração do prazo de 15 segundos para treino. Objetivando propiciar melhor compatibilidade entre a tarefa e o domínio do usuário, o prazo de treino foi aumentado para 1 minuto. Assim, ficaram determinadas as seguintes determinações: 1. Um período de 1 minuto deveria ser ofertado, antes do início do teste válido; 2. Imediatamente antes do início do teste, os sujeitos deveriam permanecer com as mãos ao lado da caixa; 3. Ao sinal do examinador, o usuário deveria deslocar um bloco de cada vez com a mão dominante, transportando-o sobre a divisória e liberando-o no compartimento oposto; 4. O procedimento deve ser então repetido com a mão não dominante; 5. Caso o usuário pegasse dois blocos ao mesmo tempo, deveria ser contado apenas um ponto.

- Dificuldades

Durante a realização do teste físico, a maior dificuldade encontrada é vencer a altura da divisória. Como dito no item acima (regras), os usuários foram orientados a transportar os cubos sobre a divisória. Entretanto, diante das dificuldades em estabelecer a colisão dos objetos virtuais e da ausência do feedback tátil, ficou definido que deveriam ser contabilizados os cubos que perpassassem pela divisória. Para encorajar os usuários a deslocar os cubos sobre a divisória, criou-se um feedback visual que consistia na mudança da cor do cubo após o deslocamento para o outro compartimento. Quando o cubo fosse deslocado sobre a divisória, ele ficaria verde. E, caso perpassasse pela divisória, ficaria vermelho.

3.1.2.1.4 Design da Interface

Para o usuário, considerou-se apenas a interface *ingame*, pois todas as operações de apresentação deveriam fornecidas pela pesquisadora, cumprindo com a heurística ‘Aprendizagem Ativa’.

A interface outgame foi projetada para uso exclusivo do examinador do teste e se destinava a identificar o usuário e selecionar as formas de visão e mão que seria avaliada.

- Interface Ingame

Consistiria no próprio teste virtual e o usuário não precisaria selecionar entradas e saídas do sistema. O avaliador ficaria encarregado de operar o sistema de forma que a aplicação estivesse pronta para uso.

- Interface Outgame

Foram definidas duas interfaces outgame, uma para os testes não-imersivos e outra para o teste imersivo. Ambas deveriam incluir a identificação do usuário e a seleção do lado do teste – dominante ou não dominante. A única diferença deveria ser a seleção da visão do teste não imersivo – anterior ou superior.

3.1.2.2 Desenvolvimento da Aplicação Interativa

Nesta seção, está descrito o desenvolvimento da construção da aplicação interativa, com base na abordagem para *serious games*. Para isto, estão contempladas as etapas de ‘Modelagem’ e ‘Programação’.

3.1.2.2.1 Modelagem

A modelagem foi baseada no planejamento da aplicação interativa, e obteveos seguintes passos decisórios: 1. Uso de modelos tridimensionais; 2. Uso de texturas realistas; 3. Uso de cores previstas no teste físico.

Sobre as cores dos cubos (*blocks*), havia sido definido o uso das cores primárias – amarelo, azul e vermelho. Quando a modelagem do teste foi concluída, observou-se que o tom de vermelho selecionado não estabelecia bom contraste com a cor da textura de madeira da caixa. Assim, optou-se por trocar o vermelho pela cor laranja. Os cubos foram divididos em três grupos de 50, nas cores amarelo, azul e laranja.

A modelagem dos testes pode ser observada nas figuras a seguir.

As figuras 7, 9 e 11 referem-se ao teste *Box and Blocks* virtual não imersivo. O sistema se inicia com a interface outgame não imersiva (figura 7), onde é preciso digitar o

nome do usuário, selecionar qual membro superior será avaliado – direito ou esquerdo, e qual a visão escolhida para o teste.

Na interface outgame não imersiva, a visão superior foi chamada de Topo. Inicialmente, aparecem pré-selecionadas as opções de mão esquerda e visão superior (topo). Para realizar o teste com a mão direita ou com a visão anterior, o examinador deve desmarcar as opções pré-selecionadas.

Quando a opção canhoto estava marcada, o teste se iniciava com os blocos localizados no compartimento esquerdo da caixa. O teste era realizado com a mão esquerda e os cubos eram deslocados da esquerda para a direita. Quando estava desmarcada, o teste se iniciava com os cubos do lado direito do compartimento e o teste era realizado no sentido da direita para a esquerda.

Após definir as seleções, o examinador deve clicar na opção ‘iniciar’.

Figura 7. Interface outgame não imersiva



** Para usar a versão destro, primeiro desmarque a opção canhoto. **

Nome do Usuário:
Digite o nome..

Orientação:
 Canhoto

Visão do Usuário:
 Topo

Iniciar

Fonte: Elaborada pela autora (2017)

Na figura 8, observa-se a visão anterior do teste *Box and Blocks* físico. A foto foi retirada no ângulo de visão real do usuário quando olha para a caixa de frente.

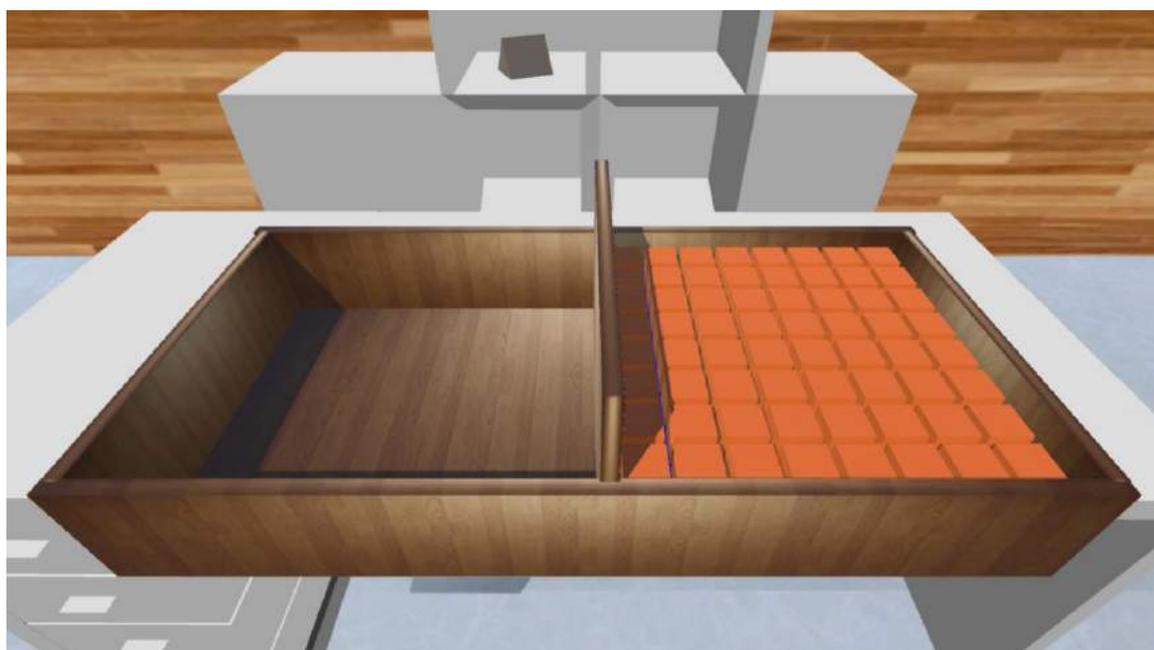
Na figura 9, observa-se a imagem da aplicação interativa na visão anterior.

Figura 8. Visão anterior do teste físico *Box and Blocks*



Fonte: Elaborada pela autora (2017)

Figura 9. Visão anterior do teste virtual *Box and Blocks*



Fonte: Elaborada pela autora (2017)

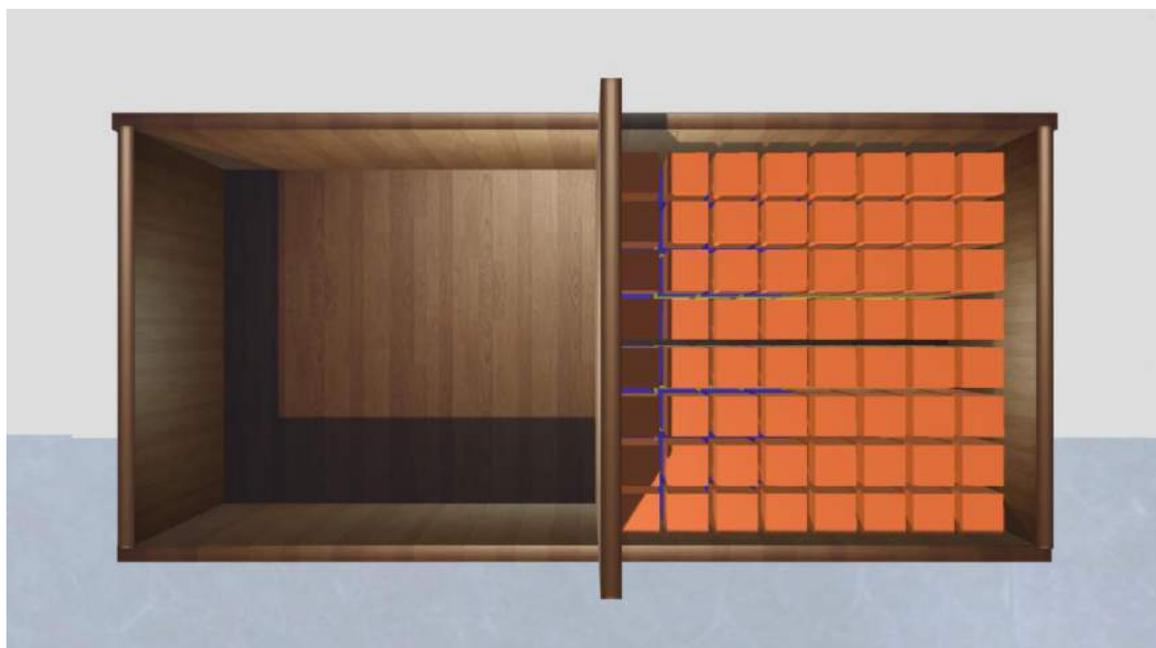
Na figura 10, observa-se a visão superior do teste *Box and Blocks* físico. A foto foi retirada no ângulo de visão real do usuário quando olha para a caixa por cima. Na figura 11, observa-se a imagem da aplicação interativa na visão superior.

Figura 10. Visão superior do teste físico *Box and Blocks*



Fonte: Elaborada pela autora (2017)

Figura 11. Visão superior do teste virtual *Box and Blocks*



Fonte: Elaborada pela autora (2017)

As figuras 12 a 16 referem-se ao teste *Box and Blocks* virtual imersivo.

O sistema se inicia com a interface outgame imersiva (figura 12), onde é preciso digitar o nome do usuário e selecionar qual membro superior será avaliado – direito ou esquerdo. Após definir as seleções, o examinador deve clicar na opção ‘iniciar’.

Figura 12. Interface outgame imersiva



Fonte: Elaborada pela autora (2017)

Nas figuras 13 a 16, pode-se observar o cenário criado para o teste imersivo. Este cenário simulou um consultório, subdividido em quatro ambientes:

1. Área do teste *Box and Blocks*;
2. Sala de estar;
3. Sala de avaliação e;
4. Escritório.

A câmera central, que determinava a localização do usuário na aplicação interativa, ficava localizada na área do teste *Box and Blocks*, conforme demonstrado na figura 13. O usuário percebia-se sentado diante de uma mesa, onde ficava localizado o teste. A altura do ângulo de visão do usuário era pré-calculada pelo sistema, de acordo com a altura do oculus rift já colocado no rosto do voluntário. Isto permitia que a altura da teste virtual estivesse sempre dentro do envelope de alcance ergonômico do usuário.

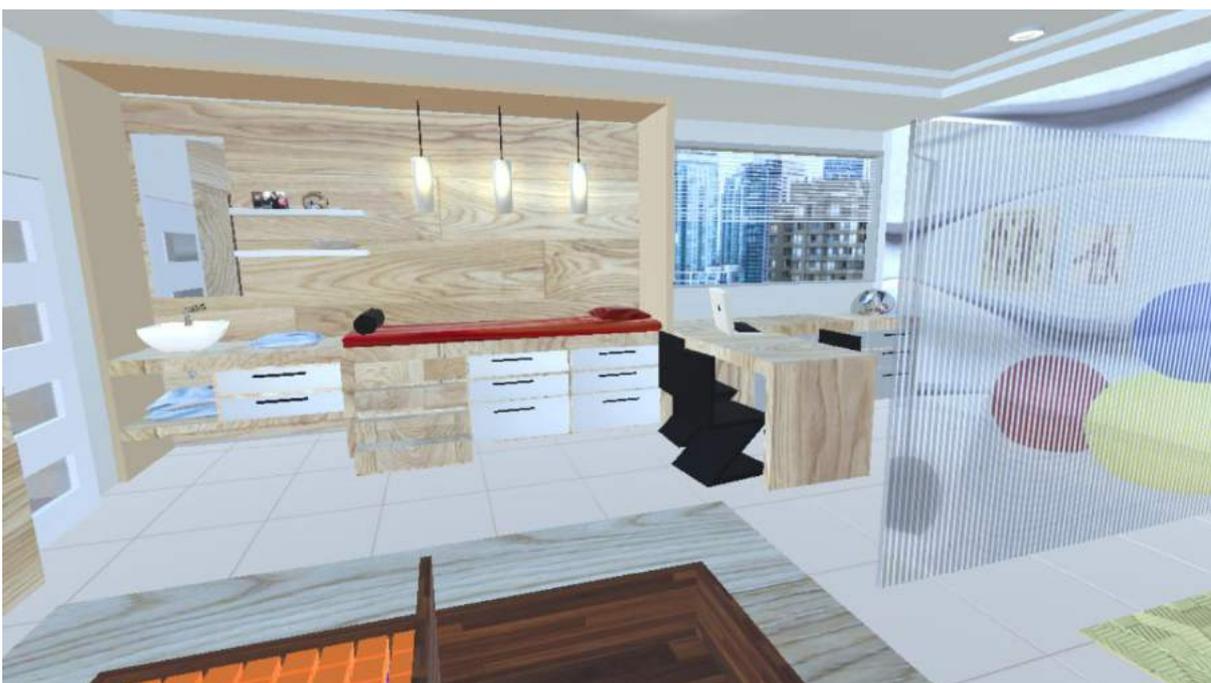
Figura 13. *Box and Blocks* imersivo, ambiente ‘sala de teste’



Fonte: Elaborada pela autora (2017)

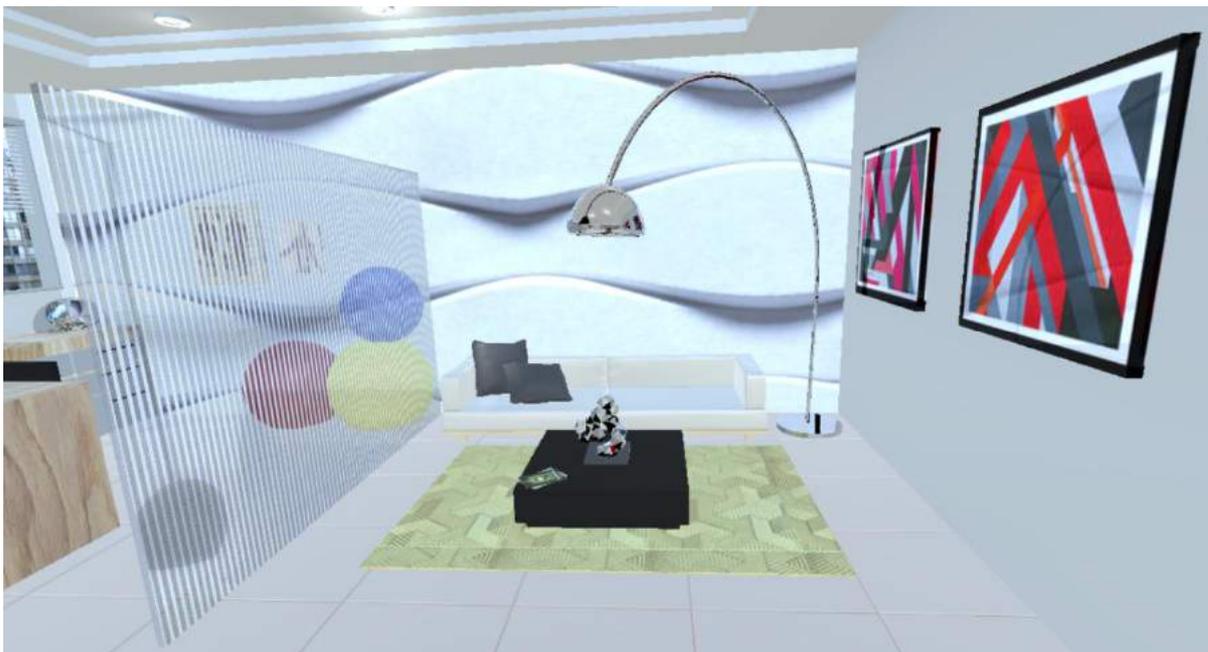
Ao olhar para a frente, o usuário podia ter uma visão geral do consultório. Imediatamente à frente, era possível observar o ambiente ‘sala de avaliação’ com maca e lavabo. Direcionando o olhar um pouco à direita, era possível observar o ambiente ‘escritório’.

Figura 14. *Box and Blocks* imersivo, ambientes ‘sala de avaliação’ e ‘escritório’



Fonte: Elaborada pela autora (2017)

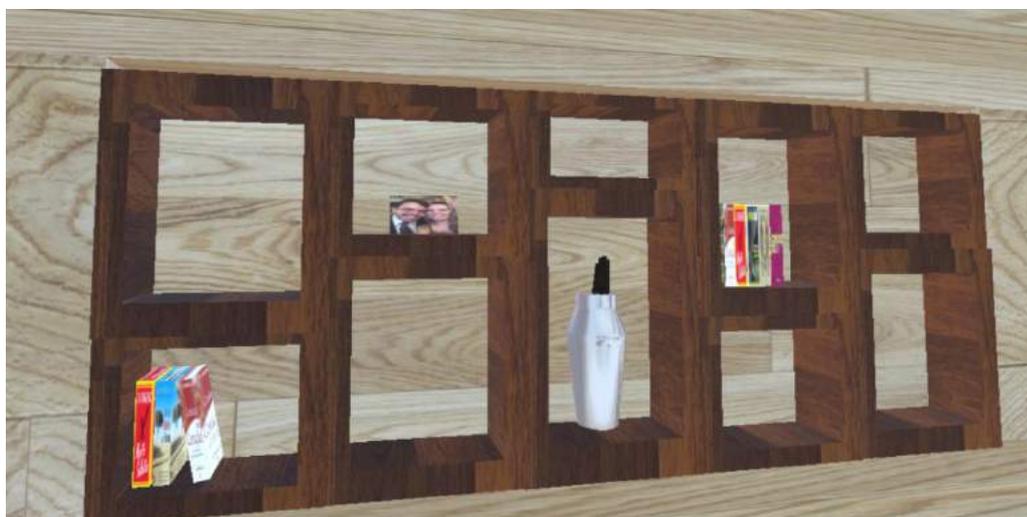
Figura 15. *Box and Blocks* imersivo, ambiente ‘sala de estar’



Fonte: Elaborada pela autora (2017)

Ao olhar para o lado direito, era possível observar o ambiente ‘sala de estar’ (figura 15). A ambientação foi definida e tão contextualizada nestas quatro ‘salas’ para personalizar o consultório virtual. Durante a realização dos experimentos, observou-se que o uso de elementos de personificação agregam realismo em contextos virtuais. Na figura 16, é possível observar uma estante que foi colocada à esquerda do usuário. Nesta estante, estavam dispostos objetos que remetiam o ambiente virtual à pesquisadora. Observem um porta-retrato e os livros da área da saúde, que foram inseridos no ambiente de acordo com este conceito.

Figura 16. *Box and Blocks* imersivo, elementos de personificação do ambiente virtual



Fonte: Elaborada pela autora (2017)

3.1.2.2.2 Programação

A programação foi baseada no planejamento da aplicação interativa e foi realizada na multiplataforma Unity, e organizou as informações de entrada e saída do Leap Motion e do Oculus Rift ofertando feedback adequado em tempo real.

A programação da aplicação interativa cumpriu as seguintes etapas operacionais: 1. Organizou os inputs e outputs, advindos da leitura gestual do Leap Motion, do visor do Oculus Rift e do reconhecimento dos movimentos da cabeça; 2. Coordenou as tarefas, estabelecendo especialmente o sincronismo dos feedback visual e sonoro; 3. Integrou os elementos gráficos dos cenários imersivo e não-imersivos.

3.2 Descrição das Etapas do Experimento

Esta pesquisa foi realizada em três etapas— física, virtual não-imersiva e virtual imersiva.

Na etapa física, foram propostos dois setups:

- Convencional: realizado em conformidade com as orientações de Mathiowetz et al (1985), em seu trabalho de validação do teste;
- Ergonômico: realizado em conformidade com as orientações de conforto e de redução do constrangimento biomecânico, em conformidade com as normas vigentes da Ergonomia.

Para a etapa virtual não-imersiva, foram propostas duas formas de visualização do teste, subdivididas em dois setups cada, totalizando quatro setups.

- Visão Anterior: o ambiente virtual foi criado de forma a oferecer ao usuário a visualização anterior da caixa (*box*). O mesmo ambiente virtual de visão anterior foi experimentado pelos usuários com o uso de um monitor de 15" e de uma TV de 42", totalizando dois setups. Os teste foram realizados com os voluntários na posição sentada para melhor visualização do ambiente virtual;
- Visão Superior: o ambiente virtual foi criado de forma a oferecer ao usuário a visualização superior da caixa (*box*). O mesmo ambiente virtual de visão superior foi experimentado pelos usuários com o uso de um monitor 15" e de uma TV de 42", totalizando dois setups. Os teste foram realizados com os voluntários em ortostatismo para melhor visualização do ambiente virtual.

A etapa virtual imersiva contou com um único setup e os testes foram realizados com os usuários sentados. O ambiente virtual simulou uma ampla sala de consultório e a visualização do usuário foi simulada em primeira pessoa.

O arranjo experimental e a denominação dada a cada setup estão explicitados na tabela a seguir.

Tabela 9. Arranjo experimental e denominação dos setups

ETAPA	SUB-ETAPA	SETUP
Físico	Convencional	Físico convencional
	Ergonômico	Físico ergonômico
Virtual Não Imersivo	Visão Anterior	Não imersivo anterior monitor
		Não imersivo anterior TV
	Visão Superior	Não imersivo superior monitor
		Não imersivo superior TV
Virtual Imersivo	Não aplicável	Imersivo

Fonte: Elaborada pela autora (2017)

3.2.1 Descrição da Etapa Física

A etapa física incluiu dois setups – Convencional e Ergonômico.

O teste convencional foi realizado em conformidade com o modelo validado por Mathiowetz et al (1985), que propõe: “o teste deve ser colocado longitudinalmente, na borda de uma mesa de altura padrão. O sujeito deve se sentar em uma cadeira com altura padrão, de frente para a caixa”. Não há nenhuma orientação quanto ao dimensionamento do mobiliário.

Considerando que os autores não explicitam as dimensões do mobiliário e que não existe uma medida padrão para mobiliário utilizada no Brasil, apresenta-se a seguir uma análise do setup desenvolvido por Mathiowetz et al (1985).

Neste momento, o estudo incluiu apenas voluntários sem deficiência declarada, pois esta pesquisa propôs-se a validar o teste virtual e gerar parâmetros de normalidade. Entretanto, como o teste é voltado para a avaliação da destreza manual de pessoas com deficiência considerou-se que esta população será o usuário final, e assim o setup ergonômico foi projetado para este perfil.

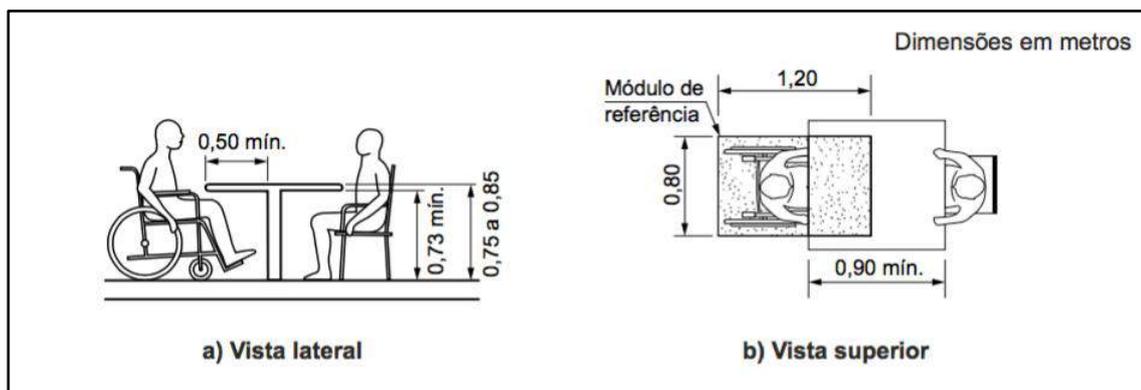
Para a análise do setup desenvolvido por Mathiowetz et al (1985), foram escolhidas a Norma Brasileira 9050 (ABNT, NBR 9050, 2015) e a NR17. A NBR 9050 trata da acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos e foi escolhida por sua aplicação à rotina de pessoas com deficiência, que por sua vez são o público alvo do teste

Box and Blocks. A NR 17 foi selecionada por ser a norma regulamentadora da Ergonomia, abrangendo a posição adequada de trabalho para o usuário sentado.

Apesar das normas considerarem também as dimensões de profundidade e largura, foram consideradas apenas as medidas relacionadas à altura do tampo da mesa e do assento da cadeira, pois são as únicas referências citadas por Mathiowetz et al (1985). Nesta pesquisa, corrobora-se com a escolha dos autores pois as medidas de altura são as únicas que influenciam no alcance anterior do usuário, solicitado para a realização do teste.

De acordo com a ABNT NBR 9050 (2015), as mesas devem possuir altura entre 75 e 85 cm do piso acabado. Deve ser assegurada ainda altura livre sob o tampo de no mínimo 73 cm. Observe a figura 17.

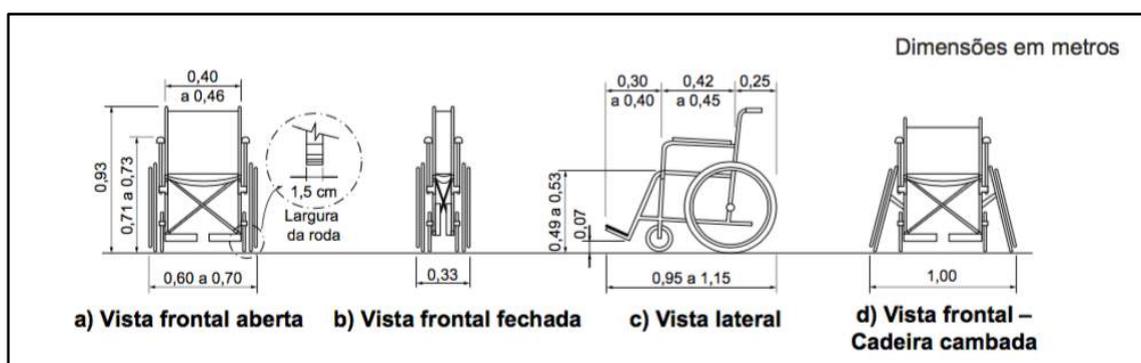
Figura 17. Dimensões em metros para mesas utilizadas por pessoas com deficiência.



Fonte: NBR 9050

Para a altura do assento, a NBR 9050 orienta apenas que “a altura do assento deve ser semelhante a do assento da cadeira de rodas”. De acordo com a mesma norma a altura do assento deve possuir entre 49 e 53cm, conforme demonstra a figura 18.

Figura 18. Dimensões de cadeiras de rodas



Fonte: NBR 9050

De acordo com a NR-17, a altura da superfície superior do assento deve possuir entre 37 e 50cm. Sobre a altura do tampo da mesa, a NR-17 não traz nenhuma medida de referência. Atenta apenas que deve existir um ajuste de no mínimo 26cm no plano vertical.

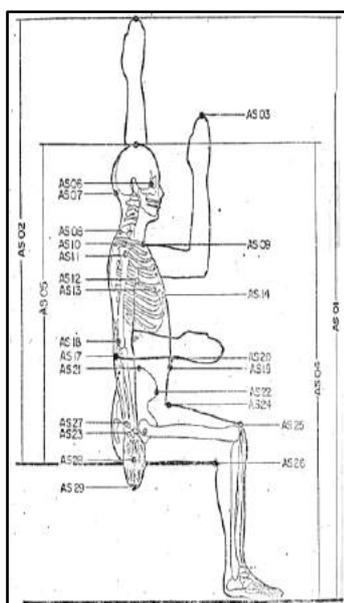
Unindo as duas normas, observa-se como área de intersecção os intervalos entre 75 e 85cm de altura da superfície superior da mesa e de 37 a 50cm de altura da superfície superior da cadeira. Considerando que no Brasil não existe uma altura padrão para mesas e cadeiras, o usuário poderá sofrer variações na proporção entre as alturas da mesa e da cadeira. A padronização da altura da face lateral da caixa (8,5 cm) não é medida suficiente para a padronização do teste, pois o alcance anterior - que é a medida real da interação do usuário, sofre com o dimensionamento do mobiliário.

Além disso, diferenças nos dados antropométricos dos usuários também devem ser consideradas. Apesar do alcance anterior constituir um envelope acional, caracterizando-se como antropometria dinâmica, ele sofre com as alturas e comprimentos do membro superior, que são medidas estáticas.

Considerando que Mathiowetz et al (1985) solicitam que a caixa fique posicionada na borda da mesa, os comprimentos dos segmentos corporais deixam de ser medidas relevantes para o alcance superior, restando desta forma apenas a análise das alturas.

Para a análise das alturas, será utilizada a tabela antropométrica descrita por Moraes, em 1983, com base em populações latinas. Nesta publicação, Moraes (1983) classifica a altura do ombro na posição sentada como AS 10, considerando a distância entre o acrômio e o chão. E a altura do cotovelo como AS 17, considerando a distância entre o olecrano até o chão. Observe a figura 19.

Figura 19. Alturas na posição sentada, vista Sagital



Fonte: Moraes, 1983

Para a altura do ombro, Moraes (1983) considera a medida de 64,3 cm para o homem de 97,5%IL e de 50,5 cm para a mulher de 2,5%IL. Ou seja, um intervalo possível de 13,8 cm, excluindo os percentis extremos (acima de 97,5 e abaixo de 2,5%IL).

Para a altura do cotovelo, a mesma autora considera a medida de 24,4 cm para o homem de 97,5%IL e de 18,5 cm para a mulher de 2,5%IL. Ou seja, um intervalo possível de 5,9 cm, excluindo os percentis extremos.

As diferenças entre usuários somadas à falta de padronização do mobiliário brasileiro, faz com que o setup defendido por Mathiowetz et al (1985) permitavariações na execução do teste.Pergunta-se então se estas variações podem influenciar o resultado quantitativo do teste com o *Box and Blocks*(número de cubos por minuto).

