

Ígor Andrade Moraes

---

**Terapia Postural Associada a Ambientes  
Virtuais Imersivos Para Tratamento da  
Escoliose**

---



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Uberlândia  
2022



# **Terapia Postural Associada a Ambientes Virtuais Imersivos Para Tratamento da Escoliose**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ciências.

Área de concentração: Processamento da Informação

Linha de Pesquisa: Computação Gráfica/Realidade Virtual

Orientador: Edgard Afonso Lamounier Jr

Coorientador: Dean Azevedo Rodrigues de Oliveira

Uberlândia

2022

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU  
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

M827  
2022

Moraes, Ígor Andrade, 1992-  
Terapia Postural Associada a Ambientes Virtuais  
Imersivos Para Tratamento da Escoliose [recurso  
eletrônico] / Ígor Andrade Moraes. - 2022.

Orientador: Edgard Afonso Lamounier Jr..

Coorientador: Dean Azevedo Rodrigues de Oliveira.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
Pós-graduação em Engenharia Elétrica.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2022.593>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Engenharia elétrica. I. Jr., Edgard Afonso  
Lamounier,1964-, (Orient.). II. Oliveira, Dean Azevedo  
Rodrigues de,1980-, (Coorient.). III. Universidade  
Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Engenharia  
Elétrica. IV. Título.

CDU: 621.3

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:  
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091  
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
 Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica  
 Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 3N - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902  
 Telefone: (34) 3239-4707 - www.posgrad.feelt.ufu.br - copel@ufu.br



### ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Engenharia Elétrica				
Defesa de:	Tese de Doutorado, 308, PPGEELT				
Data:	Dezenove de outubro de dois mil e vinte e dois	Hora de início:	14:00	Hora de encerramento:	17:20
Matrícula do Discente:	11623EEL009				
Nome do Discente:	Ígor Andrade Moraes				
Título do Trabalho:	Terapia Postural Associada a Ambientes Virtuais Imersivos Para Tratamento da Escoliose				
Área de concentração:	Processamento da Informação				
Linha de pesquisa:	Computação Gráfica				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Coordenador do projeto: Alcimar Barbosa Soares Título do projeto: A Comprehensive System for Clinical Rehabilitation of Upper-Limb Amputees Agência financiadora: N/A Número do processo na agência financiadora: N/A Vigência do projeto: 2021 – 2022				

Reuniu-se por meio de videoconferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, assim composta: Professores Doutores: Adriano de Oliveira Andrade - FEELT/UFU; Alcimar Barbosa Soares - FEELT/UFU; Isabel Harb Manssour - PUC/RS; Daniel Stefany Duarte Caetano - UNIESSA; Edgard Afonso Lamounier Júnior - FEELT/UFU, orientador(a) do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr(a). Edgard Afonso Lamounier Júnior, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado(a).

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Isabel Harb Manssour, Usuário Externo**, em 19/10/2022, às 17:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **DANIEL STEFANY DUARTE CAETANO, Usuário Externo**, em 19/10/2022, às 17:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Edgard Afonso Lamounier Junior, Professor(a) do Magistério Superior**, em 19/10/2022, às 17:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alcimar Barbosa Soares, Professor(a) do Magistério Superior**, em 19/10/2022, às 17:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Adriano de Oliveira Andrade, Professor(a) do Magistério Superior**, em 19/10/2022, às 17:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3976994** e o código CRC **507609C9**.

*Este trabalho é dedicado à todos que atuam na área acadêmica e buscam entregar algum tipo de contribuição à comunidade científica por meio do seu trabalho árduo.*





---

# Agradecimentos

Aos meus pais, João Moraes e Maria Lúcia de Andrade Moraes, que representam minha base e, por mim, fizeram o possível e o impossível.

Ao restante da minha família que, apesar da distância, se fizeram presente e sempre me ofereceram apoio.

Aos meus amigos que me complementam e me fortalecem de formas indescritíveis. Aos meus orientadores Edgard Lamounier e Dean Azevedo, aos quais devo todo o progresso aqui alcançado.

A todos os envolvidos com o programa de Pós Graduação de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia.

A Deus pela força, saúde e acompanhamento em cada etapa do meu desenvolvimento.

Finalmente, a todos que fizeram parte, direta ou indiretamente, da minha formação pessoal e profissional.

Obrigado!



*“Sua vida pode ser dividida em dois períodos: antes de agora e a partir de agora.”*  
*(Prof. Obvious Stating)*



---

# Resumo

Este trabalho apresenta uma solução imersiva de Realidade Virtual, combinada com dispositivos de rastreamento e instrumentos de avaliação biomecânica, direcionada ao tratamento e prevenção da escoliose. A patologia é substancialmente comum e os sintomas tendem a piorar levando a complicações. No entanto, exercícios específicos podem reduzir a progressão de curvas severas e estimular a simetria. Apesar da eficiência comprovada de tratamentos não invasivos para a redução de sintomas e da curva, aspectos limitantes como dor, estresse, aborrecimento e falta de motivação são intimamente relacionados às terapias físicas tradicionais. Ao mesmo tempo, o cenário tecnológico atual sugere condições favoráveis de desenvolvimento de soluções voltadas para a potencialização de abordagens tradicionais de reabilitação postural e minimização de fatores que estimulem desistência ou a não procura por tratamentos que previnam ou reduzam sintomas da escoliose.

A combinação tecnológica alinhada ao processo interativo foi utilizada para analisar a contribuição terapêutica do método em duas posturas corretivas isométricas. Para validar a proposta, dois grupos de alunos, de 11 a 13 anos, realizaram a terapia proposta em diferentes contextos. O grupo experimental realizou posturas corretivas utilizadas para treinamento postural e condicionamento físico com o auxílio de uma interface virtual imersiva, enquanto o grupo controle não teve assistência tecnológica. Ao comparar os resultados de ambos os grupos após as sessões, foram descobertas diferenças significativas entre os diversos parâmetros comparados. Assim, a nova abordagem apresentada neste trabalho, usando estimulação visual e interativa com dispositivos específicos, sugere que a combinação tecnológica proposta pode ser usada por terapeutas para melhorar os resultados de protocolos padrão para tratamento e prevenção de escoliose.

**Palavras-chave:** Realidade Virtual Imersiva. Propriocepção. Desvios Posturais. Reabilitação.



---

# Abstract

This work presents an immersive Virtual Reality solution, combined with tracking devices and biomechanical tracking instruments, aimed at the treatment and prevention of scoliosis. The pathology is common and the symptoms tend to lead to complications. However, specific exercises can reduce a progression the curvatures and promote symmetry. Despite the proven effectiveness of non-invasive treatments for reducing symptoms and curvature, limiting aspects, as pain, stress and lack of motivation are closely related to traditional physical therapies. At the same time, the current technological scenario suggests favorable conditions to the development of modern solutions to improve traditional approaches for postural rehabilitation and minimization of factors that stimulate evasion of treatments that prevent or reduce the symptoms of scoliosis.

A technological solution aligned to the interactive process was used for the therapeutic analysis of two corrective postures. To validate a proposal, two groups of students, from 11 to 13 years old, performed the proposed therapy in different contexts. The experimental group performed corrective postures used for postural training and physical conditioning with the device of visual immersion, while the control group had no technological assistance. When comparing the results of both groups after the sessions, significant differences were found between the compared groups. Thus, the new approach presented in this work, using visual stimulation and resources with specific devices, suggests that the technological proposal can be used by therapists to improve results of standard protocols for scoliosis treatment and prevention.