Mesmo que não existam diferenças significativas nos resultados dos testes físicos convencional e ergonômico, existem as variações do esforço biomecânico exigido. No setup convencional, quanto menor for a altura do indivíduo avaliado, maior será a amplitude de movimento exigida para o ombro. Enquanto que no setup ergonômico o ajuste da altura da mesa e do assento permite que avaliador sempre garanta o mesmo posicionamento do membro superior para todos os usuários, padronizando o perfil biomecânico do teste.

Nas figuras 20 a 22, é possível observar a diferença da amplitude do ombro exigida nos setups físicos convencional e ergonômico.

Figuras 20 e 21. Posicionamento do membro superior no setup físico convencional



Fonte: Elaborada pela autora (2017)

Para a realização do *Box and Blocks* físico convencional, observa-se a adoção da abdução do ombro desde o início do teste (figuras 20 e 21). Na figura 22, nota-se que esta exigência é descartada com o ajuste ergonômico do setup físico.

Figura 22. Posicionamento do membro superior no setup físico ergonômico



Fonte: Elaborada pela autora (2017)

Nas figuras 23 e 24, observa-se a amplitude do movimento de abdução exigida para a articulação do ombro durante a ultrapassagem da divisória, que é a altura máxima do teste.

Figuras 23 e 24. Amplitude do ombro durante os testes físicos, convencional e ergonômico



Fonte: Elaborada pela autora (2017)

Durante a realização do teste, especialmente no momento de vencer a altura da divisória, o movimento de abdução do ombro sempre será necessário, em ambos os setups. Inclusive, para a definição do setup ergonômico houve a preocupação de manter o mesmo desafio do teste convencional. Entretanto, durante o teste convencional o ombro é mantido em abdução em contração isométrica. Já durante o teste ergonômico, os movimentos de abdução e adução são realizados seguidamente, caracterizando um trabalho muscular isotônico. Como os membros superiores localizam-se no esqueleto apendicular, melhor adaptado ao trabalho dinâmico, foi possível garantir a redução da fadiga durante o teste. Considerando que o Box and Blocks é voltado para usuários com deficiência, foi possível manter a avaliação da destreza manual diminuindo a exigência biomecânica da tarefa.

Diante do exposto, nesta pesquisa, antes dos testes virtuais serem iniciados, realizou-se o estudo do próprio teste físico. O objetivo foi excluir vieses para os resultados da pesquisa e aprofundar o conhecimento sobre a tarefa proposta. Ambos os setups – convencional e ergonômico, serão descritos a seguir.

3.2.1.1 Ambientação do Teste Físico Convencional

Para a realização do teste físico convencional foram utilizados o mobiliário de medidas fixas, que não permitia o ajuste dimensional da altura da mesa, nem do assento da cadeira. Trata-se de um mobiliário comercializado no Brasil para escritórios e consultórios. Os voluntários foram posicionados à frente da caixa, localizada horizontalmente à borda frontal da mesa.

Nas figuras 25 e 26, é possível observar a ambientação do setup físico convencional. Este setup foi concebido de forma a contemplar plenamente a padronização definida por Mathiowetz et al (1985).

Nas figuras 27 e 28, é possível observar o posicionamento inicial do usuário para a realização do teste físico convencional, e os movimentos exigidos para a ultrapassagem da divisória da caixa (*box*).

Figuras 25 e 26. Ambientação do teste físico convencional



Fonte: Elaborada pela autora (2017)

Figuras 27 e 28. Posicionamento do usuário no teste físico convencional, no início do teste e durante a ultrapassagem da divisória



Fonte: Elaborada pela autora (2017)

3.2.1.2 Ambientação do Teste Físico Ergonômico

Para a concepção do setup ergonômico, além das orientações das normas vigentes, foi considerado o apoio adequado dos pés. Pois, de acordo com a NR-17, as cadeiras devem permitir o apoio total das plantas dos pés no chão.

Assim, o **setup ergonômico** seguiu as seguintes diretrizes:

- Os voluntários utilizaram cadeira de altura ajustável, com altura mínima de 37 cm e máxima de 50 cm;
- A cadeira foi posicionada de forma a permitir o apoio total dos pés do usuário e a tríplex flexão de 90° de quadris, joelhos e tornozelos a fim de não gerar maior esforço biomecânico;
- Foi utilizada uma mesa de altura regulável, que varia de 59 a 96 cm;
- A mesa foi posicionada na altura do olécrano, a partir de 90° de flexão do cotovelo;
- Para a realização do teste, os voluntários precisaram realizar uma leve abdução do ombro apenas para vencer as alturas da frente e da divisória da caixa, que são dificuldades previstas e calculadas na construção do próprio teste. Não houve portanto acréscimo no envelope acional decorrente do dimensionamento do mobiliário. Como as alturas da mesa e da cadeira foram ajustadas aos voluntários, foi possível padronizar a dificuldade ofertada ao usuário, garantindo que o único obstáculo foi o dimensionamento da caixa, de acordo com as medidas propostas por Mathiowetz et al (1985).

Na figura 29, é possível observar a ambientação do setup físico ergonômico. Este setup priorizou a utilização de um mobiliário ajustável para garantir maior conforto durante a realização do teste.

Na figura 30, observa-se a posição adotada para a calibração do mobiliário. Com o usuário sentado, a altura da mesa era ajustada para a altura do olecrano a partir de 90° de flexão dos cotovelos. A altura do assento era regulada para a altura da cavidade poplíteia a partir da tríplex flexão de 90° dos membros inferiores.

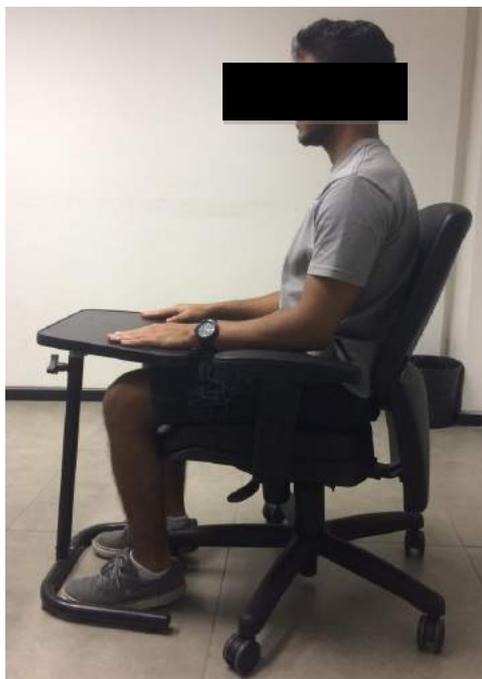
Nas figuras 31 e 32, é possível observar o posicionamento inicial do usuário e os movimentos exigidos teste físico ergonômico.

Figura 29. Ambientação do teste físico ergonômico



Fonte: Elaborada pela autora (2017)

Figura 30. Calibração do mobiliário no setup físico ergonômico



Fonte: Elaborada pela autora (2017)

Figuras 31 e 32. Posicionamento do usuário no teste físico ergonômico, no início do teste e durante a ultrapassagem da divisória



Fonte: Elaboradas pela autora (2017)

3.2.2 Descrição da Etapa Virtual Não-imersiva

De acordo com Santana et al (2015), a realidade virtual não imersiva corresponde ao tipo de interação no qual o usuário interage com o contexto virtual por uma janela, como um monitor por exemplo, mas continua a sentir-se predominantemente no mundo real.

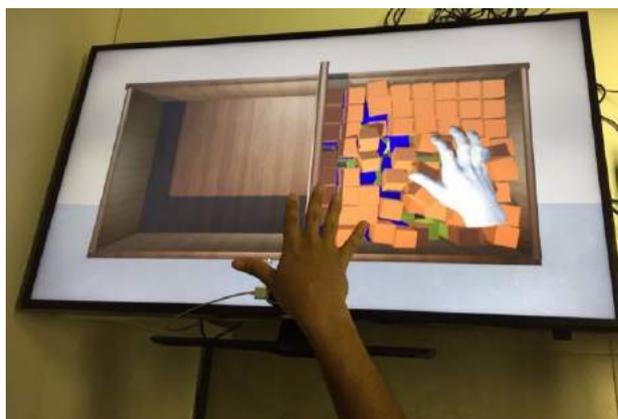
Como demonstrado nas figuras 33 e 34, o usuário interage com a tarefa virtual ao mesmo tempo em que é capaz de visualizar o espaço físico a sua volta e o seu próprio corpo. Segundo Sutcliffe e Gault (2005), os usuários podem encontrar alguma dificuldade nas interações não-imersivas quando são capazes de visualizar simultaneamente a mão de um avatar e sua própria mão real. Por isto, os setups virtuais não-imersivos foram projetados de forma a retirar a mão física da linha de visualização do teste, tanto no uso do monitor, quanto da TV. Neste aspecto, obteve-se maior êxito nos setups de visão anterior, quando comparados com a visão superior.

Figura 33. Interação não imersiva do teste virtual na visão anterior



Fonte: Elaborada pela autora (2017)

Figura 34. Interação não imersiva do teste virtual na visão superior



Fonte: Elaborada pela autora (2017)

A seleção das visões anterior e superior está descrita a seguir.

Quando um indivíduo interage com o *box and blocks* físico, através dos seus movimentos de cabeça e tronco é possível observar o teste em duas perspectivas: pela frente que é a face anterior da caixa (*box*), e por cima que é a face superior, o topo da caixa (*box*). Na realidade virtual imersiva, quando o indivíduo percebe-se dentro do ambiente virtual, todos os ângulos de visão permanecem preservados. Porém, nas formas não-imersivas, ainda que a tridimensionalidade dos objetos virtuais seja preservada, a perspectiva de visualização fica limitada ao equipamento de exibição utilizado.

Sutcliffe e Gault (2004) chamam de “pontos de vistas fiéis” a heurística que busca avaliar se a representação visual do mundo virtual mapeia a mudança de ponto de vista pelo movimento da cabeça do usuário. Esta heurística é extremamente relevante em contextos imersivos, pois garante realismo e naturalidade ao sistema. Entretanto, não pode ser completamente contemplada em formas não-imersivas.

Diante da limitação operacional das tecnologias disponíveis para esta pesquisa, optou-se por contemplar as duas formas de visualização do teste – visão anterior e visão superior - em dois setups diferentes.

Além da perspectiva de visualização, também considerou-se a aproximação do tamanho do objeto virtual com o objeto físico. Assim, os testes foram realizados com um monitor de 15” e de uma TV de 42”. Logicamente, a experiência com a TV permitiu maior adequação do tamanho da caixa virtual. A realização dos testes com o monitor foi mantida para avaliar se este é um requisito relevante para a percepção de realismo e naturalidade para o usuário.

Para a captura dos movimentos das mãos, foi utilizado o leap motion que é uma tecnologia gestual baseada em captura por sinal infravermelho. Este equipamento foi utilizado para a interação com todas as formas virtuais, imersiva e não-imersivas.

Garantir o acesso a equipamentos físicos ou tecnológicos, fazendo-os chegar até os pacientes, especialmente quando internados, é um desafio para os profissionais de saúde. Muitos centros de saúde, principalmente os públicos, possuem estrutura insuficiente para a reabilitação. E quando contam com esse suporte, os equipamentos ficam comumente localizados em ambulatórios e clínicas exigindo que o paciente se dirija até a sala de reabilitação. Construir sistemas portáteis de suporte à reabilitação que possam ser facilmente transportados pelos profissionais de saúde e levados até os pacientes, inclusive aqueles institucionalizados, seria um grande benefício de um sistema virtual.

Pensando nisto, nesta pesquisa foi proposto que os testes virtuais não imersivos fossem realizados com dois grupos. O primeiro grupo realizou os testes de visão anterior e superior com o uso de um notebook (Acer Aspire V5-471 series, modelo MS2360, processador Intel Celeron, 1T de memória RAM, Windows 8), configurando um sistema totalmente portátil. O segundo grupo utilizou um desktop (processador Intel Core i5, placa de vídeo Nvidia GTX 970 / AMD, 8GB de memória RAM, Windows 7 x64), que é o equipamento indicado para o processamento de sistemas de realidade virtual imersiva. A principal diferença entre os computadores é a placa de vídeo. A partir de agora, os

computadores passarão a ser identificados como computador 1 (notebook) e computador 2 (desktop).

Na seção a seguir, estão demonstradas as ambientações dos setups não imersivos nas visões anterior e superior.

3.2.2.1 Ambientação da Etapa Virtual Não-imersiva na Visão Anterior

Para a realização do teste na visão anterior, o indivíduo permaneceu sentado de frente para o monitor ou a TV, que foram dispostos verticalmente sobre a mesa. O leap motion foi colocado em uma mesa de altura regulável, abaixo da mesa de altura fixa em que o dispositivo de exibição foi disposto. O leap motion exige que o usuário posicione sua mão com uma distância de, aproximadamente, 11cm da face de leitura do equipamento. Desta forma, a altura da mesa regulável era ajustada para o posicionamento do membro superior previsto no setup físico ergonômico acrescida da distância de leitura do leap motion. A mesma ambientação foi utilizada nos dois grupos – computador 1 e computador 2.

Na figura 35, é possível observar a ambientação do setup virtual não imersivo na visão anterior, utilizando-se o monitor ou a TV. As cadeiras e a mesa onde o leap motion foi colocado possuem altura regulável, para promover a adequação ergonômica deste setup. Nas figuras 36 e 37, observa-se o posicionamento do membro superior de acordo com as exigências biomecânicas, preconizadas no estudo ergonômico.

Figura 35. Ambientação do teste virtual não imersivo para a visão anterior



Fonte: Elaborada pela autora (2017)

Figuras 36 e 37. Posicionamento do usuário no teste virtual não imersivo, visão anterior



Fonte: Elaboradas pela autora (2017)

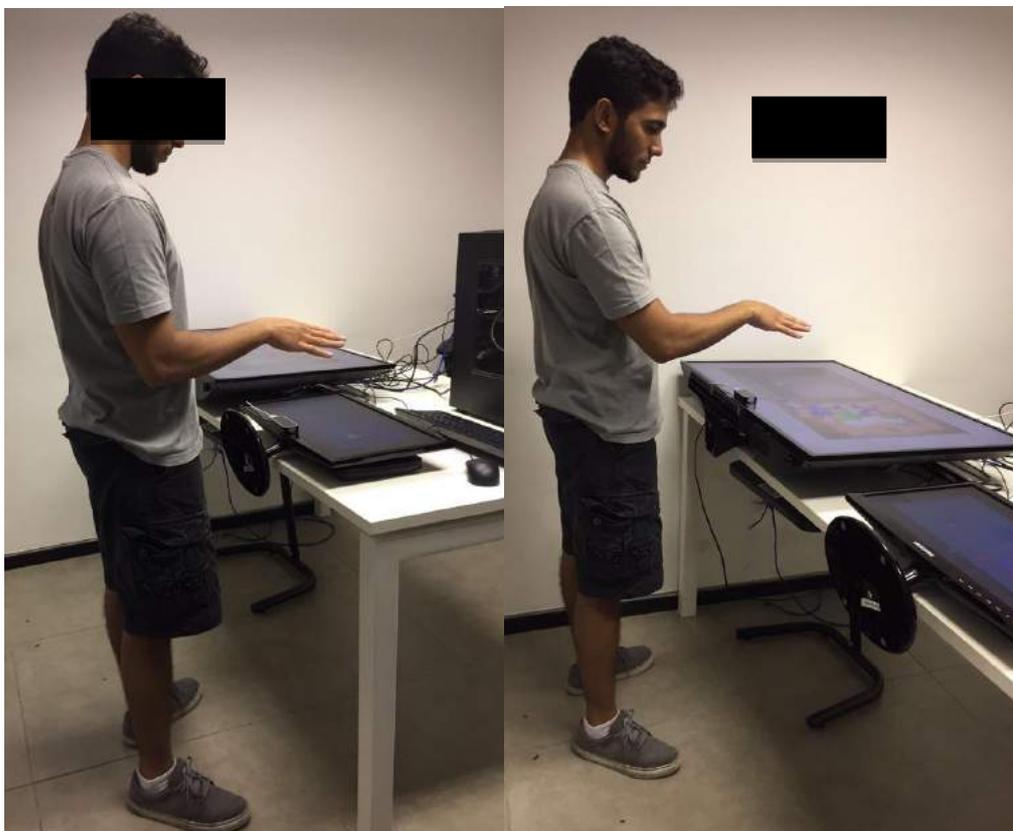
3.2.2.2 Ambientação da Etapa Virtual Não-imersiva na Visão Superior

Para a realização do teste na visão superior, o indivíduo permaneceu em pé, diante da face frontal da mesa. Os dispositivos de exibição – monitor e TV, foram dispostos longitudinalmente sobre a mesa. O leap motion foi colocado sobre a borda do dispositivo de exibição, agravando a visualização simultânea da mão física e da mão virtual durante a interação.

Como os indivíduos estavam em ortostatismo, a distância da face de leitura do leap motion foi preservada e o posicionamento do membro superior previsto no setup físico ergonômico foi mantida. A mesma ambientação foi utilizada nos dois grupos – computador 1 e computador 2.

Nas figuras 38 e 39, é possível observar a ambientação do setup virtual não imersivo na visão superior, utilizando-se o monitor ou a TV.

Figuras 38 e 39. Ambientação e posicionamento do usuário no teste virtual não imersivo, visão superior



Fonte: Elaborada pela autora (2017)

De acordo com Mathiowetz et al (1985), a realização do teste na posição sentada é um requisito relevante para pessoas com deficiência, que podem encontrar dificuldades em permanecer em pé ou de fato cursarem com sequelas que impossibilitam a adoção do ortostatismo. Na presente pesquisa, corrobora-se com os autores que esta exigência pode limitar o uso do sistema. Entretanto, diante da relevância da heurística “pontos de vista fiéis” para o estudo de usabilidade, decidiu-se manter este setup na presente pesquisa.

3.2.3 Descrição da Etapa Virtual Imersiva

Durante a imersão, o usuário visualizou apenas o ambiente virtual que simulou um consultório subdividido em quatro ambientes. Ao imergir no sistema, o voluntário percebia-se sentado diante de uma mesa onde se encontrava o teste *Box and Blocks* virtual. O teste virtual foi o mesmo criado para as formas não-imersivas acrescida modelagem do cenário.

Para a visualização em imersão, foram utilizados óculos que limitaram a visão do ambiente físico, no qual o indivíduo estava realmente inserido. Na presente pesquisa, utilizamos o equipamento oculus rift.

A heurística de “pontos de vista fiéis” pode ser totalmente contemplada. O ângulo de visualização do ambiente virtual acompanhava de imediato o movimento da cabeça do usuário, proporcionando maior percepção de realidade.

Nesta etapa, além da mudança do input visual, incluiu-se o feedback sonoro. Os usuários foram convidados a usar um headphone e o sistema simulava o som do cubo caindo na caixa (*box*) de madeira.

3.2.3.1 Ambientação da Etapa Virtual Imersiva

Para a realização do teste imersivo, o indivíduo permaneceu sentado de frente para uma mesa de altura regulável, onde foi disposto o leap motion. A altura da mesa regulável foi sempre ajustada para permitir o posicionamento do membro superior previsto no setup físico ergonômico acrescida da distância de leitura do leap motion. Além do leap motion, os usuários utilizaram o oculus rift e o headphone.

À frente do usuário, ficou o monitor por onde a pesquisadora pode acompanhar o que os voluntários estavam visualizando. Este monitor não era visto pelo usuário, servindo apenas para observação e controle da pesquisadora.

Figura 40. Ambientação do teste virtual imersivo



Fonte: Elaborada pela autora (2017)

Figura 41. Posicionamento do usuário no teste virtual imersivo



Fonte: Elaborada pela autora (2017)

3.2.4 Sequência de Realização do Experimento

A proposta de uso do teste *Box and Blocks* é de quantificar a melhora da destreza manual em indivíduos que possuem sequelas do membro superior e que são submetidos a um programa de reabilitação. O protocolo deve seguir o seguinte padrão: no momento da admissão do indivíduo, quando o nível funcional do paciente é avaliado, realiza-se o teste *Box and Blocks* para quantificar a destreza manual. O programa de reabilitação é então proposto e aplicado e, após um período pré-determinado pela equipe de saúde, o teste é novamente realizado como forma de demonstrar ou refutar a melhora terapêutica do paciente.

Entretanto, durante a concepção do projeto da presente pesquisa, surgiu o questionamento sobre a influência da aprendizagem da tarefa sobre os resultados quantitativos (BL / MIN) do teste *Box and Blocks*. Este questionamento foi colocado inclusive sobre o próprio teste físico, validado por Mathiowetz et al (1985). Decidiu-se portanto criar um sequenciamento de três repetições do mesmo teste em cada dia de aplicação e em todas as etapas propostas, sejam físicas ou virtuais. O objetivo disto foi observar se haveria acréscimo da pontuação ainda que os sujeitos da pesquisa não estivessem submetidos a um programa de reabilitação.

A realização das etapas físicas e virtuais totalizou aplicação de 54 testes por usuário – sendo 12 físicos convencionais, 12 físicos ergonômicos, 12 virtuais não-imersivos de visão anterior, 12 virtuais não-imersivos de visão superior e 6 virtuais imersivos. A aplicação das etapas sempre seguiu a mesma ordem. Inicialmente, foi realizada a etapa física, seguida pela virtual não-imersiva e finalizada com a virtual imersiva. Porém, ainda considerando o viés da aprendizagem da tarefa, a ordem de aplicação dos testes dentro de cada etapa foi alterada.

Além disso, subdividimos a amostra com três intervalos de realização dos testes. O primeiro grupo realizou os testes com intervalo de 2 semanas entre cada sub-etapa. O segundo grupo com intervalo de 4 semanas e o último grupo com 1 semana. Na tabela a seguir, observa-se a divisão da amostra em grupos por ordem de aplicação dos testes e intervalo entre as sub-etapas.

Tabela 10. Divisão dos grupos por ordem de aplicação dos testes e intervalo entre as sub-etapas

Intervalo	Grupos	Etapa Física		Etapa Virtual Não-imersiva		Etapa Imersiva
		Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5
2 Sem	1	ERG / CONV	CONV / ERG	ANT M/TV	SUP TV/M	IM
	2	CONV / ERG	ERG / CONV	SUP M/TV	ANT TV/M	IM
4 Sem	3	ERG / CONV	CONV / ERG	ANT TV/M	SUP M/TV	IM
	4	CONV / ERG	ERG / CONV	SUP TV/M	ANT M/TV	IM
1 Sem	5	ERG / CONV	CONV / ERG	ANT M/TV	SUP TV/M	IM
	6	CONV / ERG	ERG / CONV	SUP TV/M	ANT M/TV	IM

Fonte: Elaborado pela autora (2017)

3.2.5 Aplicação dos Testes Virtuais

Os testes virtuais priorizaram as regras de orientação ao usuário, definidas por Mathiowetz et al (1985). Porém, considerando a heurística ‘Compatibilidade entre tarefa e domínio do usuário’ e os resultados do pré-teste, houve a alteração do tempo para treino. No teste físico, os autores definiram um prazo de 15 segundos para treino e experimentação do teste. Como existe a necessidade de aprendizagem do comportamento do próprio sistema virtual, adotou-se o prazo de 1 minuto para todos os testes imersivo e não-imersivos.

Assim, a aplicação dos testes virtuais seguiu a rotina descrita a seguir. Como pré-requisito para a aplicação do teste, foi utilizado um ambiente silencioso e sem a interrupção de terceiros.

Ao iniciar o teste, sempre pela mão dominante, a pesquisadora orientava o usuário: “Quero ver com que rapidez você consegue pegar um bloco de cada vez, carregá-lo até o outro compartimento da caixa e soltá-lo”.

Continuando com as instruções: “Se você pegar dois blocos ao mesmo tempo, será contado apenas um ponto. Você tem alguma dúvida? Quando eu avisar pode começar. Lembre-se: trabalhe sempre o mais rápido que conseguir”. Cada usuário teve então 1 minuto para treino antes de cada setup virtual.

Ao final de cada etapa, a aplicação interativa era reiniciada pela pesquisadora, através da interface outgame.

Um cronômetro foi utilizado para interromper o teste após exatamente 1 minuto. Repetiu-se o teste com a mão não dominante.

O resultado do teste foi expresso por um escore que indicou o número de blocos transportados de um compartimento para o outro por minuto (BL/MIN). Os blocos foram contados pela pesquisadora, conforme previsto no teste físico.

3.3 Descrição do Estudo de Usabilidade

Para a realização do estudo de usabilidade, foi elaborado e aplicado um questionário baseado em três importantes estudos de usabilidade em contextos virtuais. São eles:

1. o questionário de presença desenvolvido por Witmer e Singer (1998) no Massachusetts Institute of Technology (MIT), validado com 152 estudantes;
2. o questionário de Dinh et al (1999) que incluiu também perguntas relativas à localização de objetos virtuais, como forma de avaliação da atenção seletiva; e por fim,
3. o estudo de Sutcliffe, Gault e Shin publicado em 2005, que correlacionou os resultados de presença a uma verificação da memória do usuário sobre o ambiente virtual e uma sessão debriefing dos problemas e erros relatados.

Durante a elaboração do questionário, também se buscou analisar as heurísticas de Sutcliffe e Gault (2004) que foram utilizadas na construção da aplicação interativa: ‘Presença’, ‘Engajamento Natural’, ‘Expressão Natural da Ação’, ‘Compatibilidade da Tarefa’, ‘Coordenação Ação / Representação’, ‘Reação Realista’ e ‘Pontos de Vista Físicos’.

Além dessas heurísticas foram incluídos aspectos sobre satisfação, memória e atenção. Os aspectos relativos à memória foram incluídos como uma forma subjetiva de avaliar a atenção seletiva do usuário para o sistema e consistiu em uma pergunta relativa ao

cenário e à localização de objetos no ambiente virtual, seguindo as orientações de Dinh et al (1999) e Sutcliffe, Gault e Shin (2005).

O questionário possui vinte e duas perguntas fechadas escalonadas, para captar a intensidade das respostas dos usuários, e três perguntas abertas. Este questionário foi aplicado ao final do primeiro teste de cada setup virtual. A aplicação foi realizada como entrevista e observações foram registradas pela pesquisadora, sempre que necessário.

3.3.1 Elaboração do Questionário Baseado em Heurísticas

O questionário foi iniciado com cinco perguntas fechadas baseadas na heurística ‘Presença’, seguidas de três questões sobre ‘Engajamento Natural’, três sobre ‘Expressão Natural da Ação’, três sobre ‘Compatibilidade da Tarefa’, três sobre ‘Coordenação Ação / Representação’, duas sobre ‘Reação Realista’, e uma sobre ‘Pontos de Vista Físicos’. A última pergunta fechada abordou a satisfação geral dos usuários após a interação com os ambientes virtuais.

Essas questões buscaram avaliar os passos decisórios estabelecidos no planejamento e desenvolvimento da aplicação interativa. A pergunta número 18, por exemplo, questionava o usuário quanto à percepção de atraso entre as suas ações e o feedback do sistema. Esta questão foi incluída para analisar a percepção do delay do sistema, principalmente com o primeiro grupo de voluntários dos testes não imersivos que usaram o notebook para o processamento das informações.

O questionário terminava com três perguntas abertas. A primeira questão era sobre memória e atenção, sendo influenciada pela percepção de presença e engajamento do usuário durante a interação com o sistema. Foram as lembranças registradas pela pesquisadora de acordo com os seguintes aspectos: 1. Lembranças sobre a caixa (box) e os cubos (blocks) virtuais, compreendidas como memória e atenção no próprio teste; 2. Lembranças sobre as características dos cenários e texturas utilizadas, compreendidas como memória e atenção para os ambientes construídos; 3. Lembrança da mudança das cores dos cubos, após o deslocamento, compreendidas como atenção do usuário ao feedback visual e regras do teste.

As duas últimas questões abertas abordavam os aspectos positivos e negativos e tinham por objetivo registrar quaisquer as percepções dos usuários que não houvessem sido anotadas durante a aplicação das perguntas fechadas. As respostas foram hierarquizadas por aproximação e incidência. O questionário completo encontra-se no apêndice A.

3.4 Caracterização da Amostra

Para a realização deste estudo, definiu-se como meta a amostra por conveniência de 30 voluntários, que para garantir a fidedignidade estatística deveriam realizar todas as etapas da pesquisa.

Foram coletados dados referentes a sexo, idade, dominância motora e altura. Os dados referentes a sexo e idade foram registrados para posterior comparação com os resultados de Mathiowetz et al (1985) e Mendes et al (2001). Os dados sobre dominância motora orientaram a realização dos testes, que sempre foram iniciados pelo lado dominante. E, por último, a altura relatada pelos sujeitos foi utilizada para a adequação ergonômica dos setups físico ergonômico e virtuais imersivo e não imersivos.

Cada voluntário realizou 54 testes – 27 com a mão dominante e 27 com a mão não dominante. Considerando as mãos direita e esquerda, foram coletados 24 testes físicos – 12 convencionais e 12 ergonômicos, 24 testes não imersivos – 6 na visão anterior com uso do monitor, 6 na visão anterior com uso da TV, 6 na visão superior com uso do monitor e 6 na visão superior com uso da TV, por fim, foram realizados os 6 testes imersivos. As fichas de controle dos testes físicos, virtuais não imersivos e virtuais imersivos encontram-se nos apêndices B, C e D, respectivamente.

Os testes físicos foram realizados em dois dias, seguidos de dois dias de testes não imersivos e um único e último dia para o teste imersivo. Ficou definido que o mesmo usuário deveria realizar todas as etapas e, assim, os dados daqueles voluntários que não concluíram todas as etapas de teste foram desconsiderados, independente da etapa em que ocorresse o abandono.

Os testes foram concluídos com a coleta total de 1.620 resultados quantitativos dos *Box and Blocks* físicos e virtuais.

Os questionários foram aplicados ao final de cada etapa virtual, sendo 4 questionários não imersivos – 1 para a visão anterior com uso do monitor, 1 para a visão anterior com uso da TV, 1 para a visão superior com uso do monitor e 1 para a visão superior com uso da TV. Um único questionário foi aplicado no teste imersivo.

Os questionários foram concluídos com a coleta total de 150 resultados qualitativos da usabilidade do sistema.

3.4.1 Critérios de Inclusão e Exclusão

Os critérios de inclusão foram indivíduos de ambos os sexos, adultos com idade entre 21 e 60 anos, sem deficiência física declarada. Foram considerados como critérios de exclusão cursar com patologia que afete a destreza manual, possuir indicação de acompanhamento fisioterapêutico para disfunções nos membros superiores e ter histórico de internamento hospitalar nos últimos seis meses.

3.5 Considerações Éticas

Para cada indivíduo foi entregue uma cópia do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Este termo foi assinado pela pesquisadora responsável e pelos voluntários, ficando uma cópia para cada parte.

Com o intuito de amenizar possíveis constrangimentos, os testes foram realizados em local restrito. Não houve nenhuma obrigatoriedade de participação ou qualquer tentativa de indução à mesma.

3.6 Descrição da Análise dos Resultados

A medida do número de blocos em todos os grupos experimentais foi representada pela média com seus respectivos desvios padrões, sendo a hipótese de normalidade aceita pelo teste de Komogorov-Smirnov. Por se tratar de um estudo pareado, as diferenças entre os diferentes setups na avaliação intra-grupo foi utilizado o teste t de student para amostras pareadas. Na análise entre grupos testando o efeito dos diferentes setups, foi aplicado uma MANOVA de um fator para medidas repetidas, onde foram testadas as hipóteses do efeito do intervalo entre réplicas, efeito intra e entre grupos. As análises foram repetidas para a mão direita e esquerda de forma independente. O software utilizado na análise foi o STATA versão 12.0. A significância estatística adotada no estudo foi de 5% ($p < 0,05$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, estão apresentados e discutidos os resultados encontrados na presente pesquisa. Para facilitar a discussão, os resultados foram divididos em três blocos:

1. Estudo de concordância entre os testes físicos – convencionais e ergonômicos;
2. Estudo de concordância entre os testes físicos – convencionais e ergonômicos, e virtuais – imersivos e não imersivos;
3. Estudo de usabilidade dos testes virtuais – imersivos e não imersivos.

Para facilitar a leitura, a discussão de cada um desses blocos será apresentada logo após os resultados. Após a discussão, uma conclusão parcial será apresentada.

Os experimentos duraram oito meses, sendo realizados de setembro de 2016 a maio de 2017. Os experimentos sempre seguiram a mesma sequência de testes, sendo iniciados pelos testes físicos, seguidos pelos não imersivos e finalizados pelos imersivos.

A amostra foi dividida em três grupos:

1. O grupo 1 realizou os testes físicos e virtuais não imersivos com intervalo de 1 semana;
2. O grupo 2 com intervalos de 2 semanas;
3. O grupo 3 com 4 semanas de intervalo.

Todos os grupos participaram de cinco dias de testes, sendo que os dois primeiros dias foram destinados aos testes físicos, no terceiro e no quarto dia foram realizados os testes não imersivos e o quinto e último dia foi utilizado para o teste virtual imersivo.

Para os testes virtuais, foram considerados ainda dois subgrupos:

1. O subgrupo 1 foi formado pelos usuários que realizaram os testes não imersivos com o computador 1;
2. O subgrupo 2 com os usuários que utilizaram o computador 2.

Os testes imersivos sempre foram realizados com o computador 2, mas optou-se por manter esta subdivisão para observar a influência das experiências virtuais não imersivas prévias sobre os resultados imersivos.

A pesquisa obteve uma amostra de 30 usuários e cada usuário realizou 54 testes entre formas físicas e virtuais. Foram considerados válidos apenas os testes da amostra que cumpriu todas as etapas do experimento.

Foram realizados 1.620 testes *Box and Blocks* válidos, sendo 360 testes físicos convencionais, 360 físicos ergonômicos, 180 virtuais não imersivos na visão anterior com uso do monitor, 180 virtuais não imersivos na visão anterior com uso da TV, 180 virtuais não

imersivos na visão superior com uso do monitor, 180 virtuais não imersivos na visão superior com uso da TV e 180 virtuais imersivos, totalizando 720 testes físicos e 900 virtuais.

Foram aplicados 150 questionários de usabilidade, sendo 30 sobre o setup virtual não imersivo na visão anterior com uso do monitor, 30 sobre o setup virtual não imersivo na visão anterior com uso da TV, 30 sobre o setup virtual não imersivo na visão superior com uso do monitor, 30 sobre o setup virtual não imersivo na visão superior com uso da TV e 30 sobre o setup virtual imersivo.

Quatro usuários iniciaram os experimentos, porém abandonaram a pesquisa antes da sua finalização. Dois voluntários realizaram apenas o primeiro dia dos testes físicos, uma pessoa concluiu os dois dias de testes físicos e um sujeito concluiu os testes físicos e realizou apenas o primeiro dia dos testes virtuais não imersivos. Todos os dados referentes a esses voluntários foram desconsiderados. Assim, foram invalidados 84 testes.

A seguir, está apresentado o perfil da amostra válida dos experimentos.

4.1 Perfil da Amostra

Nesta seção, está apresentado apenas o perfil da amostra considerada válida, ou seja, estão descritos apenas os dados referentes aos usuários que concluíram todas as etapas da pesquisa.

Participaram deste estudo 30 sujeitos, que corresponderam plenamente aos critérios de inclusão e exclusão deste estudo. Todos os voluntários assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), onde foi destacada a participação voluntária na pesquisa e a possibilidade de abandono em qualquer etapa.

Objetivando evitar qualquer risco de constrangimentos, os experimentos foram realizados em local de acesso restrito e foi garantido o anonimato dos dados, que serão usados estritamente em trabalhos acadêmicos.

Destes 30 indivíduos, 14 eram do sexo feminino e 16 do sexo masculino, com idades entre 21-46 anos, com média de idade 30,4 e desvio padrão de $\pm 7,78$, com alturas entre 1,56m e 1,87m, com média de altura de 1,68m e desvio padrão de $\pm 0,08$, em sua maioria (96,6%) destros, como pode ser visto na tabela a seguir.

Tabela 11. Perfil da Amostra

Variáveis	N (%)	Média	DP	Mín	Máx
Sexo					
Feminino	14 (46,6%)	-	-	-	-
Masculino	16 (53,3%)	-	-	-	-
Idade					
Todos	30 (100%)	30,4	7,78	21	46
Feminino	14 (46,6%)	31,7	9,73	21	46
Masculino	16 (53,3%)	28,8	5,79	22	39
Altura					
Todos	30 (100%)	1,68	0,08	1,56	1,87
Feminino	14 (46,6%)	1,62	0,05	1,56	1,69
Masculino	16 (53,3%)	1,69	0,06	1,62	1,87
Membro dominante					
Destro	29 (96,6%)	-	-	-	-
Canhoto	1 (3,33%)	-	-	-	-
Ambidestro	0	-	-	-	-

Fonte: Elaborada pela autora (2017)

4.2 Estudo de Concordância dos Testes Físicos

Nesta seção, está descrito o estudo de concordância entre os testes físicos válidos. Para isto, utilizou-se a amostra de 720 testes, sendo 360 convencionais e 360 ergonômicos, coletados com os 30 voluntários da pesquisa.

Estão descritos, de forma comparativa, os resultados encontrados entre os testes físicos realizados na presente pesquisa, considerando a amostra em três grupos:

1. Grupo 1 com intervalo entre os testes de 1 semana;
2. Grupo 2 com intervalos de 2 semanas;
3. Grupo 3 com intervalos de 4 semanas.

Para a discussão, foram considerados também os resultados publicados por Mathiowetz et al (1985) e Mendes et al (2001). Por fim, apresenta-se as conclusões parciais do estudo, referentes aos experimentos dos setups físicos.

4.2.1 Resultados dos Testes Físicos Convencional e Ergonômico

O experimento físico foi realizado para responder a três perguntas:

1. Qual o efeito da aprendizagem da tarefa sobre o resultado quantitativo do *Box and Blocks*, considerando os intervalos de 1, 2 e 4 semanas?
2. O aprendizado da tarefa é mantido quando os testes são realizados com intervalos de 1, 2 e 4 semanas?
3. Qual a influência da adoção de um setup ergonômico sobre o desempenho quantitativo do usuário para o teste *Box and Blocks*?

Para observar o efeito da aprendizagem da tarefa sobre o resultado quantitativo do *Box and Blocks*, considerando os intervalos de 1, 2 e 4 semanas, foram consideradas as quatro análises descritas a seguir.

Análise Física 1. Máx dia 1 x Máx dia 2

Variabilidade entre a média das medidas máximas dos 30 usuários nos dias 1 e 2, considerando os setups físicos convencional e ergonômico e os três intervalos de tempo. Estes resultados serão descritos nos gráficos 1 (membro superior dominante) e 2 (membro superior não dominante). Esta análise objetivou observar a aprendizagem total considerando os resultados máximos.

Análise Física 2. 1^a medida dia 1 x Máx dia 2

Variabilidade entre a primeira medida alcançada no dia 1 *versus* a média das medidas máximas no dia 2, considerando os 30 usuários. Estes resultados serão descritos nos gráficos 3 (membro superior dominante) e 4 (membro superior não dominante). Esta análise objetivou observar a aprendizagem total, desde o 1^{os} testes até os resultados máximos alcançados no dia 2.

Análise Física 3. 1^a medida dia 1 x Máx dia 1

Variabilidade entre a primeira medida alcançada no dia 1 *versus* a média das medidas máximas no dia 1, considerando os 30 usuários. Estes resultados serão descritos nos gráficos 5 (membro superior dominante) e 6 (membro superior não dominante). Esta análise objetivou observar a aprendizagem do dia 1.

Análise Física 4. 1ª medida dia 2 x Máx dia 2

Variabilidade entre a primeira medida alcançada no dia 2 *versus* a média das medidas máximas no dia 2, considerando os 30 usuários. Estes resultados serão descritos nos gráficos 7 (membro superior dominante) e 8 (membro superior não dominante). Esta análise objetivou observar a aprendizagem do dia 2.

Para observar se a aprendizagem da tarefa é mantida, após os intervalos de 1, 2 e 4 semanas do primeiro testes, foi realizada a seguinte análise.

Análise Física 5. Máx dia 1 x 1ª medida dia 2

Variabilidade entre a média das medidas máximas no dia 1 *versus* a primeira medida alcançada no dia 2, considerando os 30 usuários. Estes resultados serão descritos nos gráficos 9 (membro superior dominante) e 10 (membro superior não dominante). Esta análise objetivou observar se o usuário mantém, até o dia 2, o aprendizado máximo alcançado no dia 1.

Para observar a influência da adoção de um setup ergonômico sobre o desempenho quantitativo do usuário para o teste *Box and Blocks*, os resultados apresentados nos gráficos 1 a 10 mostram a comparação entre os dois setups físicos.

Como o experimento foi organizado em réplicas, foi realizada uma análise da variabilidade entre as repetições da tarefa, considerando as seguintes variáveis:

1. Diferentes setups – convencional e ergonômico;
2. Intervalo de tempo entre os testes.

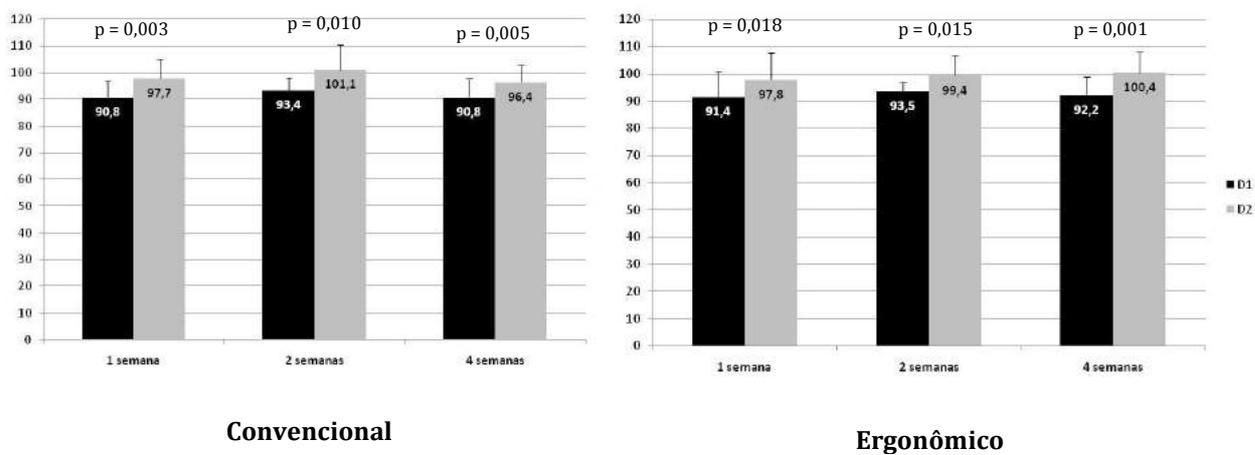
Em todas as outras condições experimentais nos setups físicos houveram aumentos significativos no número de blocos. Como visto na análise da reprodutibilidade, um maior aumento se deu nas medidas entre o primeiro e o terceiro testes, justificado por um processo de aprendizagem na execução da tarefa. Por isso, para a comparação entre os setups foi utilizada a medida máxima no número de blocos transportados durante os testes.

Na análise do efeito do intervalo do tempo sobre o aumento do número de blocos entre os dias 1 e 2, não houve diferença estatística tanto no setup convencional quanto no ergonômico, ou seja, o aumento no número de blocos foi independente do intervalo de tempo entre os testes.

Na avaliação da mão direita, houve diferença estatisticamente significante entre a primeira e a segunda medida em todos os intervalos de tempo e em ambos os setups – convencional e ergonômico.

Resultado semelhante foi observado quando analisado o efeito do setup no aumento do número de blocos entre o os dias 1 e 2. Não houve diferença estatisticamente significativa no número de blocos entre os setups convencional e ergonômico quando comparados o dia 1 e o dia 2, como pode ser observado no gráfico 1.

Gráfico 1. Diferenças na média no número de blocos máximos entre os dias 1 e 2 no setup convencional e ergonômico, mão direita, segundo o intervalo de tempo.



^aDiferença entre os intervalos de tempo (convencional): $p = 0,780$

^bDiferença entre os intervalos de tempo (ergonômico): $p = 0,726$

^cDiferença entre convencional e ergonômico (1 semana): $p = 0,856$

^dDiferença entre convencional e ergonômico (2 semanas): $p = 0,351$

^eDiferença entre convencional e ergonômico (4 semanas): $p = 0,295$

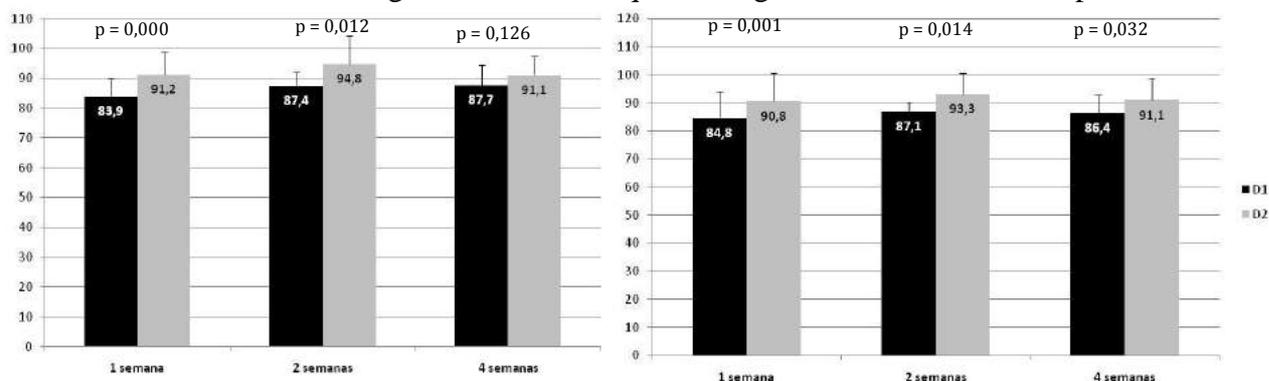
^fDiferença entre convencional e ergonômico (Dia 1): $p = 0,376$

^gDiferença entre convencional e ergonômico (Dia 2): $p = 0,479$

Na avaliação da mão esquerda, observamos resultados semelhantes ao descrito acima na mão direita, onde houve diferença estatisticamente significativa entre os dias 1 e 2 nos intervalos de tempo de 1 e 2 semanas no setup convencional e diferença significativa em todos os intervalos de tempo testados.

O aumento no número de blocos foi independente do intervalo entre exercícios em ambos os setups e não houve diferença estatisticamente significativa no número de blocos entre os setups convencional e ergonômico quando comparados o dia 1 e o dia 2, como pode ser observado no gráfico 2.

Gráfico 2. Diferenças na média no número de blocos máximos entre os dias 1 e 2 no setup convencional e ergonômico, mão esquerda, segundo o intervalo de tempo.



^aDiferença entre os intervalos de tempo (convencional): $p = 0,231$

^bDiferença entre os intervalos de tempo (ergonômico): $p = 0,795$

^cDiferença entre convencional e ergonômico (1 semana): $p = 0,365$

^dDiferença entre convencional e ergonômico (2 semanas): $p = 0,289$

^eDiferença entre convencional e ergonômico (4 semanas): $p = 0,449$

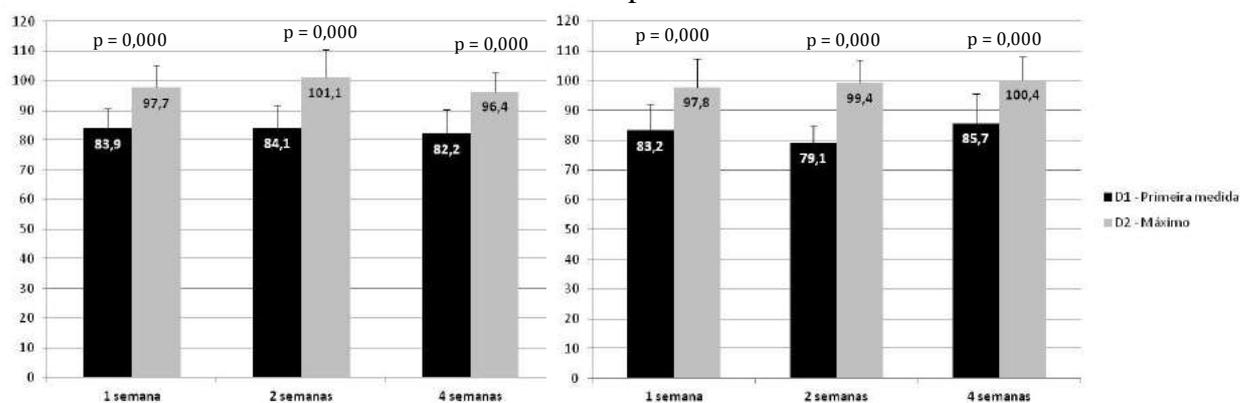
^fDiferença entre convencional e ergonômico (Dia 1): $p = 0,885$

^gDiferença entre convencional e ergonômico (Dia 2): $p = 0,264$

Os gráficos 3 e 4 mostram que tanto a mão direita quanto a esquerda há uma aumento significativo na aprendizagem quando comparado o número de blocos na primeira medida do primeiro dia e o máximo de número de blocos conseguidos no segundo dia, independente do intervalo de tempo entre as medidas, assim como entre os setups convencional e ergonômico.

Comparadas as medidas dos voluntários quanto a mão direita e esquerda, a mão direita apresentou um maior número de blocos, seja entre os diferentes setups ou seja nos dias 1 e dias 2. Isso pode ser justificado pelo fato da amostra ser majoritariamente destra.

Gráfico 3. Diferença na média no número de blocos da primeira medida do dia 1 e número de blocos máximo no dia 2 no setup convencional e ergonômico, mão direita, segundo o intervalo de tempo.



^aDiferença entre os intervalos de tempo (convencional): $p = 0,589$

^bDiferença entre os intervalos de tempo (ergonômico): $p = 0,237$

^cDiferença entre convencional e ergonômico (1 semana): $p = 0,791$

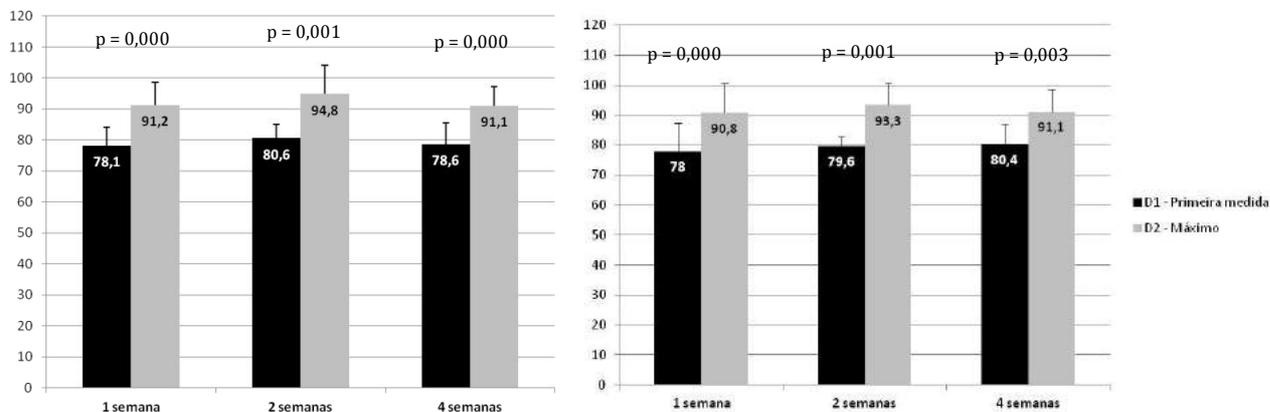
^dDiferença entre convencional e ergonômico (2 semanas): $p = 0,323$

^eDiferença entre convencional e ergonômico (4 semanas): $p = 0,834$

^fDiferença entre convencional e ergonômico (Dia 1): $p = 0,617$

^gDiferença entre convencional e ergonômico (Dia 2): $p = 0,479$

Gráfico 4. Diferença na média no número de blocos da primeira medida do dia 1 e número de blocos máximo no dia 2 no setup convencional e ergonômico, mão esquerda, segundo o intervalo de tempo.



^a Diferença entre os intervalos de tempo (convencional): $p = 0,861$

^b Diferença entre os intervalos de tempo (ergonômico): $p = 0,607$

^c Diferença entre convencional e ergonômico (1 semana): $p = 0,878$

^d Diferença entre convencional e ergonômico (2 semanas): $p = 0,867$

^e Diferença entre convencional e ergonômico (4 semanas): $p = 0,473$

^f Diferença entre convencional e ergonômico (Dia 1): $p = 0,829$

^g Diferença entre convencional e ergonômico (Dia 2): $p = 0,479$

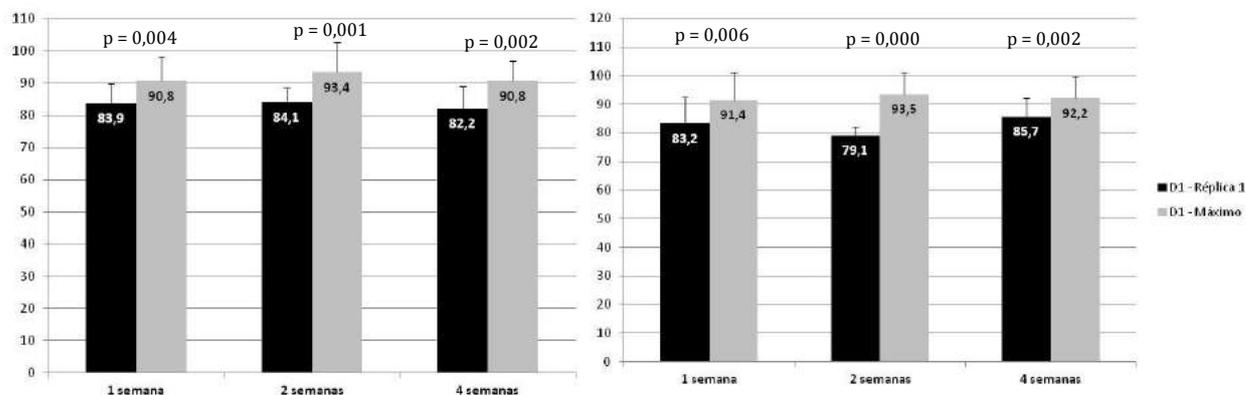
Os gráficos 5 e 6 mostram que tanto a mão direita quanto a esquerda há uma aumento significativo na aprendizagem quando comparado o número de blocos na primeira medida e no máximo de número de blocos conseguidos no dia 1, assim como entre os setups convencional e ergonômico.

Este resultado aponta que a aprendizagem já é significativa desde o primeiro dia de testes.

No gráfico 5, é possível observar que no setup ergonômico houve um aumento maior da variação do número de blocos no dia 1, no intervalo de 2 semanas. Ainda no setup ergonômico, nota-se que no intervalo de 4 semanas houve o menor aumento da variação do número de blocos no dia 1.

Apesar da diferença significativa entre os intervalos, isto será desconsiderado neste momento, pois estes dados correspondem ao primeiro dia de testes onde os intervalos ainda não haviam sido utilizados. Entende-se que isto pode ser uma característica dos voluntários, que constituíram de forma aleatória os grupos de intervalo de 2 e 4 semanas.

Gráfico 5. Diferença na média no número de blocos da primeira medida do dia 1 e número de blocos máximo no dia 1 no setup convencional e ergonômico, mão direita, segundo o intervalo de tempo.



^a Diferença entre os intervalos de tempo (convencional): $p = 0,615$

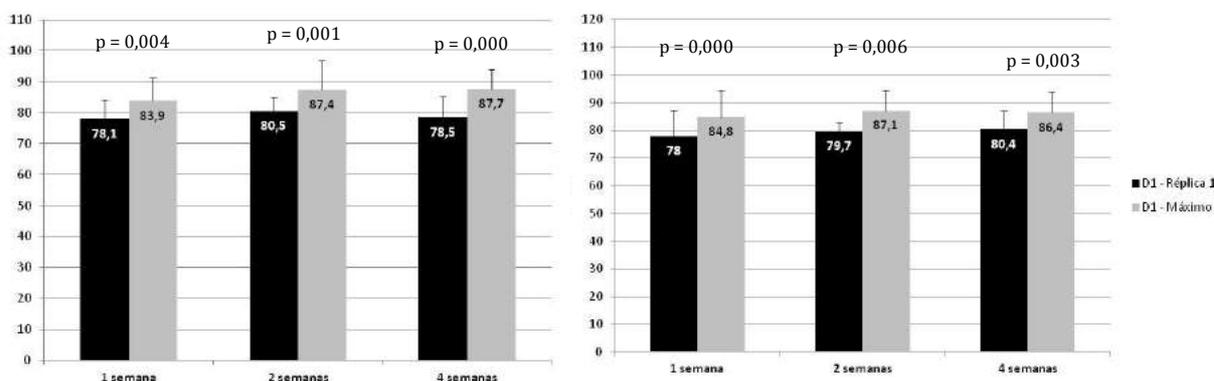
^b **Diferença entre os intervalos de tempo (ergonômico): $p = 0,028$ (dif entre a 1 semana e 4 semanas – $p = 0,036$)**

^c Diferença entre convencional e ergonômico (1 semana): $p = 0,622$

^d **Diferença entre convencional e ergonômico (2 semanas): $p = 0,002$**

^e Diferença entre convencional e ergonômico (4 semanas): $p = 0,439$

Gráfico 6. Diferença na média no número de blocos da primeira medida do dia 1 e número de blocos máximo no dia 1 no setup convencional e ergonômico, mão esquerda, segundo o intervalo de tempo.



^a Diferença entre os intervalos de tempo (convencional): $p = 0,314$

^b Diferença entre os intervalos de tempo (ergonômico): $p = 0,810$

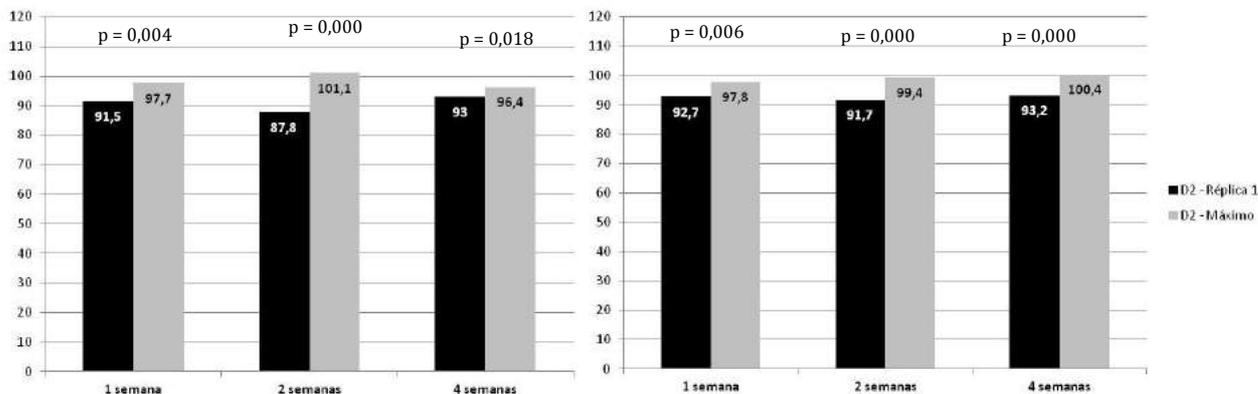
^c Diferença entre convencional e ergonômico (1 semana): $p = 0,602$

^d Diferença entre convencional e ergonômico (2 semanas): $p = 0,837$

^e Diferença entre convencional e ergonômico (4 semanas): $p = 0,155$

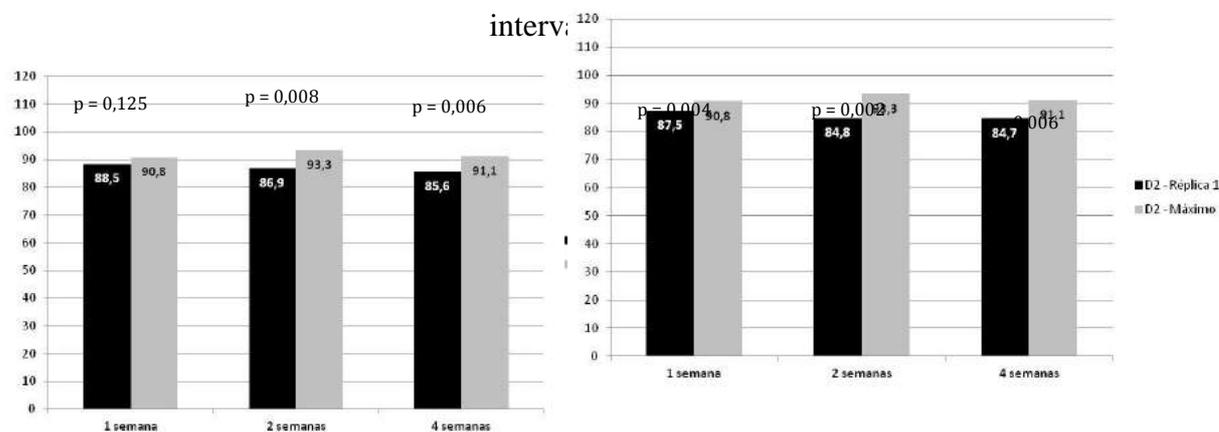
Os gráficos 7 e 8 mostram que tanto a mão direita quanto a esquerda há uma aumento significativo na aprendizagem quando comparado o número de blocos na primeira medida e no máximo de número de blocos conseguidos no dia 2, independente do intervalo de tempo entre as medidas, assim como entre os setups convencional e ergonômico. Este resultado aponta que a aprendizagem continua acontecendo segundo dia de testes.

Gráfico 7. Diferença na média no número de blocos da primeira medida do dia 2 e número de blocos máximo no dia 2 no setup convencional e ergonômico, mão direita, segundo o intervalo de tempo



- a** Diferença entre os intervalos de tempo (convencional): $p = 0,003$
 (diferença a 1 semana e 2 semanas - $p = 0,025$ e diferença a 2 semanas e 4 semanas - $p = 0,003$)
b Diferença entre os intervalos de tempo (ergonômico): $p = 0,303$
c Diferença entre convencional e ergonômico (1 semana): $p = 0,608$
d Diferença entre convencional e ergonômico (2 semanas): $p = 0,034$
e Diferença entre convencional e ergonômico (4 semanas): $p = 0,007$

Gráfico 8. Diferença na média no número de blocos da primeira medida do dia 1 e número de blocos máximo no dia 1 no setup convencional e ergonômico, mão esquerda, segundo o intervalo de tempo



- a** Diferença entre os intervalos de tempo (convencional): $p = 0,147$
b Diferença entre os intervalos de tempo (ergonômico): $p = 0,020$ (diferença 1 semana e 2 semanas - $p = 0,019$)
c Diferença entre convencional e ergonômico (1 semana): $p = 0,503$
d Diferença entre convencional e ergonômico (2 semanas): $p = 0,188$
e Diferença entre convencional e ergonômico (4 semanas): $p = 0,727$

No gráfico 7, observa-se na análise dos resultados com a mão direita que o grupo com intervalo de testes de 2 semanas obteve maior crescimento nos dois setups.