**Keywords:** Immersive Virtual Reality. Proprioception. Postural Deviations. Rehabilitation.





---

## Lista de ilustrações

Figura 1 – Realidade Virtual Imersiva com Capacete HMD . . . . .	27
Figura 2 – HTC Vive . . . . .	28
Figura 3 – Oculus Rift . . . . .	29
Figura 4 – (I) Google Cardboard, (II) Gear VR, (III) VR ONE, (IV) VR Box. . .	30
Figura 5 – Sensor Kinect Para o Xbox One . . . . .	31
Figura 6 – Wii Balance Board . . . . .	32
Figura 7 – (I) Infantil [até 3 anos], (II) Juvenil [4-9 anos], (III) Adolescente [a partir dos 10 anos], (IV) Escoliose Média [menor que 20 graus, (V) Escoliose Moderada [entre 20 e 70 graus . . . . .	33
Figura 8 – Teste de Cuvatura Adam . . . . .	34
Figura 9 – Método de Cobb na Identificação da curva . . . . .	34
Figura 10 – Graus de Risser . . . . .	35
Figura 11 – Tratamentos para Escoliose: (I) Reabilitação, (II) Colete, (III) Cirurgia	36
Figura 12 – Músculos do Core . . . . .	38
Figura 13 – Variação do Centro de Pressão (p) e do Centro de Gravidade(g) em relação ao peso (w) . . . . .	42
Figura 14 – Equipamento Básico para Registo Estabilográfico . . . . .	42
Figura 15 – Comparação Entre um Estabilograma de um Indivíduo Saudável e um Paciente com Tumor Cerebral . . . . .	43
Figura 16 – (I) Trajeto de Oscilação, (II) Amplitude de Oscilação, (III) Centro de Pressão, (IV) Área de Oscilação . . . . .	44
Figura 17 – Criança interagindo com um ambiente imersivo durante o doloroso processo de troca de curativos e limpeza . . . . .	50
Figura 18 – Treinamento para Manufatura . . . . .	52
Figura 19 – Interface Gráfica do Sistema . . . . .	53
Figura 20 – Usuário Realizando a Extensão de Coluna . . . . .	55
Figura 21 – Protocolo Schroth Interativo . . . . .	57
Figura 22 – Arquitetura do Sistema . . . . .	64

Figura 23 – Ambiente Virtual . . . . .	65
Figura 24 – Posturas Utilizadas . . . . .	66
Figura 25 – Representação da posição das mãos no Ambiente Virtual . . . . .	69
Figura 26 – Representação da distribuição de peso no Ambiente Virtual . . . . .	70
Figura 27 – Voluntários se preparando para executar as posturas Bailarina Sentada (esquada) e Bailarina em Pé (direita) enquanto interagem com o ambiente virtual. . . . .	77
Figura 28 – Deslocamento comparativo da mão esquerda durante a postura da Bailarina em Pé ao longo do tempo . . . . .	82
Figura 29 – Deslocamento comparativo da mão direita durante a postura da Bailarina em Pé ao longo do tempo . . . . .	82
Figura 30 – Deslocamento comparativo da mão esquerda durante a postura da Bailarina Sentada ao longo do tempo . . . . .	83
Figura 31 – Deslocamento comparativo da mão direita durante a postura da Bailarina Sentada ao longo do tempo . . . . .	83
Figura 32 – Deslocamento comparativo do Centro de Pressão durante a postura da Bailarina em Pé ao longo do tempo . . . . .	84
Figura 33 – Deslocamento comparativo do Centro de Pressão durante a postura da Bailarina Sentada ao longo do tempo . . . . .	84
Figura 34 – Comparação de desempenho entre os dois grupos após a primeira sessão	85
Figura 35 – Gráfico comparativo do tempo de tolerância em todas as sessões de cada voluntário. . . . .	87
Figura 36 – Variação do tempo de tolerância das primeiras 3 sessões. . . . .	87