Observa-se ainda que a variação do setup convencional foi significativamente maior que do ergonômico. Como demonstrado, desde o primeiro dia de testes, isto pode configurar uma característica do grupo de voluntário.

Além disso, este resultado aparece de forma isolada e não se caracteriza como um padrão de comportamento do usuário. Pois no gráfico 8, é possível notar que não houve diferença estatística na variação no setup convencional entre os grupos de intervalos de tempo.

Na análise se o voluntário manteve o aprendizado, na mão direita não houve uma diferença significativa quando comparado o número de blocos na medida máxima do primeiro dia e a primeira medida do número de blocos conseguidos no segundo dia, independente do intervalo de tempo entre as medidas, assim como entre os setups convencional e ergonômico. Ou seja, ao iniciar o segundo dia de testes os usuários mantiveram resultados equivalentes ao máximo de pontos conseguidos no primeiro dia, indicando a manutenção do aprendizado.

Na mão esquerda, apenas a avaliação do grupo com intervalo de uma semana é que mostrou um aumento significativo ao iniciar o segundo dia, tanto no setup convencional quanto ergonômico, conforme observado nos gráficos 9 e 10.

Gráfico 9. Diferença na média no número de blocos máximo no dia 1 e número de blocos na primeira medida do dia 2 no setup convencional e ergonômico, mão direita, segundo o intervalo de tempo

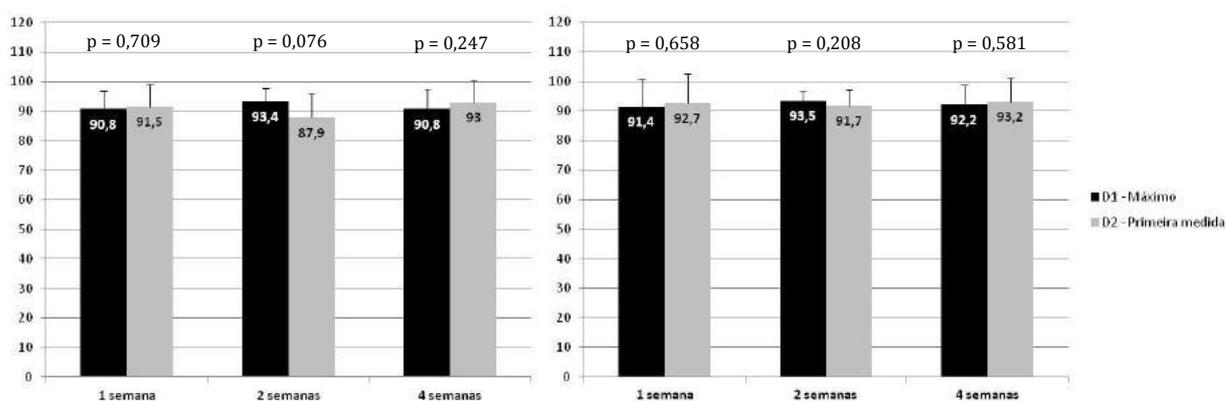
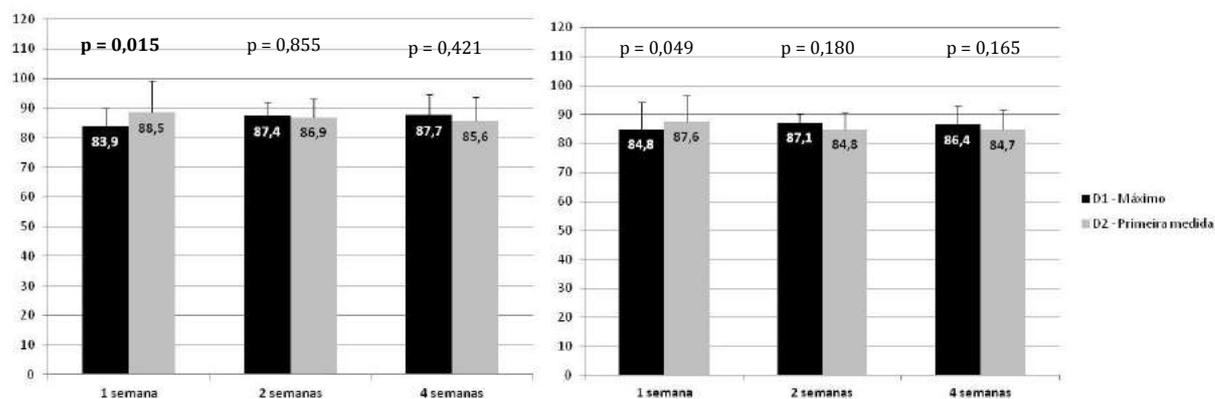


Gráfico 10. Diferença na média no número de blocos máximo no dia 1 e número de blocos na primeira medida do dia 2 no setup convencional e ergonômico, mão esquerda, segundo o intervalo de tempo



A seguir, os resultados encontrados nos testes físicos, nos setups convencional e ergonômicos, serão contrastados com os resultados descritos por Mathiowetz et al (1985) e Mendes et al (2001).

4.2.2 Discussão dos Testes Físicos Convencional e Ergonômico

Nesta seção, os resultados dos testes encontrados na etapa física estão comparados com as tabelas de Mathiowetz et al (1985) e Mendes et al (2001). Para isto, foi considerado o enquadramento no intervalo dos valores mínimos e máximos considerados válidos por esses autores. Não foram consideradas as médias com os respectivos intervalos de desvio padrão porque, na presente pesquisa, não se contemplou amostra significativa por faixa etária.

Esta comparação contemplou:

1. A primeira medida do primeiro dia dos testes convencional (teste 1 CONV) e ergonômico (teste 1 ERG);
2. O resultado máximo no primeiro dia dos testes convencional (MÁX D1 C) e ergonômico (MÁX D1 E);
3. O resultado máximo do segundo dia dos testes convencional (MÁX D2 C) e ergonômico (MÁX D2 E).

Os dados grifados em azul estão acima do limite máximo descritos pelos autores, e os dados em vermelho estão abaixo do limite mínimo.

As tabelas 12 e 23 referem-se à comparação com os resultados de Mathiowetz et al (1985). Observe os resultados grifados em azul.

Tabela 12. Comparação dos resultados dos testes físicos com Mathiowetz et al (1985) – Mão direita

			Mão DIREITA					
Usuário	Idade	Sexo	Teste 1 CONV	MÁX D1 C	MÁX D2 C	Teste 1 ERG	MÁX D1 E	MÁX D2 E
1	40	F	83	92	86	71	88	87
2	35	M	73	89	98	82	93	96
3	44	F	73	86	109	72	89	93
4	29	M	85	93	109	88	96	100
5	22	M	86	94	102	76	95	108
6	35	M	80	93	105	82	96	110
7	46	F	91	94	94	85	97	95
8	42	F	80	93	97	86	93	102
9	29	M	93	100	112	78	94	103
10	23	M	71	91	100	84	88	95
11	30	M	84	95	96	89	94	106
12	32	M	90	91	102	96	97	106
13	23	M	76	89	95	74	84	100
14	27	M	86	94	101	87	95	102
15	23	M	72	78	85	70	82	90
16	39	M	93	102	99	101	97	111
17	45	F	90	93	102	90	99	105
18	29	M	78	84	88	80	90	89
19	32	F	89	90	93	86	89	100
20	24	F	84	86	89	58	82	90
21	24	F	100	101	113	93	106	123
22	23	F	72	90	93	80	83	98
23	23	F	83	93	87	83	90	91
24	24	F	83	86	100	83	84	99
25	21	F	87	85	99	89	89	98
26	23	F	87	92	100	89	93	90
27	23	M	78	92	103	80	101	102
28	24	M	84	103	105	92	110	104
29	39	M	80	84	100	83	79	95
30	34	F	80	86	90	82	87	84

Fonte: Elaborada pela autora (2017)

Tabela 13. Comparação dos resultados dos testes físicos com Mathiowetz et al (1985) – Mão esquerda

			Mão ESQUERDA					
Usuário	Idade	Sexo	Teste 1 CONV	MÁX D1 C	MÁX D2 C	Teste 1 ERG	MÁX D1 E	MÁX D2 E
1	40	F	86	90	94	76	91	94
2	35	M	80	87	98	86	87	96
3	44	F	66	78	87	59	75	86
4	29	M	75	89	90	90	87	89
5	22	M	86	93	99	80	93	98
6	35	M	77	85	108	87	88	104
7	46	F	85	89	89	83	90	87
8	42	F	91	91	99	90	92	102
9	29	M	85	88	94	78	85	93
10	23	M	79	83	96	82	82	95
11	30	M	80	88	90	81	86	94
12	32	M	87	99	107	90	97	102
13	23	M	71	77	87	66	77	86
14	27	M	79	88	91	83	87	90
15	23	M	75	80	80	75	81	83
16	39	M	85	104	97	86	93	95
17	45	F	80	88	90	74	87	93
18	29	M	71	82	82	87	88	82
19	32	F	83	83	94	78	83	90
20	24	F	76	83	87	75	80	89
21	24	F	95	97	108	94	103	108
22	23	F	67	82	87	74	82	88
23	23	F	80	82	94	74	83	82
24	24	F	85	80	94	79	82	101
25	21	F	86	86	94	82	86	101
26	23	F	74	76	85	73	83	85
27	23	M	70	80	90	73	89	91
28	24	M	85	99	107	96	98	103
29	39	M	71	80	91	71	76	84
30	34	F	65	74	78	67	73	74

Fonte: Elaborada pela autora (2017)

Nas tabelas 12 e 13, é possível observar que os resultados encontrados na presente pesquisa enquadraram-se no intervalo de Mathiowetz et al (1985) desde o primeiro teste, em ambos os setups físicos – convencional e ergonômico. No setup ergonômico para a mão direita, um único resultado foi encontrado acima do limite descritos pelos autores.

O enquadramento de ambos os setups corrobora com os resultados estatísticos de que não houve diferença quantitativa significativa, e aponta que é possível igualmente avaliar a destreza manual ofertando maior conforto e reduzindo o esforço biomecânico dos membros superiores, principalmente dos ombros. Assim, torna-se mais fácil isolar a avaliação da destreza motora, sem a influência de limitações da amplitude de movimento passiva e/ou ativa das articulações adjacentes.

Quanto ao resultado máximo do primeiro dia, foram encontrados para a mão direita no setup convencional dois resultados superiores ao limite máximo de Mathiowetz et al (1985), e quatro no setup ergonômico. Para a mão esquerda, apenas um resultado superior ao limite dos autores foi encontrado no setup ergonômico.

Quando a comparação foi realizada com a pontuação máxima do primeiro dia, resultados mais significativos foram encontrados:

- No setup convencional para a mão direita, 6,6% da amostra obteve resultados acima do limite máximo de Mathiowetz et al (1985);
- No setup ergonômico para a mão direita, 13,3% da amostra obteve resultados acima do limite máximo de Mathiowetz et al (1985);
- No setup convencional para a mão esquerda, nenhum voluntário da amostra obteve resultados acima do limite máximo de Mathiowetz et al (1985);
- No setup ergonômico para a mão esquerda, 3,3% da amostra obteve resultados acima do limite máximo de Mathiowetz et al (1985).

Quanto ao resultado máximo do segundo dia, foram encontrados resultados superiores ao limite máximo de Mathiowetz et al (1985) mais significativos e em ambos os setups, corroborando com os resultados estatísticos que demonstraram o aprendizado continua sendo promovido no dia 2 de testes.

Quando a comparação foi realizada com a pontuação máxima do segundo dia, resultados mais significativos foram encontrados:

- No setup convencional para a mão direita, 26,6% da amostra obteve resultados acima do limite máximo de Mathiowetz et al (1985);
- No setup ergonômico para a mão direita, 33,3% da amostra obteve resultados acima do limite máximo de Mathiowetz et al (1985);
- No setup convencional para a mão esquerda, 16,6% da amostra obteve resultados acima do limite máximo de Mathiowetz et al (1985);
- No setup ergonômico para a mão esquerda, 26,6% da amostra obteve resultados acima do limite máximo de Mathiowetz et al (1985).

A partir desses resultados, foi possível observar um resultado qualitativo que não diferencia a interação dos usuários com os setups convencional e ergonômico, quando comparados com Mathiowetz et al (1985). Também houve a confirmação do aprendizado da tarefa, especialmente observada após a realização do segundo dia de testes.

Para a comparação com Mendes et al (2001), foi realizado inicialmente um estudo comparativo com os resultados encontrados por Mathiowetz et al (1985), que configuram o resultado ouro do *Box and Blocks*. Para isto, foram consideradas as médias por faixa etária descritas pelos autores. Os resultados descritos por Mendes et al (2001) foram menores, chegando a uma redução de até 12 blocos deslocados por minuto.

Quando são considerados os valores mínimos no limite considerado por Mendes et al (2001), a diferença chega a 35 pontos. Isto faz com que parte da amostra de Mendes et al (2001) não se enquadre na padronização de resultados definida por Mathiowetz et al (1985).

É importante relatar que dificuldade semelhante foi encontrada na presente pesquisa. Durante a realização dos pré-testes, alguns usuários não conseguiram alcançar os intervalos pré-definidos por Mathiowetz et al (1985). O que se observou é que a organização dos cubos (blocks) na caixa (box) pode dificultar consideravelmente sua pega. Quando os cubos estão muito encaixados, alinhados dentro da caixa, o usuário despende um tempo para desorganizá-lo e conseguir pegá-lo. A adoção da simples rotina de embaralhar os cubos antes de iniciar os testes, resolveu o problema.

Nas tabelas 14 e 15, é possível observar que os resultados encontrados na presente pesquisa comparados com Mendes et al (2001), em ambos os setups físicos – convencional e ergonômico.

Tabela 14. Comparação dos resultados dos testes físicos com Mendes et al (2001) – Mão direita

Usuário	Idade	Sexo	Mão DIREITA					
			Teste 1 CONV	MÁX D1 C	MÁX D2 C	Teste 1 ERG	MÁX D1 E	MÁX D2 E
1	40	F	83	92	86	71	88	87
2	35	M	73	89	98	82	93	96
3	44	F	73	86	109	72	89	93
4	29	M	85	93	109	88	96	100
5	22	M	86	94	102	76	95	108
6	35	M	80	93	105	82	96	110
7	46	F	91	94	94	85	97	95
8	42	F	80	93	97	86	93	102
9	29	M	93	100	112	78	94	103
10	23	M	71	91	100	84	88	95
11	30	M	84	95	96	89	94	106
12	32	M	90	91	102	96	97	106
13	23	M	76	89	95	74	84	100
14	27	M	86	94	101	87	95	102
15	23	M	72	78	85	70	82	90
16	39	M	93	102	99	101	97	111
17	45	F	90	93	102	90	99	105
18	29	M	78	84	88	80	90	89
19	32	F	89	90	93	86	89	100
20	24	F	84	86	89	58	82	90
21	24	F	100	101	113	93	106	123
22	23	F	72	90	93	80	83	98
23	23	F	83	93	87	83	90	91
24	24	F	83	86	100	83	84	99
25	21	F	87	85	99	89	89	98
26	23	F	87	92	100	89	93	90
27	23	M	78	92	103	80	101	102
28	24	M	84	103	105	92	110	104
29	39	M	80	84	100	83	79	95
30	34	F	80	86	90	82	87	84

Fonte: Elaborada pela autora (2017)

Tabela 15. Comparação dos resultados dos testes físicos com Mendes et al (2001) – Mão esquerda

Usuário	Idade	Sexo	Mão ESQUERDA					
			Teste 1 CONV	MÁX D1 C	MÁX D2 C	Teste 1 ERG	MÁX D1 E	MÁX D2 E
1	40	F	86	90	94	76	91	94
2	35	M	80	87	98	86	87	96
3	44	F	66	78	87	59	75	86
4	29	M	75	89	90	90	87	89
5	22	M	86	93	99	80	93	98
6	35	M	77	85	108	87	88	104
7	46	F	85	89	89	83	90	87
8	42	F	91	91	99	90	92	102
9	29	M	85	88	94	78	85	93
10	23	M	79	83	96	82	82	95
11	30	M	80	88	90	81	86	94
12	32	M	87	99	107	90	97	102
13	23	M	71	77	87	66	77	86
14	27	M	79	88	91	83	87	90
15	23	M	75	80	80	75	81	83
16	39	M	85	104	97	86	93	95
17	45	F	80	88	90	74	87	93
18	29	M	71	82	82	87	88	82
19	32	F	83	83	94	78	83	90
20	24	F	76	83	87	75	80	89
21	24	F	95	97	108	94	103	108
22	23	F	67	82	87	74	82	88
23	23	F	80	82	94	74	83	82
24	24	F	85	80	94	79	82	101
25	21	F	86	86	94	82	86	101
26	23	F	74	76	85	73	83	85
27	23	M	70	80	90	73	89	91
28	24	M	85	99	107	96	98	103
29	39	M	71	80	91	71	76	84
30	34	F	65	74	78	67	73	74

Fonte: Elaborada pela autora (2017)

Nas tabelas 14 e 15, é possível observar que os resultados encontrados na presente pesquisa enquadraram-se no intervalo de Mendes et al (2001) desde o primeiro teste, em ambos os setups físicos – convencional e ergonômico.

Assim como ocorreu com a comparação com Mathiowetz et al (1985), os resultados de Mendes et al (2001) também forma inferiores com as pontuações da presente pesquisa, fazendo com que mais resultados acima do limite descritos pelos autores fossem encontrados desde o primeiro teste.

Quando a comparação foi realizada com a pontuação do primeiro teste do dia 1, foram encontrados os seguintes resultados:

- No setup convencional para a mão direita, 20% da amostra obteve resultados acima do limite máximo de Mendes et al (2001);
- No setup ergonômico para a mão direita, o mesmo percentual de 20% da amostra obteve resultados acima do limite máximo de Mendes et al (2001);
- No setup convencional para a mão esquerda, 16,6% da amostra obteve resultados acima do limite máximo de Mendes et al (2001);
- No setup ergonômico para a mão esquerda, 33,3% da amostra obteve resultados acima do limite máximo de Mendes et al (2001).

Quanto ao resultado máximo do primeiro dia, foram encontrados resultados efetivos de aprendizado na comparação com Mendes et al (2001) nos dois setups físicos, corroborando com os resultados estatísticos que demonstram aprendizado desde o primeiro dia.

Quando a comparação foi realizada com a pontuação máxima do primeiro dia, resultados mais significativos foram encontrados:

- No setup convencional para a mão direita, 56,6% da amostra obteve resultados acima do limite máximo de Mendes et al (2001);
- No setup ergonômico para a mão direita, 70% da amostra obteve resultados acima do limite máximo de Mendes et al (2001);
- No setup convencional para a mão esquerda, 56,6% da amostra obteve resultados acima do limite máximo de Mendes et al (2001);
- No setup ergonômico para a mão esquerda, 53,3% da amostra obteve resultados acima do limite máximo de Mendes et al (2001).

Quanto ao resultado máximo do segundo dia, foram encontrados resultados superiores ao limite máximo de Mendes et al (2001) ainda mais significativos e em ambos os setups, corroborando com os resultados estatísticos que demonstraram o aprendizado continua sendo promovido no dia 2 de testes.

Quando a comparação foi realizada com a pontuação máxima do segundo dia, resultados mais significativos foram encontrados:

- No setup convencional para a mão direita, 86,6% da amostra obteve resultados acima do limite máximo de Mendes et al (2001);
- No setup ergonômico para a mão direita, 70% da amostra obteve resultados acima do limite máximo de Mendes et al (2001);
- No setup convencional para a mão esquerda, 76,6% da amostra obteve resultados acima do limite máximo de Mendes et al (2001);
- No setup ergonômico para a mão esquerda, 70% da amostra obteve resultados acima do limite máximo de Mendes et al (2001).

A partir desses resultados, foi possível observar um resultado qualitativo que não diferencia a interação dos usuários com os setups convencional e ergonômico, quando comparados com Mendes et al (2001). Também houve a confirmação do aprendizado da tarefa, especialmente observada desde o primeiro dia de testes.

4.2.3 Conclusão dos Testes Físicos Convencional e Ergonômico

Para relatar as conclusões parciais dos testes físicos, foram consideradas as quatro análises descritas nos resultados.

Análise Física 1. Máx dia 1 x Máx dia 2

Um maior aumento se deu nas medidas entre o primeiro e o terceiro testes, justificando um processo de aprendizagem na execução da tarefa. Na análise do efeito do intervalo do tempo sobre o aumento do número de blocos entre os dias 1 e 2, não houve diferença estatística tanto no setup convencional quanto no ergonômico, ou seja, o aumento no número de blocos foi independente do intervalo de tempo entre os testes. Tanto na análise

da mão direita quanto da esquerda, não se observou diferenças estatisticamente significantes no número de blocos entre os setups convencional e ergonômico quando comparados o dia 1 e o dia 2.

Análise Física 2. 1^a medida dia 1 x Máx dia 2

Tanto na análise da mão direita quanto da esquerda, houve aumento significativo na aprendizagem quando comparado o número de blocos na primeira medida do primeiro dia e o máximo de número de blocos conseguidos no segundo dia, independente do intervalo de tempo entre as medidas, assim como entre os setups convencional e ergonômico. Comparadas as medidas dos voluntários quanto a mão direita e esquerda, a mão direita apresentou um maior número de blocos, seja entre os diferentes setups ou seja nos dias 1 e dias 2. Isso pode ser justificado pelo fato da amostra ser majoritariamente destra.

Análise Física 3. 1^a medida dia 1 x Máx dia 1

Tanto na análise da mão direita quanto da esquerda, houve um aumento significativo na aprendizagem quando comparado o número de blocos na primeira medida e no máximo de número de blocos conseguidos no dia 1, independente do intervalo de tempo entre as medidas, assim como entre os setups convencional e ergonômico. Este resultado aponta que a aprendizagem já é significativa desde o primeiro dia de testes.

Análise Física 4. 1^a medida dia 2 x Máx dia 2

Tanto na análise da mão direita quanto da esquerda, houve um aumento significativo na aprendizagem quando comparado o número de blocos na primeira medida e no máximo de número de blocos conseguidos no dia 2, independente do intervalo de tempo entre as medidas, assim como entre os setups convencional e ergonômico. Este resultado aponta que a aprendizagem continua acontecendo no segundo dia de testes.

Análise Física 5. Máx dia 1 x 1^a medida dia 2

Na análise se o voluntário manteve o aprendizado, na mão direita não houve uma diferença significativa quando comparado o número de blocos na medida máxima do primeiro dia e a primeira medida do número de blocos conseguidos no segundo dia, independente do intervalo de tempo entre as medidas, assim como entre os setups convencional e ergonômico. Ou seja, ao iniciar o segundo dia de testes os usuários mantiveram resultados equivalentes ao máximo de pontos conseguidos no primeiro dia, indicando a manutenção do aprendizado. Na

mão esquerda, apenas a avaliação do grupo com intervalo de uma semana é que mostrou um aumento significativo ao iniciar o segundo dia, tanto no setup convencional quanto ergonômico.

Os resultados comparativos com Mathiowetz et al (1985) apontam um resultado qualitativo que não diferencia a interação dos usuários com os setups convencional e ergonômico. Também houve a confirmação do aprendizado da tarefa, especialmente observada após a realização do segundo dia de testes.

Os resultados comparativos com Mendes et al (2001) apontam um resultado qualitativo que não diferencia a interação dos usuários com os setups convencional e ergonômico. Também houve a confirmação do aprendizado da tarefa, observada desde o primeiro dia de testes.

Em resumo, os experimentos demonstraram que o aprendizado gerado na realização em trélicas da tarefa do *Box and Blocks* interfere de forma significativa nos resultados encontrados para o próprio teste.

O aprendizado ocorreu desde o primeiro dia de teste, se manteve e continuou crescendo no segundo dia. Ainda que esses usuários não tenham passado por acompanhamento fisioterapêutico para aumentar a destreza, o aumento dos resultados do *Box and Blocks* foram significativos apenas pelo aprendizado da tarefa.

É importante que profissionais de saúde que queriam adotar o *Box and Blocks* considerem este aprendizado e realizem o teste com intervalos maiores que 4 semanas, já que ficou comprovado que em intervalos de 1 a 4 semanas o aumento da pontuação do teste irá acontecer independente da inserção do usuário em um programa de reabilitação.

Novas pesquisas com uma amostra maior de usuários com e sem deficiência devem ser realizadas para que um novo e necessário protocolo de aplicação do teste possa ser definido.

Compreendidos os resultados dos testes físicos, na próxima seção estão apresentados e discutidos os resultados do estudo de concordância das formas físicas e virtuais do *Box and Blocks*.

4.3 Estudo de Concordância entre os Testes Físicos e Virtuais

Nesta seção, está descrito o estudo de concordância entre os testes físicos e virtuais válidos. Para isto, utilizou-se a amostra de 1.620 testes, sendo 360 físicos convencionais, 360 físicos ergonômicos, 180 virtuais não imersivos na visão anterior com uso do monitor, 180 virtuais não imersivos na visão anterior com uso da TV, 180 virtuais não imersivos na visão superior com uso do monitor, 180 virtuais não imersivos na visão superior com uso da TV e 180 virtuais imersivos, totalizando 720 testes físicos e 900 virtuais; coletados com os 30 voluntários que concluíram toda a pesquisa.

Estão descritos, de forma comparativa, os resultados encontrados entre os testes físicos e virtuais realizados na presente pesquisa, considerando a amostra em dois grupos:

1. Grupo 1 que realizou os testes virtuais não imersivos com o uso do computador 1 (notebook Acer Aspire V5-471 series, modelo MS2360, processador Intel Celeron, 1T de memória RAM, Windows 8;

2. Grupo 2 que utilizou o computador 2 (desktop com processador Intel Core i5, placa de vídeo Nvidia GTX 970 / AMD, 8GB de memória RAM, Windows 7 x64).

Todos os testes imersivos foram realizados com o computador 2, entretanto, para avaliar a influência as experiências prévias virtuais não-imersivas sobre os resultados dos testes *Box and Blocks* imersivos, a análise continuou considerando os dois grupos acima descritos.

Para a discussão, foram considerados também os resultados publicados por Mathiowetz et al (1985) e Mendes et al (2001).

Por fim, estão apresentados conclusões parciais do estudo, referentes aos experimentos dos setups virtuais – imersivo e não imersivos.

4.3.1 Resultados dos Testes Virtuais

O estudo de concordância sobre a interação dos usuários com os testes *Box and Blocks* físicos e virtuais buscou esclarecer quatro questionamentos principais:

1. Qual o efeito da aprendizagem da tarefa sobre o resultado quantitativo dos testes *Box and Blocks* virtuais?

2. Qual a influência da imersão sobre os resultados objetivos da interação do usuário, aqui traduzidos como o resultado quantitativo do *Box and Blocks*?

3. Qual a influência das experiências prévias virtuais não-imersivas sobre os resultados dos testes *Box and Blocks* imersivos? 4. Quais são os principais preceitos que estabelecem a concordância entre os resultados quantitativos dos testes *Box and Blocks* físicos e virtuais?

Para estas análises, foram consideradas as seguintes amostras:

1. N=30: amostra total da pesquisa, aqui utilizada apenas para os testes físicos;
2. N \leq 15: corresponde aos 15 primeiros voluntários da pesquisa, que utilizaram o computador 1 para a realização dos testes não imersivos;
3. N $>$ 15: corresponde aos 15 últimos voluntários da pesquisa, que utilizaram o computador 2 para a realização dos testes não imersivos.

Como dito anteriormente, todos os testes imersivos foram realizados com o computador 2, entretanto, para avaliar a influência as experiências prévias virtuais não-imersivas sobre os resultados imersivos, a descrição dos testes imersivos também considerou as amostras n \leq 15 e n $>$ 15.

Para a obtenção dos resultados dos testes virtuais, foram realizadas as análises descritas a seguir.

Análise Virtual 1. Máx Físico dia 1 (n=30) x Máx Comp 1 (n \leq 15) x Máx Comp 2 (n $>$ 15)

Variabilidade entre a média das medidas máximas alcançadas no dia 1 dos testes físicos com toda a amostra (n=30) *versus* a média das medidas máximas dos testes virtuais não imersivos *versus* a média das medidas máximas dos testes virtuais imersivos; considerando para os testes virtuais imersivos e não imersivos dois grupos – grupo 1 (n \leq 15) e grupo 2 (n $>$ 15). Estes resultados serão descritos nos gráficos 11 (membro superior dominante) e 12 (membro superior não dominante). Esta análise objetivou observar o comportamento dos grupos virtuais 1 e 2, quando comparados com os resultados máximos dos testes físicos no dia 1.

Análise Virtual 2. Máx Físico dia 2 (n=30) x Máx Comp 1 (n \leq 15) x Máx Comp 2 (n $>$ 15)

Variabilidade entre a média das medidas máximas alcançadas no dia 2 dos testes físicos com toda a amostra (n=30) *versus* a média das medidas máximas dos testes virtuais não imersivos *versus* a média das medidas máximas dos testes virtuais imersivos; considerando para os testes virtuais dois grupos – grupo 1 (n \leq 15) e grupo 2 (n $>$ 15). Estes resultados serão descritos nos gráficos 13 (membro superior dominante) e 14 (membro superior não

dominante). Esta análise objetivou observar o comportamento dos grupos virtuais 1 e 2, quando comparados com os resultados máximos dos testes físicos no dia 2.

Análise Virtual 3. Máx Físico dia 1 ($n > 15$) x Máx Comp 2 ($n > 15$) não imersivos x Máx Comp 2 ($n \leq 15$ e $n > 15$) imersivos

Variabilidade entre a média das medidas máximas alcançadas no dia 1 dos testes físicos com o grupo 2 da amostra ($n > 15$) *versus* a média das medidas máximas dos testes virtuais não imersivos com o grupo 2 da amostra ($n > 15$) *versus* a média das medidas máximas dos testes virtuais imersivos com os dois grupos – grupo 1 ($n \leq 15$) e grupo 2 ($n > 15$). Estes resultados serão descritos nos gráficos 15 (membro superior dominante) e 16 (membro superior não dominante). Esta análise teve como objetivo observar se os resultados máximos dos testes virtuais são compatíveis com os resultados máximos dos testes físicos, após o aprendizado em réplicas.

Análise Virtual 4. 1º Teste Físico dia 1 ($n > 15$) x Máx Não Imersivos Comp 2 ($n > 15$) x Máx Imersivos Comp 2 ($n \leq 15$ e $n > 15$)

Variabilidade entre a média das primeiras medidas alcançadas no primeiro dos testes físicos com o grupo 2 da amostra ($n > 15$) *versus* a média das medidas máximas dos testes virtuais não imersivos com o grupo 2 da amostra ($n > 15$) *versus* a média das medidas máximas dos testes virtuais imersivos com os dois grupos – grupo 1 ($n \leq 15$) e grupo 2 ($n > 15$). Estes resultados serão descritos nos gráficos 17 (membro superior dominante) e 18 (membro superior não dominante). Esta análise teve como objetivo observar se os resultados máximos dos testes virtuais são compatíveis com os resultados dos primeiros testes físicos, após o aprendizado virtual em réplicas.

Análise Virtual 5. 1º Teste Físico dia 1 ($n > 15$) x 1^{os} Testes Não Imersivos Comp 2 ($n > 15$) x 1º Teste Imersivo Comp 2 ($n \leq 15$ e $n > 15$)

Variabilidade entre a média das primeiras medidas alcançadas no primeiro dos testes físicos com o grupo 2 da amostra ($n > 15$) *versus* a média das primeiras medidas dos testes virtuais não imersivos com o grupo 2 da amostra ($n > 15$) *versus* a média das primeiras medidas dos testes virtuais imersivos com os dois grupos – grupo 1 ($n \leq 15$) e grupo 2 ($n > 15$). Estes resultados serão descritos nos gráficos 19 (membro superior dominante) e 20 (membro superior não dominante). Esta análise teve como objetivo observar se os primeiros resultados

dos testes virtuais são compatíveis com os primeiros resultados dos testes físicos, sem possibilitar o aprendizado em trélicas.

Nos gráficos 11 a 20, apresentam dados sobre os testes virtuais não imersivos. Na legenda destes gráficos, constam os termos que foram utilizados na criação da aplicação interativa para a seleção das visões anterior e superior. Utilizou-se o termo ‘frente’ para designar a visão anterior, e ‘topo’ para a visão superior. Assim, nos gráficos e tabelas, os dados referentes a ‘frente monitor’ ou ‘FM’ tratam do setup anterior monitor; os dados ‘frente TV’ ou ‘FTV’ referem-se ao setup anterior TV, os dados ‘topo monitor’ ou ‘TM’ tratam do setup superior monitor e, por fim, os dados ‘topo TV’ ou ‘TTV’ referem-se ao setup superior TV.

Como o experimento foi organizado em trélicas, foi realizada uma análise da variabilidade entre as repetições da tarefa, considerando os diferentes setups virtuais imersivo e não imersivos.

Em todas as condições virtuais experimentais houveram aumentos significativos no número de blocos. Como visto na análise da reprodutibilidade, um maior aumento se deu nas medidas entre o primeiro e o terceiro testes, justificado por um processo de aprendizagem na execução da tarefa. Por isso, para a comparação entre os setups foi utilizada a medida máxima no número de blocos transportados durante os testes.

Na tabela a seguir, é possível observar o aumento da média dos resultados quantitativos dos testes imersivos, considerando a amostra total de 30 usuários.

Tabela 16. Diferença média do número de blocos das trélicas - Imersivo

	Imersivo			
	1ª Medida	2ª Medida	3ª Medida	p
Mão direita	68,5	75,6	78,3	<0,001
Mão esquerda	65,0	70,9	73,3	<0,001

Fonte: Elaborada pela autora (2017)

Sobre a interação com o uso dos computadores 1 e 2, se observou uma diferença estatisticamente significativa em todos os setups virtuais não imersivos analisados (anterior monitor, anterior TV, superior monitor e superior TV), com uma diferença aproximada de 50

blocos, sendo o computador 2 com maior número de blocos, tanto na mão direita quanto na mão esquerda.

Nos gráficos 11 e 12, é possível observar a diferença significativa dos resultados quantitativos dos testes virtuais não imersivos do grupo que utilizou o computador 1 (C1 - $n \leq 15$) e do grupo que usou o computador 2 (C2 - $n > 15$).

Pode-se observar também que os resultados quantitativos dos testes imersivos do grupo C1 também foram estatisticamente inferiores aos resultados do grupo C2, ainda que ambos os grupos tenham utilizado o computador 2 para a realização dos testes imersivos.

Gráfico 11. Média da medida máxima do número de blocos entre os setups físicos (convencionais e ergonômicos com 30 usuários) no dia 1 e os virtuais não imersivos (anterior monitor, anterior TV, superior monitor e superior TV), e o virtual imersivo – Mão direita

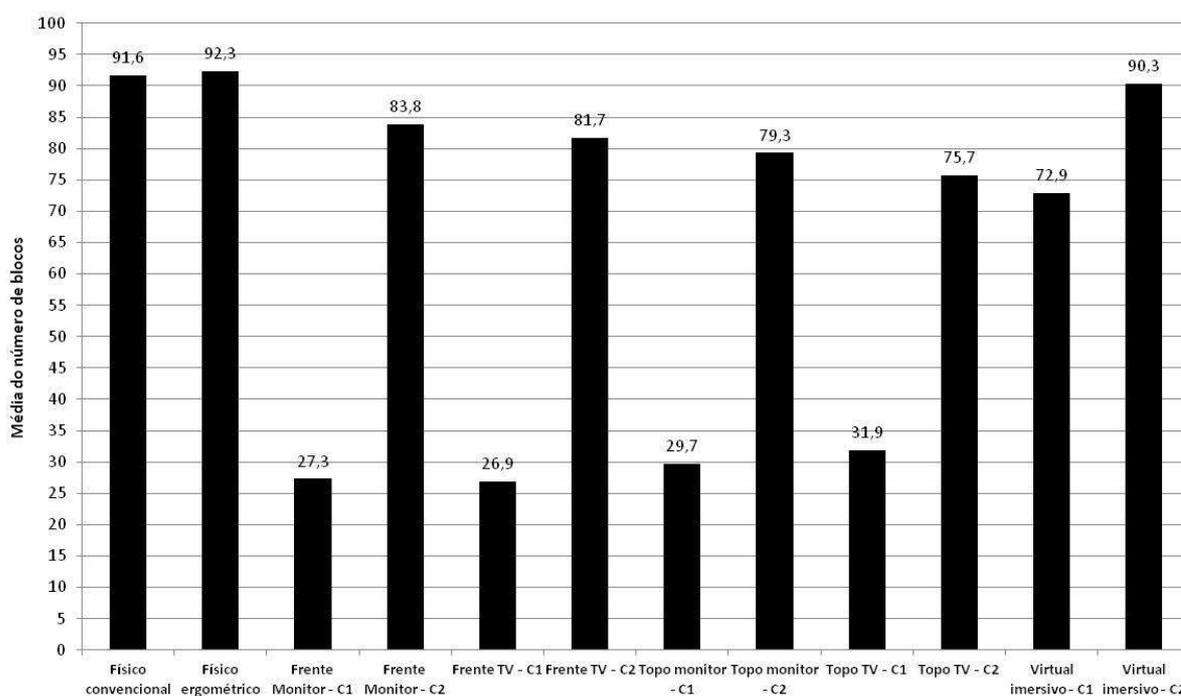
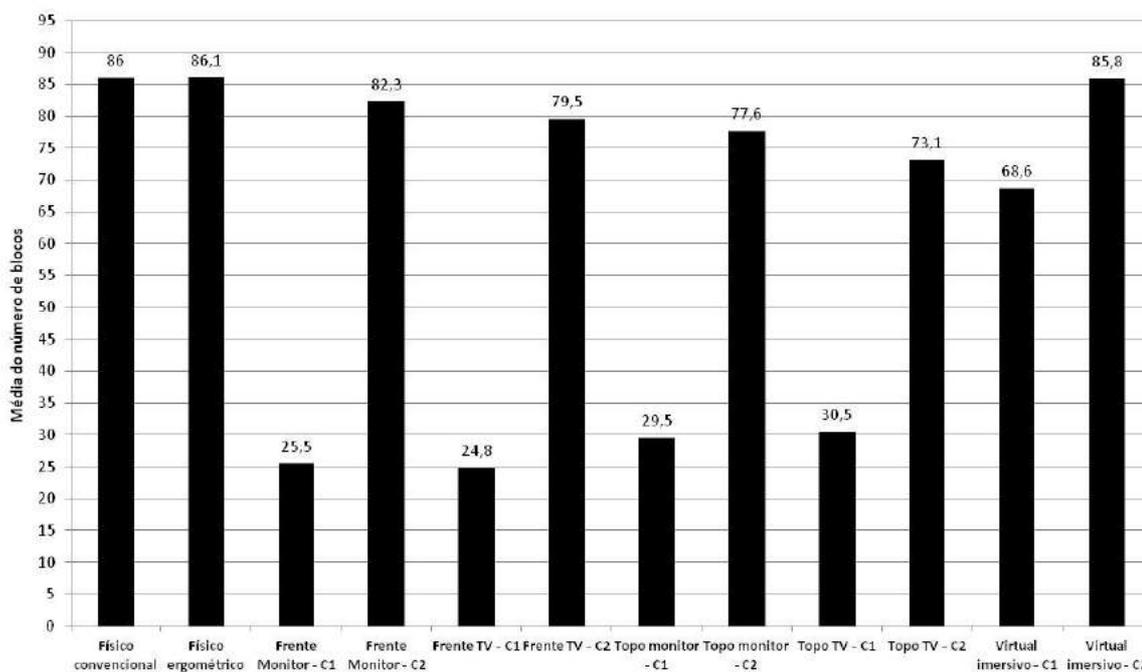


Gráfico 12. Média da medida máxima do número de blocos entre os setups físicos (convencionais e ergonômicos com 30 usuários) no dia 1 e os virtuais não imersivos (anterior monitor, anterior TV, superior monitor e superior TV), e o virtual imersivo – Mão esquerda



Na tabela 17, é possível observar a comparação entre os resultados máximos dos testes físicos no dia 1, considerando toda a amostra, e os resultados máximos dos testes virtuais. Nota-se que não houve diferença significativa entre os físicos – tanto convencional quanto o ergonômico, e dois setups virtuais – imersivos com o computador 2 e não imersivo anterior monitor também com o computador 2, para ambas as mãos. Considerando que existe compatibilidade desses testes virtuais, quando o aprendizado é possibilitado ao usuário – resultados máximos das réplicas.

Apenas para a análise dos resultados com a mão esquerda, observou-se concordância significativa nos resultados dos setups não virtuais anterior TV e superior monitor com os resultados físicos. O setup superior TV não obteve compatibilidade nem com o grupo 1, nem com o grupo 2, considerando as mãos dominante e não dominante.

Nenhum resultado do grupo 1 obteve concordância com os testes físicos. Mesmo quando os voluntários do grupo 1, utilizaram o computador 2 para os testes imersivos, seus resultados foram inferiores ao grupo 2 e divergentes dos resultados físicos. Isto indica que, na presente pesquisa, a experiência prévia com um sistema de baixo desempenho alterou o uso máximo das potencialidades após o sistema ser corrigido.

Os resultados que indicam concordância estão grifados em negrito na tabela abaixo.

Tabela 17. P-valor da significância na diferença média do número de blocos máximo entre os setups físicos (convencionais e ergonômicos com 30 usuários) no dia 1 e os virtuais não imersivos (anterior monitor, anterior TV, superior monitor e superior TV), e o virtual imersivo – mãos direita e esquerda (Computador 1 e 2)

Setups	Método Físico			
	Convencional		Ergonômico	
	Mão direita	Mão esquerda	Mão direita	Mão esquerda
Virtual não imersivo				
Computador 1				
ANT Monitor	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
ANT TV	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
SUP monitor	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
SUP TV	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Computador 2				
ANT Monitor	0,036	0,334	0,025	0,371
ANT TV	0,013	0,034	0,010	0,066
SUP monitor	0,011	0,047	<0,001	0,053
SUP TV	<0,001	0,003	<0,001	0,002
Virtual				
Imersivo – C1	<0,001	0,001	<0,001	<0,001
Imersivo – C2	0,802	0,818	0,665	0,103

Fonte: Elaborada pela autora (2017)

Nos gráficos 13 e 14, é possível observar a comparação entre os resultados máximos dos testes físicos no dia 2, considerando toda a amostra, e os resultados máximos dos testes virtuais.

Gráfico 13. Média da medida máxima do número de blocos entre os setups físicos (convencionais e ergonômicos com 30 usuários) no dia 2 e os virtuais não imersivos (anterior monitor, anterior TV, superior monitor e superior TV), e o virtual imersivo – Mão direita

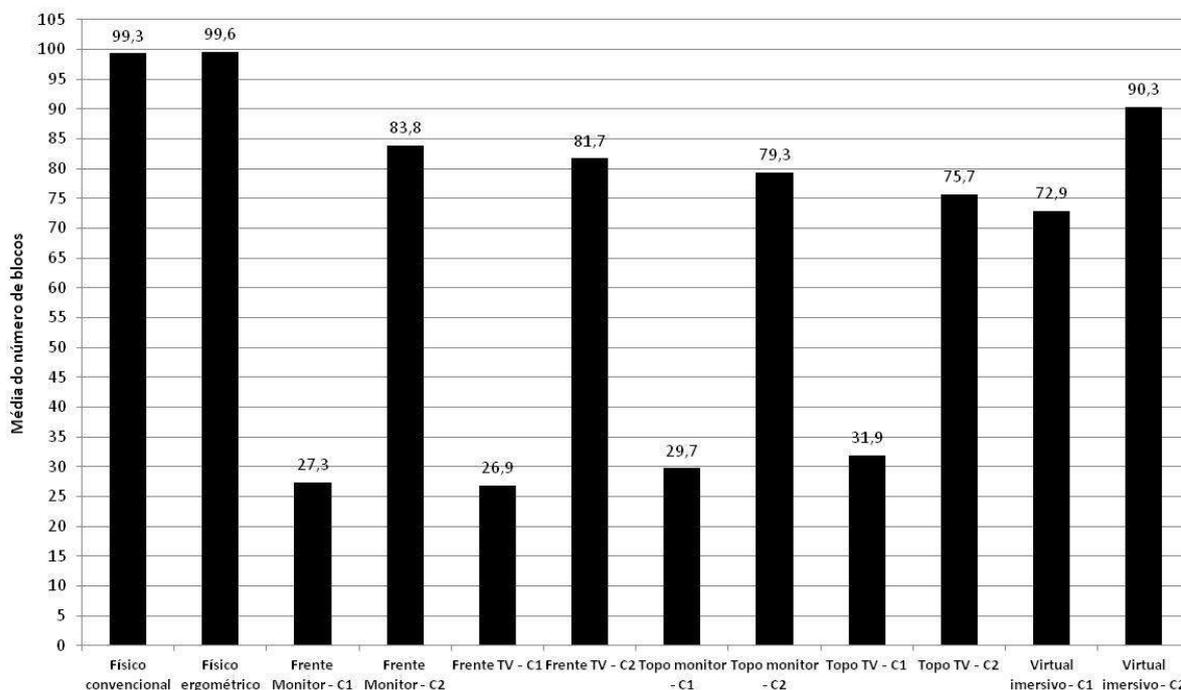
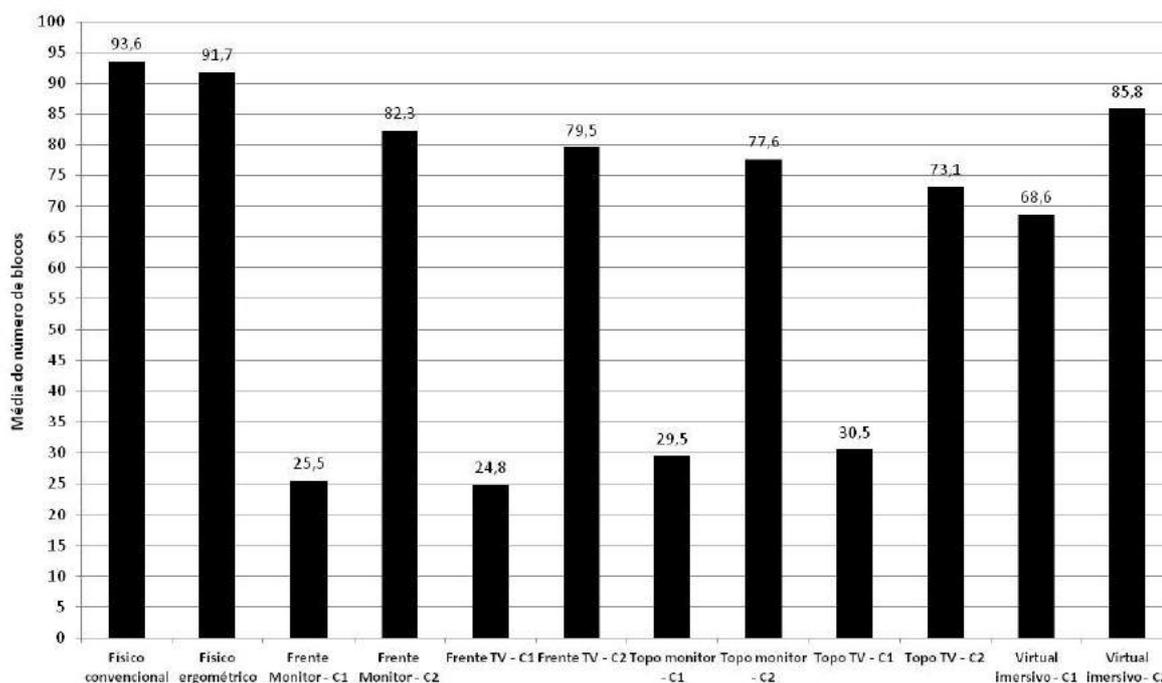


Gráfico 14. Média da medida máxima do número de blocos entre os setups físicos (convencionais e ergonômicos com 30 usuários) no dia 2 e os virtuais não imersivos (anterior monitor, anterior TV, superior monitor e superior TV), e o virtual imersivo – Mão esquerda



Na comparação dos grupos virtuais – não imersivos e imersivos, com o resultado do físico convencional e ergonômico no dia 2, houve diferença estatisticamente significativa em todas as comparações, tanto na mão esquerda quanto direita. Os resultados dos testes físicos foram estatisticamente maiores, o que já era esperado pois trata-se do resultado do aprendizado da tarefa do segundo dia de coleta dos setups convencional e ergonômico.

Na tabela 18, é possível observar um resultado isolado de concordância do teste imersivo do grupo 2 (em negrito) com os resultados do setup ergonômico, quando se considera a amostra completa de 30 usuários.

Tabela 18. P-valor da significância na diferença média do número de blocos máximo entre os setups físicos (convencionais e ergonômicos com 30 usuários) no dia 2 e os virtuais não imersivos (anterior monitor, anterior TV, superior monitor e superior TV), e o virtual imersivo – mãos direita e esquerda (Computador 1 e 2)

Setups	Método Físico			
	Convencional		Ergonômico	
	Mão direita	Mão esquerda	Mão direita	Mão esquerda
Virtual não imersivo				
Computador 1				
ANT Monitor	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
ANT TV	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
SUP monitor	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
SUP TV	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Computador 2				
ANT Monitor	<0,001	<0,001	0,014	0,031
ANT TV	<0,001	<0,001	<0,001	0,002
SUP monitor	<0,001	<0,001	0,001	0,002
SUP TV	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Virtual				
Imersivo – C1	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Imersivo – C2	0,010	0,027	0,003	0,077

Fonte: Elaborada pela autora (2017)

Os resultados dos testes não imersivos realizados com o computador 1 foram tão inferiores aos resultados do grupo 2 que impossibilitou a correlação quantitativa dos dados. Infelizmente, nesta pesquisa uma solução portátil do teste virtual *Box and Blocks* não foi alcançada.

A partir deste ponto da análise, os dados não imersivos do grupo 1 não serão contemplados. Os dados imersivos deste grupo continuarão sendo relatados para demonstrar a influência da experiência prévia negativa nos setups não imersivos sobre os resultados imersivos.

Cientes dos resultados negativos do grupo 1, os resultados apresentados a seguir tiveram como referência de resultados físicos apenas o grupo 2. Isto foi definido para garantir que os setups sejam comparados com o mesmo usuário. Assim, a amostra dos testes físicos contemplou apenas os quinze últimos voluntários da pesquisa.

Gráfico 15. Média da medida máxima da contagem do número de blocos entre os setups físicos (convencionais e ergonômicos com usuários do grupo 2 - 16 a 30) no dia 1 e os virtuais não imersivos (anterior monitor, anterior TV, superior monitor e superior TV), e o virtual imersivo – Mão direita

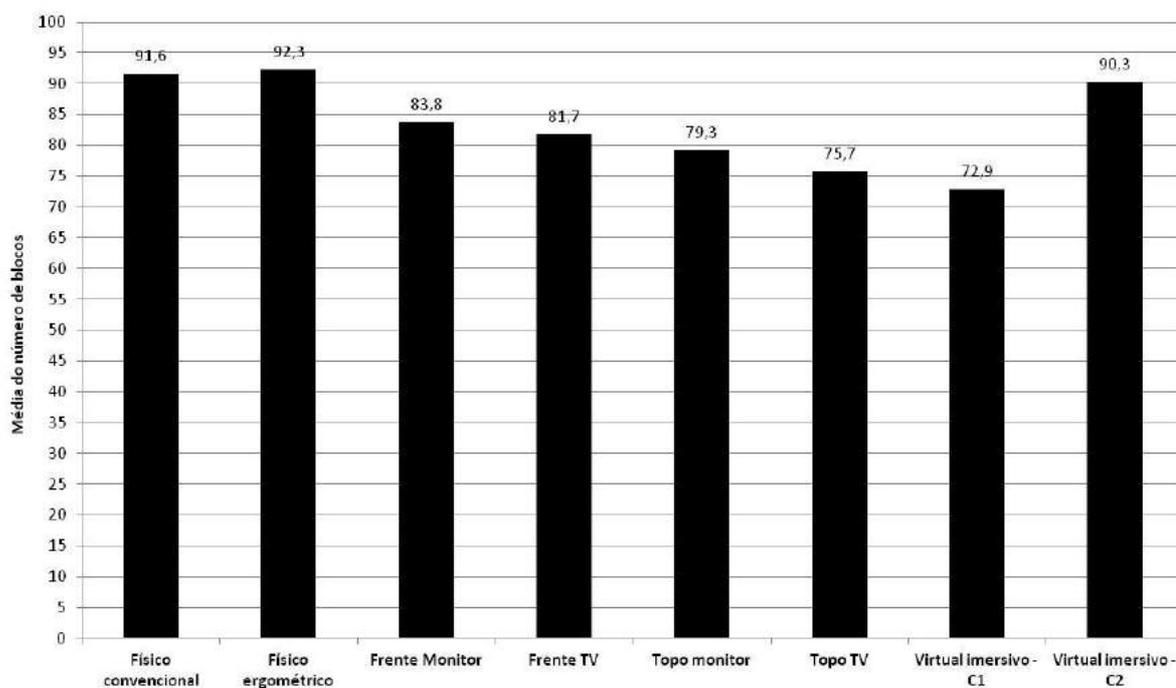
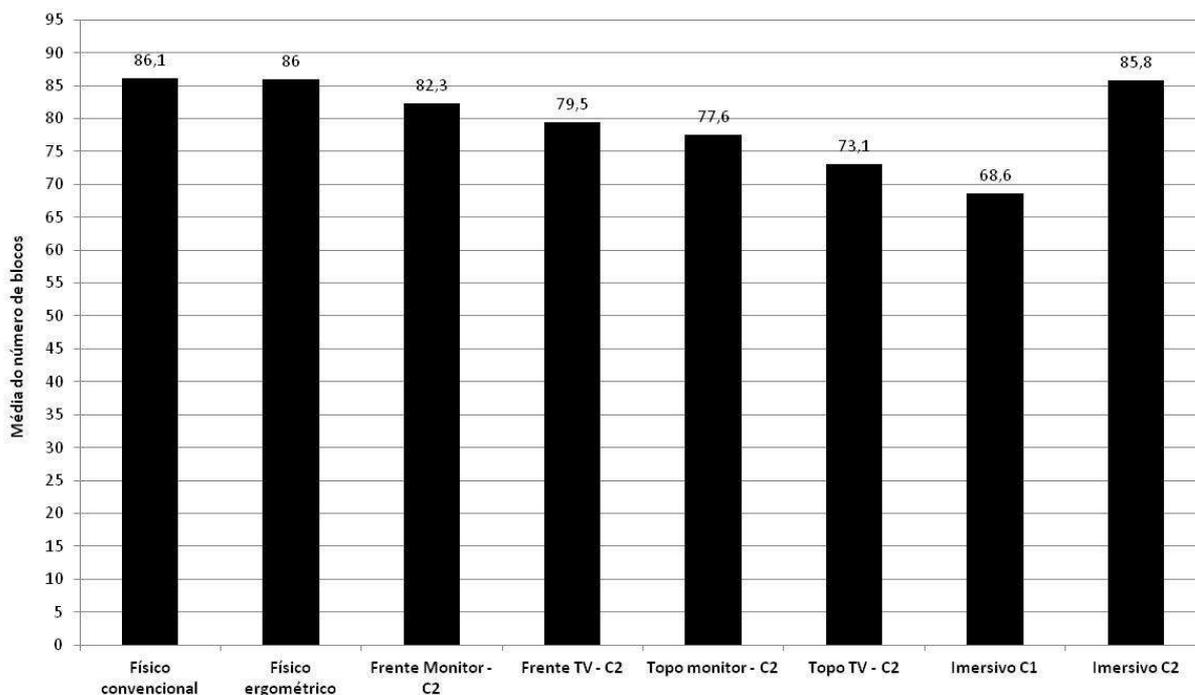


Gráfico 16. Média da medida máxima da contagem do número de blocos entre os setups físicos (convencionais e ergonômicos com usuários do grupo 2 - 15 a 30) no dia 1 e os virtuais não imersivos (anterior monitor, anterior TV, superior monitor e superior TV), e o virtual imersivo – Mão esquerda



Comparando os resultados dos métodos virtuais não imersivos e imersivos com o resultado do físico convencional e ergonômico ($n > 15$) no dia 1, observa-se que os testes imersivos do grupo 2 setup não tiveram diferença estatística com os resultados dos testes físicos, indicando concordância com os setups convencional e ergonômico.

Quanto aos resultados não imersivos, o setup anterior monitor teve a maior média no número de blocos, porém não houve diferença significativa em relação ao setup anterior TV e superior monitor. Diferença estatística foi observada na comparação entre os setups anterior monitor, que foi o setup não imersivo melhor avaliado, e o setup superior TV, indicando que este foi o setup não imersivo que obteve o pior resultado quantitativo.

Na tabela 19, estão descritos os p-valores referentes aos gráficos 15 e 16.

Tabela 19. P-valor da significância na diferença média do número de blocos máximo entre os setups físicos (convencionais e ergonômicos com usuários do grupo 2 - 16 a 30) no dia 1 e os virtuais não imersivos (anterior monitor, anterior TV, superior monitor e superior TV), e o virtual imersivo – mãos direita e esquerda (apenas o computador 2)

Setups	Método Físico			
	Convencional		Ergonômico	
	Mão direita	Mão esquerda	Mão direita	Mão esquerda
Virtual não imersivo				
Computador 2				
ANT Monitor	0,036	0,334	0,025	0,371
ANT TV	0,013	0,034	0,010	0,066
SUP monitor	0,011	0,047	<0,001	0,053
SUP TV	<0,001	0,003	<0,001	0,002
Virtual				
Imersivo – C1	<0,001	0,001	<0,001	<0,001
Imersivo – C2	0,519	0,649	0,374	0,619

Fonte: Elaborada pela autora (2017)

Os gráficos 17 e 18, apresentam os dados das primeiras medidas dos testes físicos com os resultados máximos dos testes virtuais. Esta análise objetivou observar se existe concordância com os resultados físicos, desde o primeiro momento de teste. Assim, serão considerados dados físicos prévios à possibilidade de aprendizagem.

Foram considerados para o teste físico apenas a amostra do grupo 2.

Para os testes virtuais, ainda foram considerados os resultados máximos encontrados, considerando a aprendizagem.

Gráfico 17. Comparação da primeira medida dos dois setups físicos (convencionais e ergonômicos com usuários do grupo 2 - 15 a 30) no dia 1 e com a média do número de blocos máximo dos setups virtuais imersivo e não imersivos (anterior monitor, anterior TV, superior monitor e superior TV) – Mão direita

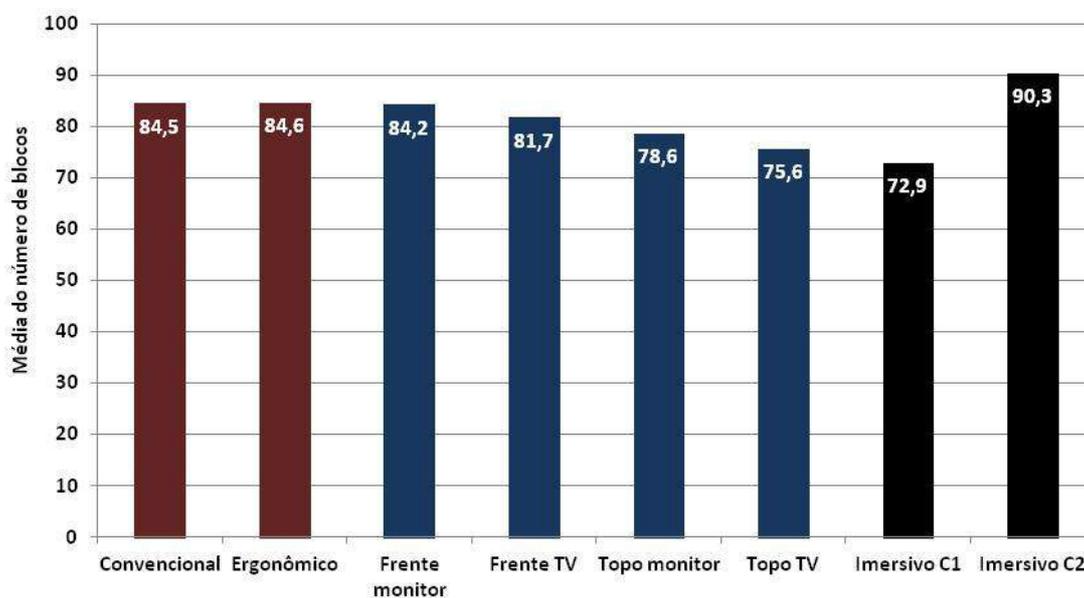
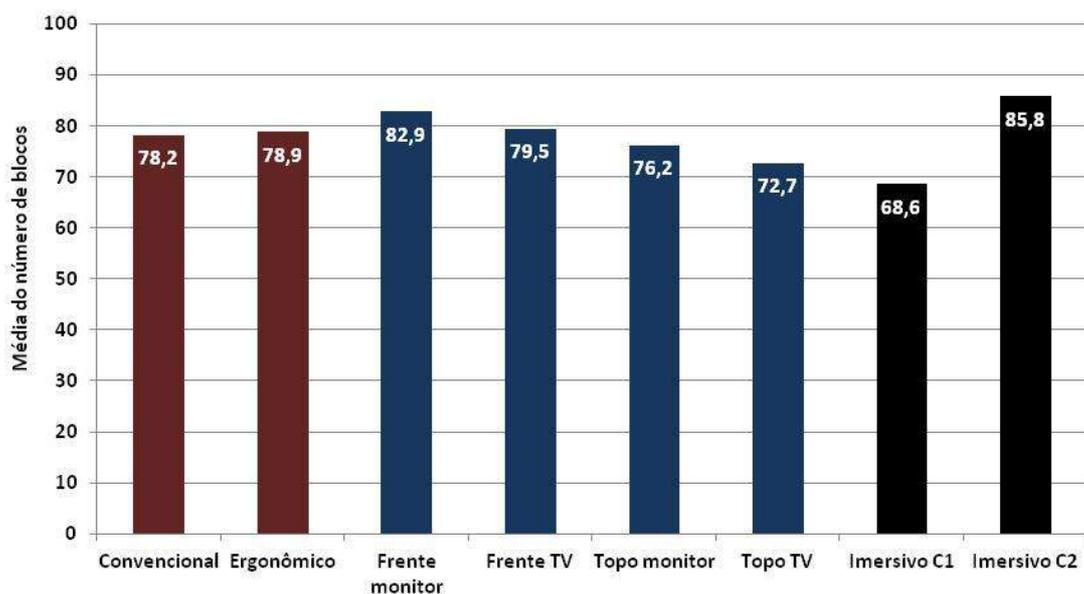


Gráfico 18. Comparação da primeira medida dos dois setups físicos (convencionais e ergonômicos com usuários do grupo 2 - 15 a 30) no dia 1 e com a média do número de blocos máximo dos setups virtuais imersivo e não imersivos (anterior monitor, anterior TV, superior monitor e superior TV) – Mão esquerda



Na tabela 20, observa-se que não houve diferença estatística entre os resultados das primeiras medidas dos testes físicos com os resultados máximos dos setups anterior monitor, anterior TV e superior monitor, sendo que o setup anterior monitor apresentou o resultado mais próximo do físico entre as formas não imersivas.