---

## Lista de tabelas

Tabela 1 – Tabela Comparativa dos Trabalhos Correlatos . . . . .	58
Tabela 2 – Comparação dos parâmetros avaliados da sessão 1 até a 3 do grupo experimental e do grupo experimental. . . . .	86
Tabela 3 – Comparação dos parâmetros avaliados da sessão 3 entre os dois grupos.	86
Tabela 4 – Comparação dos parâmetros avaliados da sessão 1 até a 4 do grupo experimental e do grupo controle. . . . .	88
Tabela 5 – Comparação dos parâmetros avaliados da sessão 4 entre os dois grupos.	88



---

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> . . . . .	<b>21</b>
<b>1.1</b>	<b>Motivação</b> . . . . .	<b>21</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos e Metas</b> . . . . .	<b>22</b>
<b>1.3</b>	<b>Hipótese</b> . . . . .	<b>23</b>
<b>1.4</b>	<b>Organização da Tese</b> . . . . .	<b>24</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> . . . . .	<b>25</b>
<b>2.1</b>	<b>Introdução</b> . . . . .	<b>25</b>
<b>2.2</b>	<b>Realidade Virtual</b> . . . . .	<b>25</b>
2.2.1	Definições . . . . .	25
2.2.2	Classificações da Realidade Virtual . . . . .	26
<b>2.3</b>	<b>Dispositivos de Entrada e Saída para Realidade Virtual</b> . . . . .	<b>27</b>
2.3.1	Kit HTC Vive . . . . .	27
2.3.2	Oculus Rift . . . . .	28
2.3.3	Smartphone Headsets . . . . .	29
2.3.4	Microsoft Kinect . . . . .	31
2.3.5	Wii Balance Board . . . . .	32
<b>2.4</b>	<b>Escoliose e Perfil Postural da População</b> . . . . .	<b>32</b>
<b>2.5</b>	<b>Assistências Corretivas</b> . . . . .	<b>34</b>
2.5.1	Exercícios Específicos e Direcionados à Escoliose . . . . .	36
<b>2.6</b>	<b>Realidade Virtual Associada a Reabilitação</b> . . . . .	<b>39</b>
<b>2.7</b>	<b>Controle Postural</b> . . . . .	<b>39</b>
2.7.1	Propriocepção . . . . .	40
2.7.2	Centro de Pressão . . . . .	41
2.7.3	Estabilometria . . . . .	41
2.7.4	Visão e Postura . . . . .	44
2.7.5	Isometria e Bilateralidade Muscular . . . . .	45
<b>2.8</b>	<b>Serious Games</b> . . . . .	<b>46</b>

2.9	Considerações Finais . . . . .	47
3	<b>CORRELATOS . . . . .</b>	<b>49</b>
3.1	Introdução . . . . .	49
3.2	Realidade Virtual como Analgésico não farmacológico para redução da dor em procedimentos médicos . . . . .	49
3.3	FORD Reduz a Taxa de Lesão nas Linhas de Produção . . . . .	50
3.4	Análise de Equilíbrio Postural utilizando Plataforma de Força .	52
3.5	Sistema de Reabilitação Baseada em Técnicas de Captura de Movimento Para Tratamento da Lombalgia Mecânica . . . . .	53
3.6	Posturografia Com Estímulos de Realidade Virtual em Adultos Jovens Sem Alterações do Equilíbrio Corporal . . . . .	54
3.7	Exercícios Fisioterapêuticos Específicos para Escoliose Idiopática Assistidos por Vídeo-game: Série de Casos e Introdução de Uma Nova Ferramenta para Melhorar a Motivação e Precisão na Execução de Exercícios . . . . .	56
3.8	Estudo Comparativo dos Trabalhos Relacionados . . . . .	57
3.9	Considerações Finais . . . . .	58
4	<b>ARQUITETURA DO SISTEMA E PROTOCOLO PROPOSTO</b>	<b>59</b>
4.1	Introdução . . . . .	59
4.2	Requisitos Funcionais (FR) . . . . .	59
4.3	Requisitos Não Funcionais (NFR) . . . . .	60
4.4	Dispositivos e Recursos Utilizados . . . . .	61
4.4.1	Linguagem de Programação . . . . .	62
4.4.2	Biblioteca WiiBuddy . . . . .	62
4.4.3	Biblioteca SteamVR . . . . .	63
4.5	Arquitetura do Sistema . . . . .	63
4.6	Ambiente Virtual . . . . .	64
4.7	Protocolo . . . . .	64
4.7.1	Bailarina em Pé . . . . .	66
4.7.2	Bailarina Sentada . . . . .	67
4.8	Mecanismos de Interação . . . . .	67
4.8.1	Capacete de Imersão . . . . .	67
4.8.2	Controles Rastreáveis . . . . .	68
4.8.3	Plataforma de Força . . . . .	68
4.9	Processo Interativo . . . . .	68
4.9.1	Execução da postura Bailarina em Pé . . . . .	70
4.9.2	Execução da postura Bailarina Sentada . . . . .	70
4.10	Detalhes da Implementação . . . . .	71