Este resultado indica concordância desses setups não imersivos, desde que seja possibilitada a aprendizagem. Destacando-se que, de acordo com os resultados estatísticos, deve-se recomendar os setups de visão anterior. Os resultados encontrados no setup superior TV com o grupo 2 foram estatisticamente inferiores, contraindicando a utilização deste setup.

Tal qual havia sido observado na comparação com os resultados máximos dos testes físicos, aqui também é possível registrar total compatibilidade dos testes imersivos do grupo 2. Porém, mesmo quando se considera apenas os resultados iniciais dos testes físicos, os resultados do setup imersivo do grupo 1 ainda são estatisticamente inferiores, não alcançando portanto concordância com os testes físicos.

Na tabela 20, os dados virtuais que não obtiveram concordância com os testes físicos estão marcados em negrito.

Tabela 20. P-valor da significância na diferença média da primeira medida dos setups físicos (convencionais e ergonômicos com usuários do grupo 2 - 16 a 30) no dia 1 com a média do número de blocos máximo dos setups virtuais imersivo e não imersivos (anterior monitor, anterior TV, superior monitor e superior TV) – mãos direita e esquerda (apenas o computador 2)

	ANT monitor	ANT TV	SUP monitor	SUP TV	Imersivo C1	Imersivo C2
Mão direita						
Convencional	0,912	0,390	0,108	0,024	0,028	0,064
Ergonômico	0,904	0,441	0,173	0,042	0,027	0,104
Mão esquerda						
Convencional	0,177	0,676	0,652	0,181	0,001	0,067
Ergonômico	0,258	0,830	0,570	0,140	0,003	0,068

Fonte: Elaborada pela autora (2017)

Os gráficos 19 e 20, apresentam as comparações entre os setups físicos e virtuais considerando apenas os resultados do primeiro teste. O objetivo foi observar se havia concordância, ainda que a aprendizagem não tivesse sido oportunizada.

Gráfico 19. Comparação da primeira medida do físico no dia 1 (convencionais e ergonômicos com usuários do grupo 2 - 16 a 30) com a primeira medida dos virtuais (não imersivos – anterior monitor, anterior TV, superior monitor e superior TV, e imersivo) – Mão direita

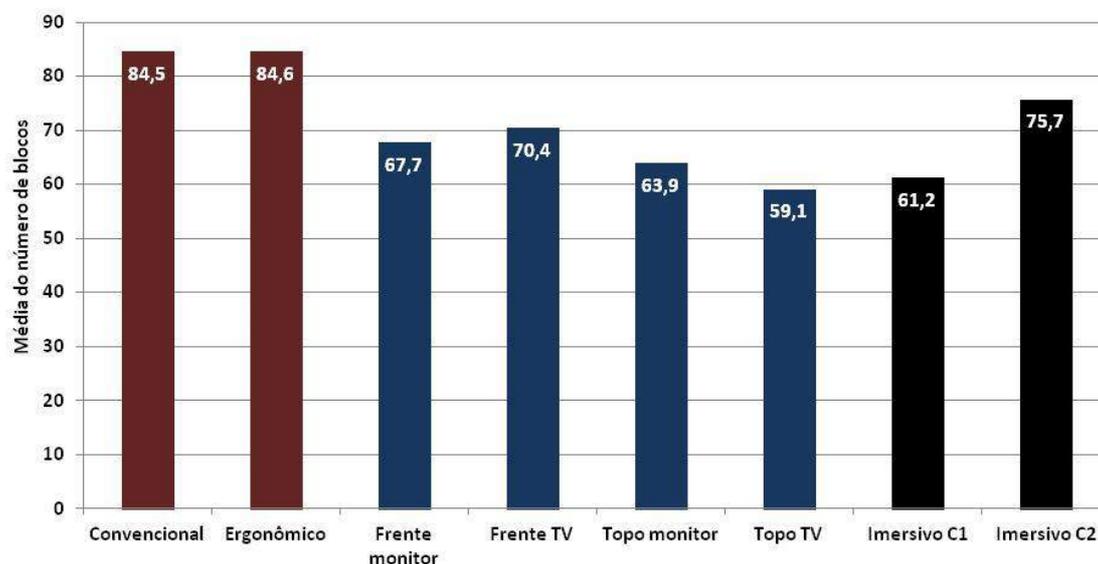
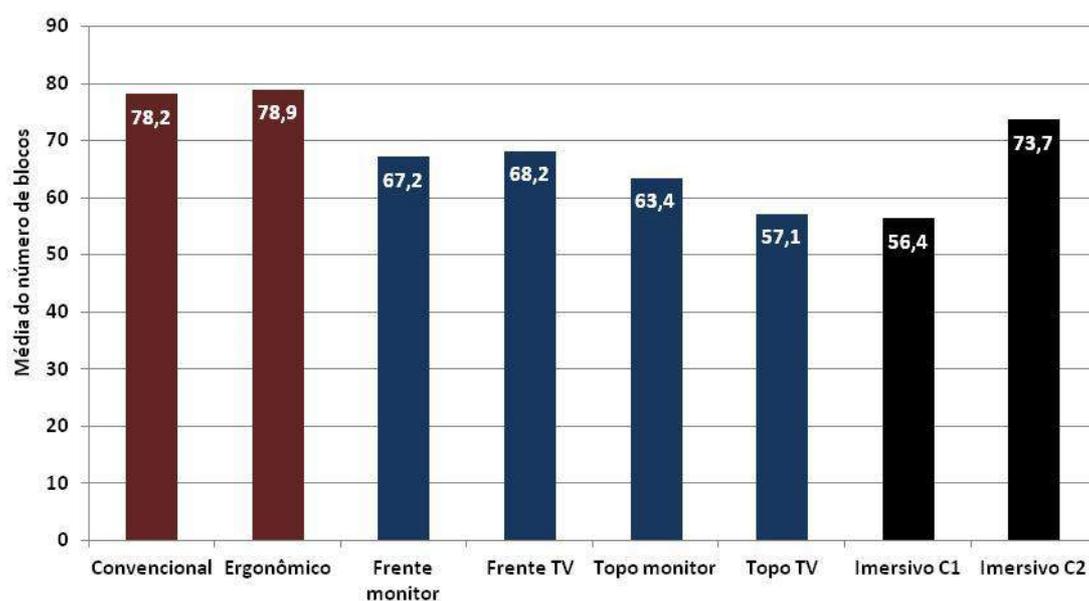


Gráfico 20. Comparação da primeira medida do físico no dia 1 (convencionais e ergonômicos com usuários do grupo 2 - 15 a 30) com a primeira medida dos virtuais (não imersivos – anterior monitor, anterior TV, superior monitor e superior TV, e imersivo) – Mão esquerda



Na tabela 21, é possível observar que os resultados dos testes imersivos do grupo 2 é compatível com os testes físicos, desde a primeira medida.

Não houve diferença estatística significativa entre os resultados iniciais dos testes imersivos do grupo 2 com os resultados dos setups convencional e ergonômico, demonstrando concordância absoluta.

Nenhum resultado não imersivo foi compatível com os resultados físicos, desde a primeira medida, indicando que os setups de visão anterior necessitam de aprendizado para que se constate concordância.

Tabela 21. P-valor da significância na diferença média entre a primeira medida dos setups físicos (convencionais e ergonômicos com usuários do grupo 2 - 15 a 30) no dia 1 com a média da primeira medida dos setups virtuais imersivo e não imersivos (anterior monitor, anterior TV, superior monitor e superior TV) – mãos direita e esquerda (apenas o computador 2) – mãos direita e esquerda (apenas o computador 2)

	ANT monitor	ANT TV	SUP monitor	SUP TV	Imersivo C1	Imersivo C2
Mão direita						
Convencional	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,051
Ergonômico	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,063
Mão esquerda						
Convencional	<0,001	0,014	0,003	<0,001	<0,001	0,287
Ergonômico	0,003	0,012	0,004	<0,001	0,003	0,068

Fonte: Elaborada pela autora (2017)

A seguir, os resultados encontrados nos testes físicos, nos setups convencional e ergonômicos, estão contrastados com os resultados descritos por Mathiowetz et al (1985) e Mendes et al (2001).

4.3.2 Discussão dos Testes Virtuais

Nesta seção, os resultados dos testes encontrados nas etapas virtuais imersiva e não imersiva foram comparados com as tabelas de Mathiowetz et al (1985) e Mendes et al (2001). Para isto, foi considerado o enquadramento no intervalo dos valores mínimos e máximos considerados válidos por esses autores. Não foram consideradas as médias com os respectivos intervalos de desvio padrão porque, na presente pesquisa, não se contemplou amostra significativa por faixa etária.

Esta comparação contemplou: 1. A primeira medida do primeiro dia dos testes virtuais (teste 1); 2. O resultado máximo dos testes virtuais (MÁX).

Os dados grifados em azul estão acima do limite máximo descritos pelos autores, e os dados em vermelho estão abaixo do limite mínimo.

Para a análise dos testes não imersivos, foi considerada apenas a amostra do grupo 2. As tabelas 22 e 23 referem-se à comparação dos testes não imersivos com os resultados de Mathiowetz et al (1985). Observe os resultados grifados em vermelho e azul.

Tabela 22. Comparação dos resultados dos testes não imersivos com os resultados dos físicos de Mathiowetz et al (1985) – Mão direita

			Mão DIREITA							
			ANT Monitor		ANT TV		SUP Monitor		SUP TV	
Usuário	Idade	Sexo	Teste 1	MÁX	Teste 1	MÁX	Teste 1	MÁX	Teste 1	MÁX
16	39	M	70	99	90	102	65	76	65	83
17	45	F	78	101	83	92	79	83	72	71
18	29	M	55	71	61	67	45	66	56	65
19	32	F	59	86	58	70	80	90	80	92
20	24	F	50	76	66	80	65	90	80	81
21	24	F	84	86	77	88	87	77	45	68
22	23	F	54	74	58	67	48	72	46	64
23	23	F	81	84	77	87	55	70	43	74
24	24	F	74	92	72	96	41	65	37	71
25	21	F	74	81	78	81	66	68	51	65
26	23	F	50	70	60	63	54	65	52	64
27	23	M	80	102	87	95	60	100	68	100
28	24	M	67	70	54	71	80	93	67	85
29	39	M	80	93	76	93	82	88	63	88
30	34	F	60	78	59	74	52	76	61	63

Fonte: Elaborada pela autora (2017)

Tabela 23. Comparação dos resultados dos testes não imersivos com os resultados dos físicos de Mathiowetz et al (1985) – Mão esquerda

			Mão ESQUERDA							
			ANT Monitor		ANT TV		SUP Monitor		SUP TV	
Usuário	Idade	Sexo	Teste 1	MÁX	Teste 1	MÁX	Teste 1	MÁX	Teste 1	MÁX
16	39	M	76	106	95	103	68	81	50	78
17	45	F	60	70	56	63	85	80	67	71
18	29	M	50	69	56	65	47	49	60	60
19	32	F	83	95	50	75	83	89	75	83
20	24	F	55	87	70	84	70	93	35	70
21	24	F	77	74	76	80	74	58	72	66
22	23	F	60	74	70	70	45	81	41	71
23	23	F	70	80	77	77	59	71	42	70
24	24	F	79	93	75	88	34	70	49	70
25	21	F	68	73	57	74	48	71	42	54
26	23	F	52	70	63	68	54	68	47	64
27	23	M	79	93	81	87	70	91	70	95
28	24	M	64	95	63	99	76	90	70	76
29	39	M	70	91	78	90	82	94	83	90
30	34	F	65	74	56	70	56	57	53	72

Fonte: Elaborada pela autora (2017)

Nas tabelas 22 e 23, é possível observar que, em todos os setups não imersivos, houveram resultados inferiores aos limites mínimos definidos por Mathiowetz et al (1985).

Quando a comparação foi realizada com a primeira medida dos setups não imersivos (Teste 1), para a mão direita foram encontrados:

- No setup anterior monitor, 46,6% da amostra obteve resultados abaixo do limite mínimo de Mathiowetz et al (1985);
- No setup anterior TV, 46,6% da amostra obteve resultados abaixo do limite mínimo de Mathiowetz et al (1985);
- No setup superior monitor, 60% da amostra obteve resultados abaixo do limite mínimo de Mathiowetz et al (1985);
- No setup superior TV, 73,3% da amostra obteve resultados abaixo do limite mínimo de Mathiowetz et al (1985).

Quando a comparação foi realizada com a primeira medida dos setups não imersivos (Teste 1), para a mão esquerda foram encontrados:

- No setup anterior monitor, 33,3% da amostra obteve resultados abaixo do limite mínimo de Mathiowetz et al (1985);
- No setup anterior TV, 46,6% da amostra obteve resultados abaixo do limite mínimo de Mathiowetz et al (1985);
- No setup superior monitor, 46,6% da amostra obteve resultados abaixo do limite mínimo de Mathiowetz et al (1985);
- No setup superior TV, 60% da amostra obteve resultados abaixo do limite mínimo de Mathiowetz et al (1985).

Considerando os resultados das duas mãos para a primeira medida, os setups de visão anterior apresentaram o comportamento semelhante, com discreta superioridade do uso do monitor para a mão esquerda, e o setup superior TV obteve a pior pontuação.

Quando a comparação foi realizada com o resultado máximo dos setups não imersivos (MÁX), para a mão direita foram encontrados:

- No setup anterior monitor, todos os resultados ficaram dentro do intervalo de Mathiowetz et al (1985);
- No setup anterior TV, 13,3% da amostra obteve resultados abaixo do limite mínimo de Mathiowetz et al (1985);
- No setup superior monitor, 30% da amostra obteve resultados abaixo do limite mínimo de Mathiowetz et al (1985);
- No setup superior TV, 26,6% da amostra obteve resultados abaixo do limite mínimo de Mathiowetz et al (1985).

Quando a comparação foi realizada com o resultado máximo dos setups não imersivos (MÁX), para a mão esquerda foram encontrados:

- No setup anterior monitor, todos os resultados ficaram dentro do intervalo de Mathiowetz et al (1985);
- No setup anterior TV, 6,6% da amostra obteve resultados abaixo do limite mínimo de Mathiowetz et al (1985);

- No setup superior monitor, 20% da amostra obteve resultados abaixo do limite mínimo de Mathiowetz et al (1985);

No setup superior TV, 20% da amostra obteve resultados abaixo do limite mínimo de Mathiowetz et al (1985).

Considerando os resultados máximos das duas mãos, o setup de visão anterior com uso do monitor foi o único que apresentou absoluta concordância com os resultados de Mathiowetz et al (1985). O setup anterior TV foi o que mais se aproximou do comportamento observado para o setup anterior monitor, e o setup superior TV obteve a pior pontuação.

As tabelas 24 e 25 referem-se à comparação dos testes não imersivos com os resultados de Mendes et al (2001). Observe os resultados grifados em vermelho e azul.

Tabela 24. Comparação dos resultados dos testes não imersivos com os resultados dos físicos de Mendes et al (2001) – Mão direita

			Mão DIREITA							
			ANT Monitor		ANT TV		SUP Monitor		SUP TV	
Usuário	Idade	Sexo	Teste 1	MÁX	Teste 1	MÁX	Teste 1	MÁX	Teste 1	MÁX
16	39	M	70	99	90	102	65	76	65	83
17	45	F	78	101	83	92	79	83	72	71
18	29	M	55	71	61	67	45	66	56	65
19	32	F	59	86	58	70	80	90	80	92
20	24	F	50	76	66	80	65	90	80	81
21	24	F	84	86	77	88	87	77	45	68
22	23	F	54	74	58	67	48	72	46	64
23	23	F	81	84	77	87	55	70	43	74
24	24	F	74	92	72	96	41	65	37	71
25	21	F	74	81	78	81	66	68	51	65
26	23	F	50	70	60	63	54	65	52	64
27	23	M	80	102	87	95	60	100	68	100
28	24	M	67	70	54	71	80	93	67	85
29	39	M	80	93	76	93	82	88	63	88
30	34	F	60	78	59	74	52	76	61	63

Fonte: Elaborada pela autora (2017)

Tabela 25. Comparação dos resultados dos testes não imersivos com os resultados dos físicos de Mendes et al (2001) – Mão esquerda

			Mão ESQUERDA							
			ANT Monitor		ANT TV		SUP Monitor		SUP TV	
Usuário	Idade	Sexo	Teste 1	MÁX	Teste 1	MÁX	Teste 1	MÁX	Teste 1	MÁX
16	39	M	76	106	95	103	68	81	50	78
17	45	F	60	70	56	63	85	80	67	71
18	29	M	50	69	56	65	47	49	60	60
19	32	F	83	95	50	75	83	89	75	83
20	24	F	55	87	70	84	70	93	35	70
21	24	F	77	74	76	80	74	58	72	66
22	23	F	60	74	70	70	45	81	41	71
23	23	F	70	80	77	77	59	71	42	70
24	24	F	79	93	75	88	34	70	49	70
25	21	F	68	73	57	74	48	71	42	54
26	23	F	52	70	63	68	54	68	47	64
27	23	M	79	93	81	87	70	91	70	95
28	24	M	64	95	63	99	76	90	70	76
29	39	M	70	91	78	90	82	94	83	90
30	34	F	65	74	56	70	56	57	53	72

Fonte: Elaborada pela autora (2017)

Conforme relatado na discussão dos testes físicos convencionais e ergonômicos, os resultados descritos por Mendes et al (2001) são menores do que os números indicados por Mathiowetz et al (1985). Esta diferença teve um importante impacto sobre a análise qualitativa dos resultados não imersivos. Pois na comparação com Mendes et al (2001) houve concordância dos setups anteriores desde o teste 1.

Quando a comparação foi realizada com a primeira medida dos setups não imersivos (Teste 1), para a mão direita foram encontrados:

- No setup anterior monitor, todos os resultados ficaram dentro do intervalo de Mendes et al (2001);
- No setup anterior TV, todos os resultados ficaram dentro do intervalo de Mendes et al (2001);

- No setup superior monitor, 3,3% da amostra obteve resultados abaixo do limite mínimo de Mendes et al (2001);
- No setup superior TV, 13,3% da amostra obteve resultados abaixo do limite mínimo de Mendes et al (2001).

Quando a comparação foi realizada com a primeira medida dos setups não imersivos (Teste 1), para a mão esquerda foram encontrados:

- No setup anterior monitor, todos os resultados ficaram dentro do intervalo de Mendes et al (2001);
- No setup anterior TV, todos os resultados ficaram dentro do intervalo de Mendes et al (2001);
- No setup superior monitor, 6,6% da amostra obteve resultados abaixo do limite mínimo de Mendes et al (2001);
- No setup superior TV, 10% da amostra obteve resultados abaixo do limite mínimo de Mendes et al (2001).

Considerando os resultados das duas mãos para a primeira medida, os setups de visão anterior obtiveram concordância absoluta com os resultados dos testes físicos de Mendes et al (2001), e o setup superior TV novamente obteve a pior pontuação.

Quando a comparação foi realizada com o resultado máximo dos setups não imersivos (MÁX), para a mão direita foram encontrados:

- No setup anterior monitor, 33,3% da amostra obteve resultados acima do limite máximo de Mendes et al (2001);
- No setup anterior TV, 20% da amostra obteve resultados acima do limite máximo de Mendes et al (2001);
- No setup superior monitor, 20% da amostra obteve resultados acima do limite máximo de Mendes et al (2001);
- No setup superior TV, 20% da amostra obteve resultados acima do limite máximo de Mendes et al (2001).

Quando a comparação foi realizada com o resultado máximo dos setups não imersivos (MÁX), para a mão esquerda foram encontrados:

- No setup anterior monitor, 33,3% da amostra obteve resultados acima do limite máximo de Mendes et al (2001);
- No setup anterior TV, 26,6% da amostra obteve resultados acima do limite máximo de Mendes et al (2001);
- No setup superior monitor, 33,3% da amostra obteve resultados acima do limite máximo de Mendes et al (2001);

No setup superior TV, 13,3% da amostra obteve resultados acima do limite máximo de Mendes et al (2001).

Considerando os resultados máximos das duas mãos, todos os resultados dos setup não imersivos ficaram dentro do intervalo de Mendes et al (2001). O setup anterior monitor ainda se destacou, pois obteve o maior percentual de resultados acima da média considerando as duas mãos.

Considerando as comparações com Mathiowetz et al (1985) e Mendes et al (2001), encontra-se como resultado de intersecção a indicação dos setups não imersivos de visão anterior, com discreta preferencia pelo uso do monitor.

Conforme encontrado nos resultados estatísticos, a análise descritiva qualitativa aponta que o aprendizado da tarefa é essencial para que os resultados de normalidade sejam alcançados nos testes virtuais não imersivos quando comparados com o intervalo de Mathiowetz et al (1985).

Concluída a análise qualitativa dos resultados dos testes não imersivos, será iniciação a descrição dos testes imersivos.

Para a análise dos testes imersivos, foram considerados os grupo 1 (usuários 1 a 15) e 2 (usuários 16 a 30). A tabela26 refere-se à comparação dos testes imersivos com os resultados de Mathiowetz et al (1985).

Observe os resultados grifados em vermelho e azul. Os resultados grifados em vermelho indicam resultados abaixo do limite mínimo de Mathiowetz et al (1985), já os marcados em azul estão acima dos limites máximos dos autores. Os dados que não estão destacados estão dentro do intervalo de normalidade dos autores.

Tabela 26. Comparação dos resultados dos testes imersivos com os resultados dos físicos de Mathiowetz et al (1985) – Mãos direita e esquerda

Usuário	Idade	Sexo	Mão DIREITA		Mão ESQUERDA	
			Teste 1	MÁX	Teste 1	MÁX
1	40	F	39	58	43	65
2	35	M	70	73	58	70
3	44	F	69	74	66	73
4	29	M	49	77	54	55
5	22	M	96	96	68	82
6	35	M	73	91	75	85
7	46	F	37	60	35	53
8	42	F	63	73	67	70
9	29	M	59	71	63	81
10	23	M	62	75	58	64
11	30	M	58	57	35	56
12	32	M	68	76	58	80
13	23	M	50	58	48	54
14	27	M	59	85	55	73
15	23	M	66	70	63	68
16	39	M	106	110	100	106
17	45	F	90	100	74	78
18	29	M	57	71	56	69
19	32	F	94	98	85	90
20	24	F	75	85	58	86
21	24	F	70	98	68	95
22	23	F	55	80	70	70
23	23	F	68	82	75	82
24	24	F	86	100	90	99
25	21	F	53	84	47	66
26	23	F	80	83	73	81
27	23	M	88	106	84	99
28	24	M	71	80	82	101
29	39	M	92	103	90	99
30	34	F	51	75	53	66

Fonte: Elaborada pela autora (2017)

Na análise dos resultados para a mão direita do grupo 1, observou-se que 60% da amostra apresenta resultados no teste 1 abaixo do limite mínimo de Mathiowetz et al (1985); e que 26,6% continuaram apresentando resultados máximos insatisfatórios, mesmos após o aprendizado ser ofertado.

Na análise dos resultados para a mão esquerda do grupo 1, observou-se que 66,6% da amostra apresenta resultados no teste 1 abaixo do limite mínimo de Mathiowetz et al (1985); e que 40% continuaram apresentando resultados máximos insatisfatórios, mesmos após o aprendizado ser ofertado.

Esses resultados corroboram com a análise estatística que aponta que os resultados dos testes imersivos do grupo 1 foram menores que os encontrados nos testes imersivos e não imersivos do grupo 2, de forma a não estabelecer concordância com os resultados físicos mesmo após a realização das réplicas.

Na análise dos resultados para a mão direita do grupo 2, observou-se que 26,6% da amostra apresentou resultados no teste 1 abaixo do limite mínimo de Mathiowetz et al (1985).

Após a promoção do aprendizado, todos os resultados máximos encontrados apresentaram-se dentro dos padrões de normalidade dos autores, apresentando ainda 26,6% de resultados acima do limite máximo de Mathiowetz et al (1985).

Na análise dos resultados para a mão esquerda do grupo 2, observou-se que 26,6% da amostra apresentou resultados no teste 1 abaixo do limite mínimo de Mathiowetz et al (1985) e que 6,6% obteve resultado acima do limite máximo.

Após a promoção do aprendizado, todos os resultados máximos encontrados apresentaram-se dentro dos padrões de normalidade dos autores, e manteve-se 6,6% de resultados acima do limite máximo de Mathiowetz et al (1985).

Considerando os resultados máximos das duas mãos, a análise descritiva qualitativa aponta que o aprendizado da tarefa é essencial para que os resultados de normalidade sejam alcançados nos testes virtuais imersivos quando comparados com o intervalo de Mathiowetz et al (1985).

Este resultado diverge da análise estatística que orienta que os resultados dos testes imersivos são compatíveis com os resultados dos testes físicos desde a primeira medida coletada.

É importante ressaltar que para a análise estatística considerou-se a amostra da presente pesquisa. E que, portanto, a comparação com Mathiowetz et al (1985) pode ser afetada pela diferença no tamanho da amostra. Apesar desta pesquisa possuir maior número de testes, eles foram coletados com apenas 30 usuários.

A tabela 27 refere-se à comparação dos testes imersivos com os resultados de Mendes et al (2001).

Tabela 27. Comparação dos resultados dos testes imersivos com os resultados dos físicos de Mendes et al (2001) – Mãos direita e esquerda

Usuário	Idade	Sexo	Mão DIREITA		Mão ESQUERDA	
			Teste 1	MÁX	Teste 1	MÁX
1	40	F	39	58	43	65
2	35	M	70	73	58	70
3	44	F	69	74	66	73
4	29	M	49	77	54	55
5	22	M	96	96	68	82
6	35	M	73	91	75	85
7	46	F	37	60	35	53
8	42	F	63	73	67	70
9	29	M	59	71	63	81
10	23	M	62	75	58	64
11	30	M	58	57	35	56
12	32	M	68	76	58	80
13	23	M	50	58	48	54
14	27	M	59	85	55	73
15	23	M	66	70	63	68
16	39	M	106	110	100	106
17	45	F	90	100	74	78
18	29	M	57	71	56	69
19	32	F	94	98	85	90
20	24	F	75	85	58	86
21	24	F	70	98	68	95
22	23	F	55	80	70	70
23	23	F	68	82	75	82
24	24	F	86	100	90	99
25	21	F	53	84	47	66
26	23	F	80	83	73	81
27	23	M	88	106	84	99
28	24	M	71	80	82	101
29	39	M	92	103	90	99
30	34	F	51	75	53	66

Fonte: Elaborada pela autora (2017)

Na análise dos resultados para a mão direita do grupo 1, observou-se que 13,3% da amostra apresenta resultados no teste 1 abaixo do limite mínimo de Mendes et al (2001).

Após a promoção do aprendizado, todos os resultados máximos encontrados apresentaram-se dentro dos padrões de normalidade dos autores, apresentando ainda 6,6% de resultados acima do limite máximo de Mendes et al (2001).

Na análise dos resultados para a mão esquerda do grupo 1, observou-se que 20% da amostra apresenta resultados no teste 1 abaixo do limite mínimo de Mendes et al (2001).

Após a promoção do aprendizado, todos os resultados máximos encontrados apresentaram-se dentro dos padrões de normalidade dos autores, apresentando ainda 6,6% de resultados acima do limite máximo de Mendes et al (2001).

Esses resultados diferem da análise estatística que aponta que os resultados dos testes imersivos do grupo 1 não estabeleceram concordância com os resultados físicos mesmo após a realização das réplicas.

Na análise dos resultados para a mão direita do grupo 2, observou-se que todos os resultados do teste 1 encontrados apresentaram-se dentro dos padrões de normalidade dos autores, apresentando ainda 26,6% de resultados acima do limite máximo de Mendes et al (2001).

Após a promoção do aprendizado, 53,3% da amostra obteve resultados acima do limite máximo de Mendes et al (2001).

Na análise dos resultados para a mão esquerda do grupo 2, observou-se que todos os resultados do teste 1 encontrados apresentaram-se dentro dos padrões de normalidade dos autores, apresentando ainda 33,3% de resultados acima do limite máximo de Mendes et al (2001).

Após a promoção do aprendizado, 46,6% da amostra obteve resultados acima do limite máximo de Mendes et al (2001).

Para o grupo 2, considerando os resultados máximos das duas mãos e os resultados de Mendes et al (2001), a análise descritiva qualitativa corrobora com os resultados estatísticos que apontam concordância dos resultados imersivos com os físicos desde o primeiro teste.

Concluída a discussão dos resultados dos testes virtuais, as conclusões parciais desta etapa estão listadas a seguir.

4.3.3 Conclusão dos Testes Virtuais

Para relatar as conclusões parciais dos testes virtuais, foram consideradas as cinco análises descritas nos resultados.

Análise Virtual 1. Máx Físico dia 1 (n=30) x Máx Comp 1 (n≤15) x Máx Comp 2 (n>15)

Na comparação entre os resultados virtuais não imersivos dos grupos 1 (que usou o computador 1) e grupo 2 (que utilizou o computador 2) observou-se uma importante diferença estatística, com uma diferença aproximada de 50 blocos, sendo o computador 2 com maior número de blocos, tanto na mão direita quanto na mão esquerda.

Desta forma, os objetivos previstos com a para o uso do sistema com o computador 1 não foram alcançados. Não foi possível estabelecer uma correlação quantitativa dos dados dos grupos 1 e 2 e , desta forma, nesta pesquisa uma solução portátil do teste virtual não imersivo *Box and Blocks* não foi alcançada.

Pode-se observar também que os resultados quantitativos dos testes imersivos do grupo C1 também foram estatisticamente inferiores aos resultados do grupo C2, ainda que ambos os grupos tenham utilizado o computador 2 para a realização dos testes imersivos. Portanto, nesta pesquisa a experiência negativa não imersiva prévia com o uso do computador 1 afetou diretamente os resultados dos testes imersivos, mesmo após a correção do sistema.

Durante a realização dos testes não imersivos, houveram consideráveis queixas sobre o delay do sistema. Durante os testes imersivos, mesmo após ser implementada a solução para a performance da aplicação interativa, os usuários mantiveram uma interação mais lenta, como se ainda esperassem o atraso do sistema.