4.10.1	Balance Board . . . . .	71
4.10.2	Calibragem . . . . .	72
4.11	Biofeedback . . . . .	72
4.12	Considerações Finais . . . . .	73
5	<b>EXPERIMENTOS . . . . .</b>	<b>75</b>
5.1	Introdução . . . . .	75
5.2	Condições do Experimento . . . . .	75
5.3	Participantes . . . . .	76
5.4	Preparação e Execução . . . . .	76
5.5	Coleta de Dados . . . . .	78
5.6	Considerações Finais . . . . .	78
6	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO . . . . .</b>	<b>81</b>
6.1	Introdução . . . . .	81
6.2	Resultados . . . . .	81
6.3	Discussão . . . . .	89
7	<b>CONCLUSÃO . . . . .</b>	<b>93</b>
7.1	Aspectos Gerais do Trabalho . . . . .	93
7.2	Principais Contribuições . . . . .	94
7.3	Trabalhos Futuros . . . . .	94
7.4	Comentários Finais . . . . .	95
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>97</b>





---

# Introdução

## 1.1 Motivação

Desvios posturais constituem condições que dificultam o dia a dia de parte significativa da população. Acredita-se que 2 a 3% da população mundial tenha Escoliose, uma patologia na coluna comum entre indivíduos que se queixam de algum tipo de desconforto nas costas (WEINSTEIN, 2019. <https://doi.org/10.1097/BPO.0000000000001350>). Além da dor, a qualidade de vida de quem é afetado por tal patologia é também comprometida por fatores psicológicos, em um contexto no qual indivíduos chegam a apresentar reflexões suicidas e problemas relacionados a aparência e autoestima (CLEAR, 2017), (PAYNE et al., 1997. <https://doi.org/10.1097/00007632-199706150-00017>).

Apesar de se tratar de um problema ainda sem solução definitiva e do processo desafiador de se antecipar a progressão da patologia (DONZELLI; ZAINA; NEGRINI, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2019.100244>), diversas são as abordagens utilizadas no tratamento da Escoliose, as quais variam de acordo com a idade, curvatura do desvio, risco de progressão, entre outros fatores (JANICKI; ALMAN, 2007. <https://doi.org/10.1093/pch/12.9.771>). Abordagens fisioterapêuticas, como a Reeducação Postural Global (R.P.G), são, frequentemente, selecionadas por não serem invasivas e apresentarem resultados desde a primeira sessão (SCOLISMART, 2017b). Além disso, essas mesmas abordagens, quando direcionadas para a melhoria postural e fortalecimento da musculatura, são capazes de interromper a evolução do problema e até mesmo reduzir a curva anômala desenvolvida devido a um diagnóstico tardio e a ausência de tratamento adequado (SHAH, 2009). Com relação ao progresso de um paciente, o tempo de resistência ao manter uma autopostura está relacionado à evolução muscular, ou seja, quanto mais tempo o paciente consegue manter a forma do exercício, maior é o seu avanço (MENDRIN et al., 2016. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000233>).