Considerando a amostra total para os testes físicos (n=30), não houve diferença significativa entre os resultados máximos dos setups físicos e dois setups virtuais – imersivos com o computador 2 e não imersivo anterior monitor também com o computador 2, para ambas as mãos. Indicando que existiu concordância desses testes virtuais, quando o aprendizado é possibilitado ao usuário – resultados máximos das réplicas.

Análise Virtual 2. Máx Físico dia 2 (n=30) x Máx Comp 1 (n≤15) x Máx Comp 2 (n>15)

Na comparação dos grupos virtuais – não imersivos e imersivos, com o resultado do físico convencional e ergonômico no dia 2, houve diferença estatisticamente significante em todas as comparações, tanto na mão esquerda quanto direita. Os resultados dos testes físicos

foram estatisticamente maiores, o que já era esperado pois trata-se do resultado do aprendizado da tarefa do segundo dia de coleta dos setups convencional e ergonômico.

Análise Virtual 3. Máx Físico dia 1 ($n > 15$) x Máx Comp 2 ($n > 15$) não imersivos x Máx Comp 2 ($n \leq 15$ e $n > 15$) imersivos

Considerando a amostra total para os testes físicos ($n > 15$), não houve diferença significativa entre os resultados máximos dos testes físicos e virtuais imersivos com o computador 2, confirmando a concordância.

Quanto aos resultados não imersivos, o setup anterior monitor teve a maior média no número de blocos, porém não houve diferença significativa em relação ao setup anterior TV e superior monitor. Indicando que houve concordância dos setups não imersivos de visão anterior e superior monitor, quando o aprendizado é possibilitado ao usuário – resultados máximos das réplicas.

Análise Virtual 4. 1º Teste Físico dia 1 ($n > 15$) x Máx Não Imersivos Comp 2 ($n > 15$) x Máx Imersivos Comp 2 ($n \leq 15$ e $n > 15$)

Observou-se que não houve diferença estatística entre os resultados das primeiras medidas dos testes físicos com os resultados máximos dos setups anterior monitor, anterior TV e superior monitor, sendo que o setup anterior monitor apresentou o resultado mais próximo do físico entre as formas não imersivas. Destacando-se que, de acordo com os resultados estatísticos, deve-se recomendar os setups de visão anterior.

Os resultados encontrados no setup superior TV com o grupo 2 foram estatisticamente inferiores, contraindicando definitivamente a utilização deste setup.

Análise Virtual 5. 1º Teste Físico dia 1 ($n > 15$) x 1º Testes Não Imersivos Comp 2 ($n > 15$) x 1º Teste Imersivo Comp 2 ($n \leq 15$ e $n > 15$)

Mesmo quando foram consideradas apenas as primeiras medidas coletadas nos testes físicos e virtuais, observou-se total compatibilidade dos testes imersivos do grupo 2. Entretanto, não houve concordância com nenhum setup não imersivo.

De acordo com os resultados estatísticos encontrados na presente pesquisa, quando se utilizou amostra pareada, o uso da imersão garantiu a concordância absoluta com os testes físicos, desde a primeira medida coletada. Para os testes não imersivos, observou-se que a concordância com os testes físicos depende da aprendizagem dos sistemas virtuais.

Os resultados estatísticos dos testes superior TV e imersivo do grupo 1 não obtiveram concordância nem com o 1º teste nem com o máximo do físico, desta forma, esses setups foram contraindicados.

Após breve resumo da análise estatística, as conclusões a seguir também consideraram a descrição qualitativa dos resultados e a comparação com Mathiowetz et al (1985) e Mendes et al (2001).

Para a análise comparativa com Mathiowetz et al (1985) e Mendes et al (2001) foram utilizados os resultados mínimos e máximos descritos por esses autores por sexo e idade. As médias descritas pelos autores não foi utilizada porque, na presente pesquisa, não houve amostra significativa por faixa etária.

As conclusões parciais comparativas serão iniciadas com os resultados **não-imersivos**.

Quando foram considerados os resultados dos primeiros testes virtuais não imersivos, a análise demonstrou que não houve concordância com Mathiowetz et al (1985). Quando foram considerados os resultados máximos alcançados nos testes não imersivos para as mãos dominante e não dominante, observou-se o setup de visão anterior com uso do monitor foi o único que apresentou absoluta concordância com os resultados de Mathiowetz et al (1985). O setup anterior TV foi o que mais se aproximou do comportamento observado para o setup anterior monitor, e o setup superior TV obteve a pior pontuação.

Estes resultados corroboram com a análise estatística indicando o uso dos setups de visão anterior, com melhor resultado qualitativo com a visualização através do monitor, e a indicação de concordância posterior ao aprendizado.

Conforme relatado na discussão dos testes físicos convencionais e ergonômicos, os resultados descritos por Mendes et al (2001) são menores do que os números indicados por Mathiowetz et al (1985). Esta diferença teve um importante impacto sobre a análise qualitativa dos resultados não imersivos. Pois na comparação com Mendes et al (2001) houve concordância dos setups anteriores desde o teste 1.

Considerando os resultados máximos das duas mãos, todos os resultados dos setup não imersivos ficaram dentro do intervalo de Mendes et al (2001). O setup anterior monitor ainda se destacou, pois obteve o maior percentual de resultados acima da média considerando as duas mãos.

Considerando as comparações com Mathiowetz et al (1985) e Mendes et al (2001), encontra-se como resultado de intersecção a indicação dos setups não imersivos de visão anterior, com discreta preferencia pelo uso do monitor.

A partir deste ponto, as conclusões parciais comparativas se referenciarão aos resultados **imersivos**.

Quando foram considerados os resultados dos primeiros testes virtuais imersivos, a análise demonstrou que não houve concordância com Mathiowetz et al (1985). Quando foram considerados os resultados máximos alcançados nos testes imersivos para as mãos dominante e não dominante, observou-se concordância apenas com o grupo que utilizou o computador 2.

Considerando os resultados máximos das duas mãos, a análise descritiva qualitativa aponta que o aprendizado da tarefa é essencial para que os resultados de normalidade sejam alcançados nos testes virtuais imersivos quando comparados com o intervalo de Mathiowetz et al (1985). Este resultado diverge da análise estatística que orienta que os resultados dos testes imersivos são compatíveis com os resultados dos testes físicos desde a primeira medida coletada.

Sugere-se, para estudos futuros que seja definida a amostra significativa por faixa etária. Os resultados dos primeiros testes imersivos com o uso do computador 2 tiveram média de 75,73 cubos com dp de $\pm 16,94$ pontos. É possível observar que a variação prevista pelo desvio padrão tem margem bem alta. A inclusão de uma amostra maior permitiria trabalhar com intervalos de confiança, que tornariam a análise comparativa mais fidedigna.

De toda forma, é muito plausível que exista a necessidade de uma mínima experiência com o uso do sistema virtual para que o usuário alcance sua máxima performance. Em contextos físicos, os usuários são capazes de compreender plenamente o comportamento do ambiente. Nos contextos virtuais utilizados na presente pesquisa, necessitou-se da interação com um sistema que incluiu as diferentes formas de visualização e a interação com os dispositivos hápticos.

Na análise comparativa com os resultados de Mendes et al (2001), os resultados foram bastante divergentes. Os intervalos desses autores são tão inferiores aos descritos por Mathiowetz et al (1985) e aos dados físicos encontrados nesta pesquisa, que estabeleceram concordância até com os resultados máximos imersivos do grupo que utilizou o computador 1 e do setup não imersivo superior TV. Esses resultados inéditos diferiram da análise estatística que apontou que os resultados dos testes imersivos do grupo 1 e dos não imersivos do setup superior TV do grupo 2 não estabeleceram concordância com os resultados físicos mesmo após a realização das réplicas.

Para o grupo 2, quando foram considerados os resultados dos primeiros testes virtuais imersivos e não imersivos, a análise demonstrou que houve concordância dos setup de visão anterior e do imersivo C2 com os resultados de Mendes et al (2001). Considerando os

resultados máximos das duas mãos e os resultados de Mendes et al (2001), a análise descritiva qualitativa aponta concordância dos resultados imersivos e dos não imersivos, enfatizando mais uma vez a importância do aprendizado da tarefa e experiência prévia do sistema virtual.

Concluída a descrição dos resultados parciais dos testes virtuais, a próxima seção apresenta o estudo de usabilidade.

4.4 Estudo de Usabilidade dos Testes Virtuais

Nesta seção, está descrito o estudo de usabilidade dos testes virtuais imersivos e não imersivos. Para isto, utilizou-se a amostra de 150 questionários de usabilidade, sendo 30 sobre o setup virtual não imersivo na visão anterior com uso do monitor, 30 sobre o setup virtual não imersivo na visão anterior com uso da TV, 30 sobre o setup virtual não imersivo na visão superior com uso do monitor, 30 sobre o setup virtual não imersivo na visão superior com uso da TV e 30 sobre o setup virtual imersivo.

Estão descritos, de forma comparativa, os resultados encontrados entre os testes imersivos e não imersivos realizados na presente pesquisa, baseado em heurísticas. Os resultados das questões 1 a 5 referem-se à heurística ‘Presença’; as questões 6 a 8 sobre ‘Engajamento Natural’; as questões 9 a 11 sobre ‘Expressão Natural da Ação’; as questões 12 a 15 sobre ‘Compatibilidade da Tarefa’, as questões 16 a 18 sobre ‘Coordenação Ação / Representação’, as questões 19 e 20 sobre ‘Reação Realista’, e a questão 21 sobre ‘Pontos de Vista Fieis’. A última pergunta fechada, questão 22, abordou a satisfação geral dos usuários após a interação com os ambientes virtuais.

As questões 23 a 25 são perguntas abertas. A questão 23 abordava a memória e atenção, sendo influenciada pela percepção de presença e engajamento do usuário durante a interação com o sistema. As questões 24 e 25 abordavam os aspectos positivos e negativos e tiveram o objetivo de registrar quaisquer percepções dos usuários que não houvessem sido anotadas durante a aplicação das perguntas fechadas.

Os resultados das questões fechadas do questionário estão apresentados de acordo com a análise estatística. Os resultados estatísticos estão apresentados em tabelas com os p-valores – com duas comparações: mesmo setups entre computador 1 e 2 (ex. Visão anterior TV do computador 1 com visão anterior TV do computador 2), e setups diferentes para o mesmo computador (todos os setups do computador 1 entre eles).

Para as questões abertas, os resultados foram tabulados a partir de uma análise descritiva comportamental, de caráter qualitativo.

Para a questão no. 23 – relativa à memória e atenção, foram considerados os seguintes aspectos:

1. Lembranças sobre a caixa (box) e os cubos (blocks) virtuais, compreendidas como memória e atenção no próprio teste;
2. Lembranças sobre as características dos cenários e texturas utilizadas, compreendidas como memória e atenção para os ambientes construídos;
3. Lembrança da mudança das cores dos cubos, após o deslocamento, compreendidas como atenção do usuário ao feedback visual e regras do teste.

Para as questões 24 e 25 –referentes aos pontos positivos e negativos dos testes, realizou-se a hierarquização por aproximação e incidência.

Para a discussão, foram considerados também os efeitos da imersão sobre as heurísticas. Por fim, serão apresentados conclusões parciais do estudo.

4.4.1 Resultados do Estudo de Usabilidade

A tabela 28 refere-se à heurística **Presença**. Nesta tabela, é possível observar que não houve diferença entre o grupo que utilizou o computador 1 *versus* grupo que utilizou o computador 2, considerando o mesmo setup (ex. Imersivo C1 x imersivo C2).

Na comparação entre todos os setups virtuais, todos os grupos imersivos (C1 e C2) obtiveram superioridade estatística, sendo maior em média de 17 pontos.

Na presente pesquisa, este dado confirmou a relação entre imersão e presença, considerando que o uso de sistemas imersivos interfere positivamente na percepção de presença dos usuários.

Na comparação entre os setups virtuais não imersivos entre os grupos C1 e C2, o setup anterior TV do grupo C2 se diferenciou estatisticamente do grupo C1 em todos os demais setups não imersivos, inclusive anterior com uso do monitor.

Na comparação interna do grupo C2, não houve diferença estatística.

Assim, com relação à presença, destacaram-se os setups imersivo e anterior TV.

Tabela 28. Resultados estatísticos sobre a heurística ‘Presença’

PRESENÇA	ANT Monitor (FM)		ANT TV (FTV)		SUP monitor (TM)		SUP TV (TTV)		Virtual Imersivo (VI)	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
	11,4 ± 3,1	11,8 ± 4,4	14,3 ± 3,0	13,5 ± 3,6	11,3 ± 3,2	10,3 ± 5,1	12,1 ± 3,9	11,9 ± 3,8	16,9 ± 2,6	16,7 ± 2,5
p-valor ^a		0,776		0,526		0,465		0,895		0,876
p-valor ^b	FTV 0,001	VI 0,001	VI 0,002	VI 0,004	FTV 0,014	VI 0,001	FTV 0,023	VI 0,004	-	-
	VI <0,001				VI <0,001		VI 0,003			

^a Computador 1 versus Computador 2 ^b Diferença entre grupos

Fonte: Elaborada pela autora (2017)

A tabela 29 refere-se à heurística **Engajamento Natural**.

Para esta heurística, também não se observou diferença entre o grupo que utilizou o computador 1 *versus* grupo que utilizou o computador 2, considerando o mesmo setup. E, mais uma vez, identificou-se superioridade estatística dos grupos imersivos.

Entre os testes não imersivos, houve diferença entre os setup anterior TV e superior monitor, reforçando os resultados positivos com os setups anteriores.

Tabela 29. Resultados estatísticos sobre a heurística ‘Engajamento Natural’

ENGAJAMENTO NATURAL	ANT Monitor (FM)		ANT TV (FTV)		SUP monitor (TM)		SUP TV (TTV)		Virtual Imersivo (VI)	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
	9,5 ± 2,0	9,3 ± 2,7	9,9 ± 1,7	10,0 ± 1,8	9,0 ± 2,4	7,8 ± 3,2	9,1 ± 2,1	8,0 ± 3,5	11,0 ± 1,4	11,5 ± 0,8
p-valor ^a		0,805		0,928		0,281		0,316		0,24
p-valor ^b	VI 0,003	VI 0,008	VI 0,002	VI 0,002	VI 0,001	FTV 0,032	VI 0,001	VI 0,005	-	-
						VI 0,001				

^a Computador 1 versus Computador 2 ^b Diferença entre grupos

Fonte: Elaborada pela autora (2017)

A tabela 30 refere-se à heurística **Expressão Natural da Ação**. Nesta tabela, pode-se observar que os resultados imersivos alcançaram superioridade estatística e que não houve diferenciação entre os setups não imersivos.

Tabela 30. Resultados estatísticos sobre a heurística ‘Expressão Natural da Ação’

EXPRESSÃO NATURAL DA AÇÃO	ANT Monitor (FM)		ANT TV (FTV)		SUP monitor (TM)		SUP TV (TTV)		Virtual Imersivo (VI)	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
	5,4 ± 1,7	6,4 ± 2,7	6,7 ± 7,1	6,5 ± 2,7	6,1 ± 2,7	5,9 ± 2,7	6,1 ± 2,3	6,0 ± 4,4	9,9 ± 1,8	10,5 ± 1,4
p-valor ^a		0,259		0,479		0,817		0,897		0,237
p-valor ^b	VI <0,001	VI <0,001	VI <0,001	VI <0,001	VI <0,001	VI <0,001	VI <0,001	VI <0,001	-	-

^a Computador 1 versus Computador 2 ^b Diferença entre grupos

Fonte: Elaborada pela autora (2017)

A tabela 31 refere-se à heurística **Compatibilidade da Tarefa**. Na comparação entre todos os setups virtuais, o grupo imersivo C2 obteve superioridade estatística sobre o imersivo C1. Não houve diferença significativa entre imersivo C2 e anterior TV C2. Considerando apenas a análise entre resultados não imersivos, não foi observada diferença significativa entre anterior monitor e anterior TV, apesar de anterior TV ter pontuação maior.

Tabela 31. Resultados estatísticos sobre a heurística ‘Compatibilidade da Tarefa’

COMPATIBILIDADE DA TAREFA	ANT Monitor (FM)		ANT TV (FTV)		SUP monitor (TM)		SUP TV (TTV)		Virtual Imersivo (VI)	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
	7,8 ± 1,6	7,6 ± 2,5	7,8 ± 1,2	8,7 ± 1,9	7,1 ± 2,4	6,7 ± 2,5	7,3 ± 2,2	7,1 ± 1,9	9 ± 1,5	9,4 ± 1,7
p-valor ^a		0,781		0,048		0,616		0,809		0,545
p-valor ^b	VI 0,014	FTV 0,030 VI 0,014	VI 0,008	-	VI 0,011	FTV 0,016 VI 0,026	VI 0,004	FTV 0,021 VI 0,005	VI 0,014	-

^a Computador 1 versus Computador 2 ^b Diferença entre grupos

Fonte: Elaborada pela autora (2017)

A tabela 32 refere-se à heurística **Coordenação Ação / Representação**. Na comparação entre todos os setups virtuais, o grupo imersivo C2 também foi melhor que C1, e houve diferença no setup não imersivos anterior TV, onde C2 obteve resultado superior a C1.

Tabela 32. Resultados estatísticos sobre a heurística ‘Coordenação Ação / Representação’

COORDENAÇÃO AÇÃO / REPRESENTAÇÃO	ANT Monitor (FM)		ANT TV (FTV)		SUP monitor (TM)		SUP TV (TTV)		Virtual Imersivo (VI)	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
	6,7 ± 2,3	8,0 ± 2,6	6,7 ± 2,0	8,8 ± 2,1	6,2 ± 2,1	7,9 ± 3,3	7,0 ± 2,0	7,9 ± 2,3	9,9 ± 1,6	10,5 ± 1,6
p-valor ^a		0,141		0,017		0,108		0,239		0,349
p-valor ^b	VI <0,001	VI 0,007	VI <0,001	VI 0,020	VI <0,001	VI 0,002	VI <0,001	VI <0,001	VI <0,001	-

^a Computador 1 versus Computador 2 ^b Diferença entre grupos

Fonte: Elaborada pela autora (2017)

A tabela 33 refere-se à heurística **Reação Realista**. Na comparação entre todos os setups virtuais, o grupo imersivo C2 também foi melhor que C1. Na comparação entre os setups não imersivos, anterior TV e anterior monitor se diferenciaram de superior TV. Não houve significância entre os setups de visão anterior monitor e TV, ainda que anterior TV tenha obtido resultado maior.

Tabela 33. Resultados estatísticos sobre a heurística ‘Reação Realista’

REAÇÃO REALISTA	ANT Monitor (FM)		ANT TV (FTV)		SUP monitor (TM)		SUP TV (TTV)		Virtual Imersivo (VI)	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
	4,8 ± 1,5	5,4 ± 1,2	5,1 ± 1,6	5,9 ± 1,0	4,6 ± 2,2	4,4 ± 2,0	4,6 ± 1,7	4,3 ± 1,7	6,1 ± 1,7	6,8 ± 1,4
p-valor ^a		0,279		0,158		0,818		0,609		0,159
p-valor ^b	VI <0,001	VI 0,027	VI <0,001	-	VI 0,049	FTV 0,013	VI 0,047	FM 0,038	VI <0,001	-
					VI <0,001	FTV 0,006				
						VI <0,001				

^a Computador 1 versus Computador 2 ^b Diferença entre grupos

Fonte: Elaborada pela autora (2017)

A tabela 34 refere-se à heurística **Pontos de Vista Fiéis**.

Os resultados imersivos foram melhores, e não houve diferença entre C1 e C2 no imersivo. Na comparação entre C1 e C2 nos mesmos setups, anterior monitor e TV foram melhores em C2 do que em C1. Não houve diferença entre os setups não imersivos.

Tabela 34. Resultados estatísticos sobre a heurística ‘Pontos de Vista Fiéis’

PONTOS DE VISTA FIÉIS	ANT Monitor (FM)		ANT TV (FTV)		SUP monitor (TM)		SUP TV (TTV)		Virtual Imersivo (VI)	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
	2,2 ± 1,1	3,1 ± 1,1	2,1 ± 1,2	3,1 ± 1,0	2,2 ± 1,3	2,3 ± 1,5	2,3 ± 1,2	2,5 ± 1,4	3,9 ± 0,3	4,0 ± 0,1
p-valor ^a		0,021		0,01		0,697		0,498		0,164
p-valor ^b	VI <0,001	VI 0,007	VI <0,001	VI 0,004	VI 0,003	VI <0,001	VI <0,001	VI <0,001	-	-

^a Computador 1 versus Computador 2 ^b Diferença entre grupos

Fonte: Elaborada pela autora (2017)

A tabela 35 refere-se aos resultados de **Satisfação**. Houve destaque dos grupos imersivos e não houve diferenciação entre os setups não imersivos.

Tabela 35. Resultados estatísticos sobre ‘Satisfação’

SATISFAÇÃO	ANT Monitor (FM)		ANT TV (FTV)		SUP monitor (TM)		SUP TV (TTV)		Virtual Imersivo (VI)	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
	2,7 ± 0,9	2,6 ± 0,9	2,9 ± 0,6	2,9 ± 0,8	2,6 ± 0,9	2,1 ± 1,3	2,6 ± 0,9	2,4 ± 0,9	3,9 ± 0,3	3,9 ± 0,2
p-valor ^a		0,67		1		0,217		0,458		0,334
p-valor ^b	VI <0,001	VI <0,001	VI <0,001	VI <0,001	VI <0,001	VI <0,001	VI <0,001	VI <0,001	-	-

^a Computador 1 versus Computador 2 ^b Diferença entre grupos

Fonte: Elaborada pela autora (2017)

A tabela 36 apresenta os resultados da **Pontuação Total**, referentes às perguntas fechadas do questionário (1 a 22).

Houve destaque do grupo imersivo C2, seguido do grupo imersivo C1 e do grupo não imersivo anterior TV no grupo C2, que se diferenciou dos demais setups não imersivos. O setup anterior monitor também se diferenciou dos grupos superior monitor e superior TV, nos grupos C1 e C2.

Os setups superior monitor e superior TV não se diferenciaram entre si e apresentaram o pior resultado dos questionários, convergindo com a avaliação quantitativa dos testes virtuais e fortalecendo sua contra indicação.

Tabela 36. Resultados estatísticos com a pontuação total dos questionários de usabilidade

PONTUAÇÃO TOTAL	ANT Monitor (FM)		ANT TV (FTV)		SUP monitor (TM)		SUP TV (TTV)		Virtual Imersivo (VI)	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
	50,5 ± 7,8	54,3 ± 14,3	55,5 ± 6,9	60 ± 11,3	49,1 ± 13,9	47,3 ± 18,3	51,1 ± 11,7	50,1 ± 14,1	73,5 ± 9,8	75,5 ± 6,1
p-valor ^a		0,354		0,135		0,759		0,846		0,484
p-valor ^b	FTV 0,038	FTV 0,043			FTV 0,037	FTV 0,024		FTV 0,023	VI <0,001	-
	VI <0,001	VI <0,001	VI <0,001	VI <0,001	VI <0,001	VI <0,001	VI <0,001	VI <0,001		

^a Computador 1 versus Computador 2 ^b Diferença entre grupos

Fonte: Elaborada pela autora (2017)

Para a análise da questão no. 23 – relativa à memória e atenção, as respostas foram divididas nas seguintes categorias:

1. Lembranças sobre a caixa (box) e os cubos (blocks) virtuais, compreendidas como memória e atenção no próprio teste;
2. Lembranças sobre as características dos cenários e texturas utilizadas, compreendidas como memória e atenção para os ambientes construídos;
3. Lembrança da mudança das cores dos cubos, após o deslocamento, compreendidas como atenção do usuário ao feedback visual e regras do teste.

Cada usuário poderia pontuar uma única categoria ou as três, gerando um score máximo de 30 pontos por categoria e por setup.

Para os setups de visão superior, a categoria 2 foi desconsiderada pois a interface contemplava apenas o próprio teste.

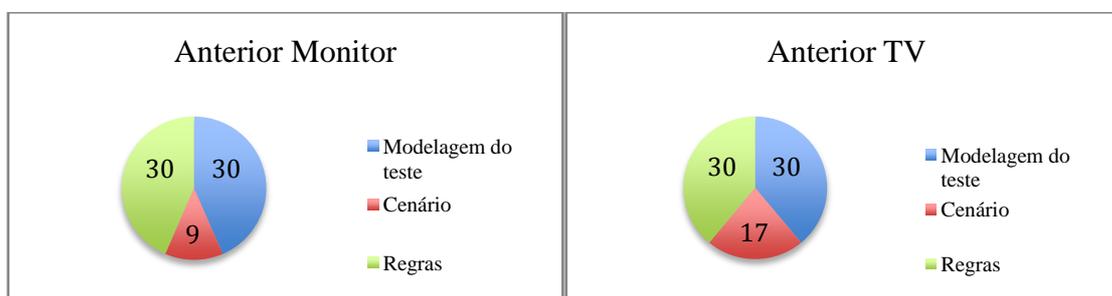
Os resultados demonstraram que todos os usuários lembraram das categorias 1 e 3, ou seja, foram relatadas as características da caixa e dos cubos, como cor e texturas, e também foram destacadas por todos a percepção do feedback de mudança da cor dos cubos e da regra de ultrapassar a divisória.

Para os setups de visão anterior, as três categorias foram consideradas e observou-se diferença apenas na percepção do ambiente (categoria 2) entre os setups monitor e TV.

O uso da TV proporcionou maior visualização da aplicação interativa e isso se reverte em um maior índice de lembrança do ambiente. Como a tela é maior, os usuários puderam observar mais detalhes do ambiente. Todos os usuários descreveram características das categorias 1 e 3.

Os gráficos 21 e 22, mostram os resultados da questão sobre memória e atenção ao teste nos setup anterior monitor e anterior TV.

Gráficos 21 e 22. Resultados de memória de atenção nos setups de visão anterior



Para os setup imersivo, as três categorias foram consideradas e todos os usuários lembraram das categorias três categorias. As características dos cenários, referentes a categoria 2, foram detalhadamente descritas.

Para as questões 24 e 25 – referentes aos pontos positivos e negativos dos testes, realizou-se a hierarquização por aproximação e incidência.

Após a análise dos 150 questionários, foram definidas as categorias apresentadas na tabela a seguir.

Tabela 37. Categorias dos pontos positivos e negativos

Questão	24 Pontos Positivos	25 Pontos negativos
Categorias	Experiência realista	<i>Delay</i> do sistema
	Menor percepção do ambiente real	Falta de colisão
	Melhor visualização	Falta de feedback tátil
	Maior envolvimento na tarefa	Falta de noção espacial
	Realização de tarefa virtual para saúde	Dificuldades de leitura dos movimentos
	Uso do Leap Motion	Dificuldades de visualização

Fonte: Elaborada pela autora (2017)

Para a análise dos resultados dos questionários, considerou-se dois grupos:

1. Usuários que utilizaram o computador 1 (C1 $n \leq 15$);
2. Usuários que utilizaram o computador 2 (C2 $n > 15$).

Para o setup **Anterior Monitor**, não houve diferença entre os pontos positivos relatados pelos grupo C1 e C2.

Foram definidos como pontos positivos:

1. Experiência realista;
2. Realização de tarefa virtual para saúde;
3. Maior envolvimento na tarefa virtual, quando comparada com o teste físico.

Para os pontos negativos, os resultados foram diferentes.

Pelo grupo C1, foram relatados:

1. *Delay* do sistema – com 66,6% das respostas;
2. Dificuldades de leitura dos movimentos;
3. Falta de colisão e falta de feedback tátil foram igualmente relatados.

Pelo grupo C2:

1. Falta de noção espacial;
2. Falta de feedback tátil;
3. Falta de colisão.

Para o setup **Anterior TV**, não houve diferença entre os pontos positivos relatados pelos grupo C1 e C2.

Foram definidos como pontos positivos:

1. Melhor visualização, com 100% das respostas;

2. Menor percepção do ambiente real;
3. Experiência realista.

Para os pontos negativos, os resultados foram diferentes.

Pelo grupo C1, foram relatados:

1. *Delay* do sistema – com 93,3% das respostas;
2. Dificuldades de leitura dos movimentos;
3. Falta de feedback tátil.

Pelo grupo C2, os resultados de hierarquização foram iguais ao setup anterior monitor:

1. Falta de noção espacial;
2. Falta de feedback tátil;
3. Falta de colisão.

Para o setup **Superior Monitor**, não houve diferença entre os pontos positivos relatados pelos grupo C1 e C2.

Foram definidos como pontos positivos:

1. Experiência realista;
2. Realização de tarefa virtual para saúde;
3. Uso do leap motion.

Para os pontos negativos, os resultados foram diferentes.

Pelo grupo C1, foram relatados:

1. *Delay* do sistema – com 53,3% das respostas;
2. Dificuldades de visualização;
3. Dificuldades de leitura dos movimentos.

Pelo grupo C2:

1. Dificuldades de visualização;
2. Falta de noção espacial;
3. Dificuldades de leitura dos movimentos.

Para o setup **Superior TV**, não houve diferença entre os pontos positivos relatados pelos grupo C1 e C2.

Foram definidos como pontos positivos:

1. Melhor visualização, com 46,6% das respostas;
2. Experiência realista;
3. Realização de tarefa virtual para saúde.

Para os pontos negativos, os resultados foram diferentes.

Pelo grupo C1, foram relatados:

1. *Delay* do sistema – com 66,6% das respostas;
2. Dificuldades de leitura dos movimentos;
3. Dificuldades de visualização.

Pelo grupo C2, os resultados de hierarquização foram iguais ao setup anterior monitor:

1. Dificuldades de visualização;
2. Falta de noção espacial;
3. Dificuldades de leitura dos movimentos.

Para o setup **Imersivo**, não houve diferença entre os pontos positivos e negativos relatados pelos grupo C1 e C2.

Foram definidos como pontos positivos:

1. Experiência realista, com 100% das respostas;
2. Maior envolvimento;
3. Realização de tarefa virtual para saúde.

Foram definidos como pontos negativos:

1. Falta de feedback tátil;
2. Falta de colisão;
3. Dificuldades de leitura dos movimentos.

Considerando que não foram encontrados dados de referência para o estudo de usabilidade que foi realizado, nesta seção não será apresentada a discussão com outros autores. A seguir, as conclusões parciais com breves discussões da presente pesquisa serão apresentadas.

4.4.2 Conclusões do Estudo de Usabilidade

Considerando que todos os resultados já foram apresentados para todas as heurísticas, nesta seção, estão concluídos os dados que se mostraram relevantes sobre a experiência dos usuários e sobre a construção dos testes virtuais.

No artigo intitulado ‘*How much immersion is enough?*’, Bowman e McMahan (2007), afirmam que o objetivo dos ambientes virtuais imersivos é transportar o usuário para um ambiente simulado multi controlado, ofertando a sensação de presença em suas mentes. Os autores enfatizam uma forte correlação entre imersão e presença, afirmando que ambientes

imersivos provocam maior percepção de “estar lá”, quando comparados a ambientes não imersivos.

Na presente pesquisa, os resultados encontrados para a heurística **Presença** corroboram com a afirmação de Bowman e McMahan (2007), pois os resultados dos testes imersivos foram estatisticamente superiores.

Na avaliação dos setups não imersivos, um fator deve ser considerado. A inclusão do uso da TV no setup anterior teve como objetivo criar um envoltório visual para o usuário, que aproximasse a interação não imersiva da lógica da imersão, que prevê que o usuário visualize apenas o ambiente virtual. Esta premissa se confirmou pois o setup não imersivo melhor avaliado foi anterior TV.

Sobre a heurística **Coordenação Ação/ Representação**, eram esperadas diferenças estatísticas entre todos os setups virtuais na comparação entre computador 1 x 2; pois o delay do sistema era diretamente questionado na pergunta 18, que se referia a esta heurística. Entretanto, houve diferença estatística apenas para os setups imersivo C2 e anterior TV C2.

Coincidentemente, estes foram os setups que obtiveram melhor resultado de Presença. Na presente pesquisa, entendeu-se que quanto maior a percepção de presença, maior será o incomodo do usuário quanto a comportamentos adversos do sistema. Quanto maior a presença, maior será a expectativa do usuário quanto à naturalidade do sistema.

Um outro aspecto de grande relevância, foi a diferença encontrada nesta heurística na comparação entre os grupos imersivos C1 e C2. Apesar de ambos terem utilizado o mesmo computador para a realização dos testes imersivos, o grupo C1 ainda apresentou resultados inferiores. Na presente pesquisa, este resultado apontou que os usuários não usufruíram da performance total do sistema, mesmo após a correção dos problemas.

As heurísticas **Compatibilidade da Tarefa** e **Reação Realista** obtiveram o mesmo resultado. Os setups imersivo e anterior TV foram os melhores avaliados, seguidos de anterior monitor, que por sua vez também foi melhor avaliados do que superior monitor e TV. Na presente pesquisa, compreendeu-se que a visão anterior do teste foi considerada mais natural e próxima do teste físico do que a visão superior. Como os testes físicos foram realizados com os usuários sentados, é importante observar a visão anterior era a única que os usuários tinham antes de iniciar a etapa virtual não imersiva. Desta forma, acredita-se que a ambientação do setup físico tenha influenciado às expectativas dos usuários quanto aos testes virtuais.

A heurística **Pontos de Vista Físicos** preconiza que a mudança ponto de vista do usuário deve acompanhar os movimentos da cabeça, sendo processado sem demora. Como foi dito na

descrição da construção dos testes virtuais, esta heurística só pode ser completamente cumprida em aplicações imersivas. Os resultados apontaram a percepção dos usuários quanto a esta heurística, pois as formas imersivas foram melhor avaliadas que as não imersivas.

Após a interseção dos resultados encontrados em todas as heurísticas, o setup melhor avaliado foi o imersivo, seguido dos setups de visão anterior, onde o uso da TV obteve preferência.

Sobre os resultados relativos à memória e atenção nos setups não imersivos, os resultados apontam que os usuários tendem a desprender maior atenção à tarefa executada, focando seu campo de visão no próprio jogo.

Durante a interação com os setups de visão anterior, os usuários perceberam melhor o cenário da aplicação interativa quando utilizaram a TV, pois a tela mais ampla permitiu a melhor visualização do teste. Com o uso do monitor, os objetos colocados no cenário ao fundo ficaram pequenos e alguns usuários relataram que não conseguiram identifica-los. É importante destacar que muitos relatos de cenário do setup anterior monitor só aconteceram quando os usuários já sabiam que esta pergunta seria realizada, ou porque iniciam os testes não imersivos pelos setups de visão superior ou porque tiveram a experiência prévia do setup anterior TV, pois o mesmo questionário foi utilizado para todos os setups.

Em imersão, a descrição dos usuários foi bastante detalhada - sobre as características da caixa e dos cubos, como cor e texturas, sobre o feedback de mudança da cor dos cubos e das regras do jogo e sobre a modelagem dos cenários; acredita-se, na presente pesquisa, que este resultado seja fruto da elevada percepção de presença durante a interação com o setup imersivo.

A seguir, está descrita a conclusão dos resultados encontrados sobre os pontos positivos e negativos dos testes virtuais, a partir das categorias mais incidentes.

Quanto aos pontos positivos, observou-se que não houve diferenciação na hierarquização das respostas entre os grupos que usaram os computadores 1 e 2.

O ponto positivo mais relatado foi **Experiência Realista**. Nesta categoria, o setup imersivo foi o melhor avaliado, sendo seguido pelos setups não imersivos de visão anterior.

Em segundo lugar, ficaram empatadas as categorias **Maior Envolvimento e Tarefa Virtual para Saúde**. Foi destacada a satisfação em interagir com uma aplicação baseada em serious games especialmente voltada para a saúde. Segundo os voluntários, a possibilidade de utilizar um sistema virtual para a avaliação da destreza manual gerou maior envolvimento e motivação e tornou o teste mais divertido, mais agradável de fazer. Esses dados foram relatados em todos os setups.

Em terceiro lugar, ficaram empatadas as categorias **Melhor Visualização** e **Menor Percepção do Ambiente Real**, especialmente no setup Anterior TV. Considerando que Anterior TV foi o melhor setup não imersivo avaliado na heurística Presença, na presente pesquisa, acredita-se que exista uma forte correlação entre essas categorias e a percepção de presença. O posicionamento da TV de 42' a frente do usuário, limitou o campo de visão ao ambiente virtual, limitando a visualização do ambiente real e gerando maior sensação de “estar lá”.

Quanto aos pontos negativos, observou-se que houve uma importante diferenciação na hierarquização das respostas entre os grupos que usaram os computadores 1 e 2.

Quando o computador 1 foi utilizado, em todos os setups a queixa mais incidente foi o **Delay do Sistema**. Nesta categoria, o setup Anterior TV foi o pior avaliado, seguido por Superior TV. Na presente pesquisa, acredita-se que a percepção do *delay* tenha direta influência da visualização da aplicação interativa. Como com o uso da TV de 42' os objetos virtuais parecem maiores, fica mais fácil perceber atrasos no feedback visual do sistema.

A segunda categoria pior avaliada quando se utilizou o computador 1, foi **Dificuldades de Leitura de Movimentos**. O relato dos usuários era que a projeção das ações motoras estava lenta e que eles haviam reduzido sua velocidade de deslocamento dos cubos porque o sistema estava limitando seus movimentos. Eles realizaram movimentos lentos e esperaram o feedback visual do cubo para executar uma nova tarefa. Isso justifica a redução dos resultados quantitativos não imersivos deste grupo, quando comparados com o grupo que usou o computador 2. A questão é que não se tratou da dificuldade de leitura de movimentos pelo Leap Motion e sim do processamento da informação pelo computador 1.

Quando se utilizou o computador 2, as categorias pior avaliadas foram **Falta de Feedback Tátil** e **Falta de Colisão**. Esses problemas eram completamente inerentes ao sistema e não puderam ser resolvidos na presente pesquisa.

A queixa de **Dificuldades de Visualização** foi a única comum aos grupos C1 e C2, e foi relatada somente para os setups de visão superior. Muitos usuários relataram que sua própria mão ficava no campo de visão do teste virtual, dificultando a visualização da mão virtual e conseqüentemente das ações realizadas, principalmente com o uso do monitor. Este foi um importante fator de insatisfação dos usuários com os setups de visão Superior, especialmente Superior Monitor.

Concluída a apresentação dos resultados e discussão da presente pesquisa, o próximo e último capítulo descreve as conclusões gerais e desdobramentos.

5 CONCLUSÕES GERAIS E DESDOBRAMENTOS

Conseguimos neste trabalho discernir evidências de que a realidade virtual pode ser utilizada como ferramenta de apoio à análise diagnóstica cinetico-funcional em reabilitação. Os resultados encontrados na avaliação de usuários sem alteração da destreza manual com o teste *Box and Blocks* apontam concordância entre os contextos físicos e virtuais.

5.1 Principais Achados

Os resultados apontaram que o uso da imersão permitiu a maior aproximação da experiência física, possibilitando concordância absoluta entre os testes físicos e virtuais imersivos.

Dentre as formas não imersivas analisadas, os resultados apontaram concordância dos setups de visão anterior, desde que a aprendizagem seja possibilitada pela realização dos testes em réplicas.

O setup Anterior Monitor obteve discreta preferência nos resultados quantitativos dos testes, e o Anterior TV obteve melhores resultados na avaliação da usabilidade, mantendo-se a indicação destes dois setups.

Esta pesquisa obteve alguns resultados secundários. Realizamos a adequação ergonômica do setup padronizado por Mathiowetz et al (1985) para o teste *Box and Blocks* e mostramos que é possível avaliar a destreza manual e manter os resultados quantitativos proporcionando maior conforto ao usuário.

Além disso, com o setup ergonômico retiramos a influência de limitações articulares adjacentes, principalmente dos ombros, sobre o resultado da destreza manual.

Mostramos ainda que a repetição do teste provoca considerável aprendizagem da tarefa, que por consequência interfere diretamente sobre os resultados encontrados.

Outro resultado secundário ocorreu quando selecionamos as heurísticas de usabilidade, especialmente voltadas para a realidade virtual, e as aplicamos na construção dos testes virtuais. A correlação entre as heurísticas de Sutcliffe et al (2004) e a abordagem de criação dos *serious games* mostrou-se essencial para a construção de tarefas virtuais voltadas para a reabilitação.

Os resultados do estudo de usabilidade realizado com os usuários apontaram convergência com os resultados quantitativos dos testes virtuais, indicando o uso dos setups imersivo e não imersivo de visão anterior.

Considerando a concordância quali-quantitativa dos resultados dos testes virtuais e do prévio atendimento aos requisitos de usabilidade do sistema virtual *Box and Blocks*, podemos afirmar que a hipótese foi confirmada, assim como foram atendidos todos os objetivos geral e específicos traçados para esta pesquisa.

5.2 Principais Dificuldades

A principal dificuldade encontrada esteve debruçada sobre a própria interdisciplinaridade da pesquisa. Para o total desenvolvimento do sistema virtual *Box and Blocks*, precisamos construir uma equipe das áreas de Design de Games e de Tecnologia da Informação, que foram responsáveis pela modelagem e programação do teste. Neste âmbito, contamos com colaboradores da UNICAP (Universidade Católica de Pernambuco) e do CESAR (Centro de Estudos Avançados de Pernambuco). Estes colaboradores contribuíram de forma voluntária, considerando apenas o interesse acadêmico e científico na presente pesquisa.

A segunda dificuldade encontrada foi a disponibilização dos equipamentos necessários para a realização dos experimentos. Neste âmbito, contamos mais uma vez que o apoio do CESAR, que disponibilizou a infraestrutura física – sala e mobiliário - e cedeu computadores e o oculus rift para a coleta de dados.

Realizar uma pesquisa voltada para a área da saúde e que inclui o uso de tecnologias emergentes deve prioritariamente envolver uma equipe plural. Acreditamos que vencer essas dificuldades foi mais um importante resultado desta pesquisa.

5.3 Considerações Finais

Espera-se que este trabalho possa ter contribuído para esclarecer a utilização da Realidade Virtual em reabilitação, evidenciando seu potencial de aplicação para a avaliação da destreza manual, ou até mesmo em outras áreas da saúde.

Com isso, a presente tese abre ainda linhas de pesquisas plurais, para múltiplos procedimentos envolvendo e compreendendo o Design como uma ferramenta de promoção de saúde.

Como sugestões de futuros trabalhos, propõe-se a pesquisa com pessoas que curse com alterações de destreza manual. Em adição ao aperfeiçoamento do teste virtual, propõe-se

a aplicação dos setups imersivo e não imersivo de visão anterior, validados neste trabalho. É preciso investigar que intervenções devem ser aplicadas à metodologia proposta neste estudo para contemplar de forma definitiva as necessidades e peculiaridades do comportamento dos usuários com deficiência durante a interação com contextos virtuais destinados à reabilitação.

Acreditamos que para o Design, enquanto ciência, a presente pesquisa agrega importantes considerações sobre a contextualização de artefatos voltados para a saúde.

Quando os projetos atendem às reais necessidades do usuário, não apenas no âmbito social, mas compreendendo-o na perspectiva da deficiência, o processo de criação atinge sua mais importante contribuição: caracteriza o Design como uma ferramenta de promoção de saúde. Assim, o processo de design do ambiente virtual extrapola os objetivos de eficiência, efetividade e satisfação e alcança um novo constructo: a funcionalidade, considerada pela Organização Mundial de Saúde como uma variável imprescindível para a definição do próprio estado de saúde.

REFERÊNCIAS

- ALAMRI, EID, IGLESIAS, SHIRMOHAMMADI, EL SADDIK. Haptic Virtual Rehabilitation Exercises for Poststroke Diagnosis. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, volume 57, number 9, 2008.
- ANJOS, A.M. NUNES, F.L.S. TORI, R. Avaliação de habilidades sensório-motoras em ambientes de realidade virtual para treinamento médico: uma revisão sistemática. **Journal of Health Informatics**, volume 4, number 1, 2012, p. 28-34.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS .**NBR 9050**:Acessibilidade de pessoas portadoras de deficiências a edificações , espaço, mobiliário e equipamentos urbanos . Rio de Janeiro, 3ª ed, 2015.
- BOHIL, ALICEA, BIOCCA. Virtual Reality in Neuroscience and Therapy. **Neuroscience**. Volume 12, December, 2011, p. 752-762.
- BOWMAN, D. A. GABBARD, J. A Survey of Usability Evaluation in Virtual Environments: Classification and Comparison of Methods. **Presence**, Vol. 11, No. 4, August 2002, p. 404-424.
- BOWMAN, McMAHAN, Virtual Reality: How much immersion is enough? **Computer**, volume 40, número 7, July 2007, p. 36-43.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e da Previdência Social. Portaria MTPS n.o 3.751, de 23 de novembro de 1990. **NR17 – Ergonomia**. ANEXO II TRABALHO EM TELEATENDIMENTO/TELEMARKETING (Aprovado pela Portaria SIT n.o 09, de 30 de março de 2007).
- CARDOSO, L., COSTA, R.M.E.M., PIOVESANO, A., COSTA, M., PENNA, L. Using Virtual Environments for Stroke Rehabilitation. Proc. **IEEE 5th Int. Workshop on Virtual Rehabilitation**; 2006, p. 1-5.
- CAMEIRÃO, BERMÚDEZ, DUARTE, VERSCHURE. Virtual reality based rehabilitation speeds up functional recovery of the upper extremities after stroke: A randomized controlled pilot study in the acute phase of stroke using the Rehabilitation Gaming System. **Restorative Neurology and Neuroscience**, volume 29, 2011, p.287-298.
- CARPINELLA, CATTANEO, ABUARQUB, FERRARIN. Robot-based rehabilitation of the upper limbs in multiple sclerosis: feasibility and preliminary results. **Journal of Rehabilitation Medicine**, volume 41, 2009; p. 966-970.
- CHEN, Chih-Hung. JENG, Ming-Chang. FUNG, Chin-Ping. DOONG, Ji-Liang. CHUANG, Tien-Yow. Psychological Benefits of Virtual Reality for Patients in Rehabilitation Therapy. **Journal of Sport Rehabilitation**, volume 18, 2009, p. 258-268.
- CONNELLY, JIA, TORO, STOYKOV, KENYON, KAMPER. A Pneumatic Glove and Immersive Virtual Reality Environment for Hand Rehabilitative Training After Stroke. **IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering**, volume 18, number 5, october, 2010.

CROSBIE, LENNON, MCGOLDRICK, McNEILL, McDONOUGH. Virtual reality in the rehabilitation of the arm after hemiplegic stroke: a randomized controlled pilot study. **Clinical Rehabilitation**, volume 26, number 9, 2012, p. 798–806.

DI DIODATO, L. M., MRAZ, R., BAKER, S. N., GRAHAM, S. J. A Haptic Force Feedback Device for Virtual Reality-fMRI Experiments. **IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering**, volume 15, number 4, December, 2007.

DINH, H.Q. WALKER, N. SONG, C. KOBAYASHI, A. HODGES, L.F. Evaluating the Importance of Multi-sensory Input on Memory and the Sense of Presence in Virtual Environments. **In: Proceedings of Virtual Reality**, Conference of IEEE, Mar 1999, p. 222 – 228.

DONATI, A.R.C., SHOKUR, S., MORYA, E., CAMPOS, D.S.F., MOIOLI, R.C., GITTI, C.M., AUGUSTO, P.B., TRIPODI, S., PIRES, C.G., PEREIRA, G.A., BRASIL, F.L., GALLO, S., LIN, A.A., TAKIGAMI, A.K., ARATANHA, M.A., JOSHI, S., BLEULER, H., CHENG, G., RUDOLPH, A., NICOLELIS, M.A. Long-Term Training with a Brain-Machine Interface-Based Gait Protocol Induces Partial Neurological Recovery in Paraplegic Patients. **Nature: Scientific Reports**, volume 6, article number: 30383, 2016.

FRASCARELLI, MASIA, DI ROSA, PETRARCA, CAPPÀ, CASTELLI. Robot-mediated and clinical scales evaluation after upper limb botulinum toxin type A injection in children with hemiplegia. **Journal of Rehabilitation Medicine**, volume 41, 2009; p. 988–994.

FURTADO, O.L.P.C. TAVARES, M.C.G.C.F. Proposta de exercícios resistidos para pessoas com esclerose múltipla: um estudo de caso. **Acta Fisiátrica**, volume 14, número 2, 2007, p. 111 - 116.

GALVIN, LEVAC. Facilitating clinical decision-making about the use of virtual reality within paediatric motor rehabilitation: Describing and classifying virtual reality systems. **Developmental Neurorehabilitation**, volume 14, number 2, April 2011; p. 112–122.

GUIMARÃES, R. BLASCOVI-ASSIS, S.M. Uso do teste caixa e blocos na avaliação de destreza manual em crianças e jovens com síndrome de Down. **Revista de Terapia Ocupacional da Universidade de São Paulo**, Volume 23, Número 1, 2012, p. 98-106.

HENDERSON, KORNER-BITENSKY, LEVIN. Virtual Reality in Stroke Rehabilitation: A Systematic Review of its Effectiveness for Upper Limb Motor Recovery. **Topics in Stroke Rehabilitation**, volume 14, number 2, 2007; p. 52–61.

HILTON, COBB, PRIDMORE, GLADMAN. Virtual reality and stroke rehabilitation: a tangible interface to an every day task. **Proc. 4th Intl Conf. Disability, Virtual Reality & Association Technology**, Hungary, 2002.

JACK, BOIAN, MERIANS, TREMAINE, BURDEA, ADAMOVICH, RECCE, POIZNER. Virtual Reality-Enhanced Stroke Rehabilitation. **IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering**, volume 9, number 3, September, 2001.

JANG, S.H., YOU, S.H., HALLETT, M., CHO, Y.W., PARK, C-M, CHO S-H, LEE H-Y, KIM T-H. Cortical Reorganization and Associated Functional Motor Recovery After Virtual Reality in Patients With Chronic Stroke: An Experimenter-Blind Preliminary Study. **Archives of Physical Medicine and**

Rehabilitation, volume 86, November, 2005. p. 2218-2223.

KIZONY, KATZ, WEINGARDEN, WEISS. Immersion without encumbrance: adapting a virtual reality system for the rehabilitation of individuals with stroke and spinal cord injury. **Proc. 4th Intl Conf. Disability, Virtual Reality & Association Technology**, Hungary, 2002.

MA, HWANG, FANG, KUO, WANG, LEONG, WANG. Effects of virtual reality training on functional reaching movements in people with Parkinson's disease: a randomized controlled pilot trial. **Clinical Rehabilitation**, volume 25, number 10, 2011. P. 892–902.

MACHADO, Liliane dos Santos ; MORAES, R. M. ; NUNES, Fátima L. S. . Serious Games para Saúde e Treinamento Imersivo. In: Fátima de Lourdes dos Santos Nunes; Liliane dos Santos Machado; Márcio Sarroglia Pinho; Claudio Kirner. (Org.). **Abordagens Práticas de Realidade Virtual e Aumentada**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2009, p. 31-60.

MATHIOWETZ, V. VOLLAND, G. KASHMAN, N. WEBER, K. Adults Norms for the Box and Block Test of Manual Dexterity. **The American Journal of Occupational Therapy**. June, Volume 39, Number 6, 1985, p. 386-391.

MENDES, M.F. TILBERY, C.P. BALSIMELLI, S. MOREIRA, M.A. CRUZ, A.M.B. Teste de Destreza Manual da Caixa e Blocos em Indivíduos Normais e em Pacientes com Esclerose Múltipla. **Arquivos de Neuropsiquiatria**, Volume 59, número 4, 2001, p. 889-894.

MICHAELSEN, S.M. OVANDO, A.C. NATALIO, M.A. MAZO, G.Z. RODRIGUES, L.C. Avaliação da capacidade funcional dos membros superiores por meio do TEMPA: Valores de referência, efeito da idade, gênero, dominância e relação com a destreza. **Motricidade**, volume 7, número 2, 2011, p. 47-55.

MORAES, Anamaria de. **Aplicação de Dados Antropométricos: Dimensionamento da Interface Homem-máquina**. Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro. COPPE / UFRJ, Engenharia do Produto, 1983.

NUNES, F.L.S., COSTA, R.M.E.M. The virtual reality challenges in the health care area: a panoramic view. **In: ACM Symposium on Applied Computing**. Proceedings of 23th ACM Symposium on Applied Computing. New York: ACM, 2008. Volume 2, p. 1312-16.

NUNES, F.L.S. COSTA, R.M.E.M. MACHADO, L.S. MORAES, R.M. Realidade Virtual para Saúde no Brasil: conceitos, desafios e oportunidades. **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica**, volume 27, número 4, p. 243-258, dezembro 2011.

PIGNOLO, L. Robotics in Neuro-rehabilitation. **Journal of Rehabilitation Medicine**, volume 41, 2009; p. 955–960.

REBELO, DUARTE, NORIEGA, SOARES. "Virtual reality in consumer product design: methods and applications". In: Karwowski, W., Soares, M.M. and Stanton, N. **Human factors and ergonomics in consumer product design**. Chapter 24. Boca Raton, CRC Press, 2010. p. 381-404.

RIVA, MOLINARI, VINCELLI.. Interaction and Presence in the Clinical Relationship: Virtual Reality (VR) as Communicative Medium Between Patient and Therapist. **IEEE Transaction on**

Information Technologist in Biomedicine, volume 6, number 3, September, 2002.

RESNIK, ETTER, KLINGER, KAMBE. Using virtual reality environment to facilitate training with advanced upper-limb prosthesis. **Journal of Rehabilitation Research & Development**, Volume 48, Number 6, 2011.

SANTANA, C. M. F., LINS, O. G., SANGUINETTI, D. C. M., SILVA, F. P., ANGELO, T. D. A., CORIOLANO, M. G. W. S., CÂMARA, S. B., SILVA, J. P. A. Efeitos do tratamento com realidade virtual não imersiva na qualidade de vida de indivíduos com Parkinson. **Revista Brasileira de Geriatria e Gerontologia**, Rio de Janeiro, 2015; volume 18, número 1, pp. 49-58.

SHARAN, AJEESH, RAMESHKUMAR, MATHANKUMAR, JOSPIN, PAULINA, MANJULA. Virtual reality based therapy for post operative rehabilitation of children with cerebral palsy. **Work**, volume 41, 2012, p. 3612-3615.

SISTO, FORREST, GLENDINNING. Virtual Reality Applications for Motor Rehabilitation After Stroke. **Topics in Stroke Rehabilitation**, volume 8, number 4, 2002; p. 11–23.

SOARES, M. M. A user centred-design method for products to the disabled people: a contribution of ergonomics to rehabilitation. **In: HAAMAHA/Ergon-Axia/TIES 2005-10th. International Conference on Human Aspects of Advanced Manufacturing: Agility and Hybrid Automation**, 2005, San Diego. HAAMAHA/Ergon-Axia/TIES 2005. San Diego, California: IEA and University of San Diego, 2005.

SQUERI, CASADIO, VERGARO, GIANNONI, MORASSO, SANGUINETTI. Bilateral robot therapy based on haptics and reinforcement learning: feasibility study of a new concept for treatment of patients after stroke. **Journal of Rehabilitation Medicine**, volume 41, 2009; p. 961–965.

SUTCLIFFE, A. GAULT, B. Heuristic evaluation of virtual reality applications. **Interacting with Computers**, volume 16, 2004, p. 831–849.

SUTCLIFFE, Alistair. GAULT, Brian. SHIN, Jae-Eun. Presence, Memory and Interaction in Virtual Environments. **International Journal of Human-computer studies**. March, 2005.

SUBRAMANIAN, KNAUT, BEAUDOIN, McFADYEN, FELDMAN, LEVIN. Virtual reality environments for post-stroke arm rehabilitation. **Journal of Neuro-Engineering and Rehabilitation**, volume 4, number, 20, 2007.

TAKATALO, J. NYMAN, G. LAAKSONEN. Components of human experience in virtual environments. **Computers in Human Behavior** 24 (2008) 1–15.

TORI, R., NAKAMURA, R., NUNES, F.L.S., BERNARDES Jr, J.L., FERREIRA, M.A.G., RANZINI, E. Interlab: Interactive Technologies Laboratory. **SBC Journal on 3D Interactive Systems**, volume 2, number 2, 2011.

UEKI, KAWASAKI, ITO, NISHIMOTO, ABE, AOKI, ISHIGURE, OJIKI, MOURI. Development of a Hand-Assist Robot With Multi-Degrees-of-Freedom for Rehabilitation Therapy. **IEEE/ASME Transactions on Mechatronics**. volume 17, number 1, February, 2012.

WEISS, KIZONY, FEINTUCH, KATZ. Virtual Reality in Neurorehabilitation. In: SELZER Michael, CLARKE Stephanie, COHEN Leonardo, DUNCAN Pamela, GAGE Fred. Neural repair and rehabilitation, Volume 2: **Medical Neurorehabilitation**. Cambridge University Press, 2010.

WITMER, B.G. SINGER, M.J. Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire. **Presence**, Vol. 7, No. 3, June 1998, 225–240.

YOU, Sung H. KIM, Yun-Hee. BARROW, Irene. HALLETT, Mark. Cortical reorganization induced by virtual reality therapy in a child with hemiparetic cerebral palsy. **Developmental Medicine & Child Neurology**, volume 47, 2005, p. 628–635.

ZHOU, MALRIC, SHIRMOHAMMADI. A New Hand-Measurement Method to Simplify Calibration in CyberGlove-Based Virtual Rehabilitation. **IEEE Transactions on instrumentation and Measurement**, volume 59, number 10, October, 2010.

APÊNDICE A

Questionário de Usabilidade

Nome: _____

Data: _____ Setup: _____ Ordem de preferência: _____

1. Como você avalia a sua sensação de “estar lá” no ambiente virtual?

muito presente presente neutra pouco presente inexistente

2. Você se envolveu na realização do teste a ponto de perder a noção do tempo?

totalmente envolvido neutro pouco envolvido nenhum envolvimento

3. Você acredita que a interação com o teste virtual alterou sua percepção do mundo real (você percebia sons, temperatura ambiente, outras pessoas, etc.)?

totalmente alterou neutro pouco alteração nenhuma alteração

4. Você percebia os dispositivos de exibição e controle?

totalmente percebia neutro percebia pouco não percebia

5. Em geral, quanto realista o teste virtual parece para você?

totalmente realista realista neutro pouco realista nem um pouco

6. Você se sentiu confuso ou desorientado ao iniciar e finalizar o experimento?

totalmente confuso neutro pouco confuso inalterado

7. Você se adaptou rapidamente à experiência no ambiente virtual?

rapidamente adaptado neutro pouco adaptado nenhuma adaptação

8. Ao final da experiência, você se sentiu capaz de interagir com o ambiente virtual?

muito capaz capaz neutro alguma dificuldade muita dificuldade

9. Seus movimentos através do mundo virtual te pareceram naturais?

totalmente naturais neutro pouco naturais nenhuma naturalidade

10. A interação com o leap motion foi natural?

totalmente natural neutro pouco natural nenhuma naturalidade

11. Como foi a experiência de segurar um objeto virtual?

- muito parecida com o real parecida com o real neutro
 pouco parecida com o real totalmente diferente da experiência real
-

12. Sua experiência neste teste virtual pareceu coerente com sua experiência no teste físico?

- totalmente coerente coerente neutro pouco coerente totalmente diferente
-

13. Os aspectos visuais do ambiente virtual pareceram naturais?

- totalmente natural neutro pouco natural nenhuma naturalidade
-

14. Os aspectos auditivos do ambiente virtual pareceram naturais?

- totalmente natural neutro pouco natural nenhuma naturalidade
-

15. As informações dadas pelos estímulos (visual e auditivo) estavam conectadas?²

- totalmente conectadas neutro pouco conectadas nenhuma conexão
-

16. O ambiente virtual reagiu às ações que você realizou?

- totalmente reagiu neutro pouco resposta nenhuma reação
-

17. Você conseguia prever o que iria acontecer em resposta às ações que você executou?

- feedback totalmente presente feedback esperado neutro
 pouco feedback nenhum feedback
-

18. Houve atraso entre suas ações e o feedback do sistema?

- muito atraso atraso neutro pouco atraso nenhum atraso
-

19. A movimentação dos cubos virtuais pareceu coerente com a experiência do mundo real?

- totalmente coerente neutro pouco coerente nenhuma coerência
-

20. O deslocamento dos objetos virtuais foi convincente?

- totalmente convincente neutro pouco convincente nem um pouco
-

²Esta questão foi utilizada apenas no teste virtual imersivo, pois nos testes não-imersivos não havia feedback sonoro do sistema.

21. Você pode examinar objetos de múltiplos pontos de vista?

- totalmente pontos de vista presentes neutro visão um pouco limitada
 visão totalmente limitada

22. Qual foi o seu nível geral de satisfação no ambiente virtual?

- muito satisfeito satisfeito neutro pouco satisfeito nenhuma satisfação

23. Fale sobre a caixa, os blocos virtuais e a sala onde eles estavam. Do que você lembra?

24. Qual foi o ponto mais positivo desta experiência virtual?

25. Qual foi o ponto mais negativo desta experiência virtual?

Muito obrigada!

APÊNDICE B

Ficha para Coleta dos Testes Físicos

Nome: _____

Idade: _____ Altura: _____

Dominância motora: () Destra () Canhota

Data: _____

Setup convencional () Setup ergonômico ()

Horário: _____ Mão dominante: _____ Mão não-dominante: _____

Data: _____

Setup convencional () Setup ergonômico ()

Horário: _____ Mão dominante: _____ Mão não-dominante: _____

APÊNDICE C

Ficha para Coleta dos Testes Virtuais Não Imersivos

Nome: _____

Idade: _____ Altura: _____

Dominância motora: () Destra () Canhota

Data: _____

Visão anterior ()

Visão superior ()

Setup TV ()

Setup MONITOR ()

Horário: _____ Mão dominante: _____ Mão não-dominante: _____

Data: _____

Visão anterior ()

Visão superior ()

Setup TV ()

Setup MONITOR ()

Horário: _____ Mão dominante: _____ Mão não-dominante: _____

APÊNDICE D

Ficha para Coleta dos Testes e Questionários Virtuais Imersivos

Data: _____

Usuário: _____

No: _____

Dominância motora: () Destra () Canhota

Horário: _____ Mão dominante: _____ Mão não-dominante: _____

Horário: _____ Mão dominante: _____ Mão não-dominante: _____

Horário: _____ Mão dominante: _____ Mão não-dominante: _____

Questionário:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22

23. Fale sobre a caixa, os blocos virtuais e a sala onde eles estavam. Do que você lembra?

24. Qual foi o ponto mais positivo desta experiência virtual?

25. Qual foi o ponto mais negativo desta experiência virtual?