Assim, como toda terapia física, atividades voltadas para desvios posturais também envolvem manipulações realizadas por um profissional e, conseqüentemente, provocam dor com a ativação muscular. Além desse desconforto, fatores como ansiedade, autoconfiança

(JACK et al., 2010. <https://doi.org/10.1016/j.math.2009.12.004>.), pobreza referente à resultados e falta de atenção por parte do fisioterapeuta contribuem para a desistência do tratamento (THERAPY, 2017). A curvatura de um indivíduo com Escoliose tende a aumentar com o tempo e as complicações são diretamente proporcionais ao ângulo anômalo na coluna e ao estresse muscular, podendo causar deformações físicas, pressão sobre o pulmão, coração e abdômen, fadiga, perda de apetite, entre outros problemas graves (SIDDIQUI, 2017).

Igualmente, a tecnologia de Realidade Virtual Imersiva (RVI) promove condições de isolamento do sentido da visão de um usuário, por meio de dispositivos vestíveis, entregando maior nível de imersão e envolvimento sobre as possibilidades de usabilidade, uma vez que o sentido da visão é predominante (CARDOSO; LAMOUNIER, 2008). Tais impactos não se limitam somente aos métodos de manipulações, mas se estendem também ao fator emocional do usuário (HOFFMAN et al., 2011. <https://doi.org/10.1007/s12160-010-9248-7>).

Iniciativas que utilizam a Realidade Virtual para trazer melhorias na qualidade de vida de pessoas diagnosticadas com Escoliose incluem: treinamento médico voltado para a abordagem cirúrgica (COTE et al., 2008. <https://doi.org/10.1109/HAVE.2008.4685289>.), ferramentas de auxílio ao próprio processo cirúrgico (PEUCHOT; TANGUY; EUDE, 1995), mecanismos de adaptação postural (WRIGHT, 2013) e até mesmo métodos para elaborar vestimentas adequadas à pessoas debilitadas, devido à progressão da patologia (HONG et al., 2017. <https://doi.org/10.1108/IJCST-07-2016-0077>).

De fato, o uso da RV em contextos de reabilitação (LUIS; ATIENZA; LUIS, 2016) e na manipulação da dor (LI et al., 2011. <https://doi.org/10.2217/pmt.10.15>.) são identificáveis e justificam a utilização da tecnologia em condições terapêuticas, posto que estudos apontam contribuições psicológicas positivas para experimentadores por meio da possibilidade de manipulação da percepção visual proporcionada pela tecnologia (WILSON; SORANZO, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/151702>.). Dado que a utilização da RVI envolve a utilização de dispositivos específicos e que não foram encontrados estudos que fazem uso desta tecnologia para conferir melhores condições de treinamento terapêutico para indivíduos com Escoliose, este trabalho contempla uma associação tecnológica voltada para atividades de melhoria postural e um processo avaliativo que resulta na identificação dos dispositivos que apoiam, de forma viável, todo o processo.

## 1.2 Objetivos e Metas

O objetivo deste trabalho é investigar técnicas de Realidade Virtual Imersiva capazes de promover atividades relacionadas à melhoria postural e contribuir para a redução dos sintomas da Escoliose. Para tanto, dispositivos de imersão e rastreamento foram utilizados, possibilitando a captura e a disponibilização de informações acerca do posicionamento

dos membros rastreados. Assim, foi mensurada a diferença de desempenho identificada entre a abordagem convencional de terapia e a abordagem que está sendo proposta neste trabalho.

Para atingir os objetivos desejados, as seguintes metas foram definidas:

- ❑ Investigar a utilização da Realidade Virtual Imersiva e Não-Imersiva em contextos reabilitativos direcionados para a melhora do quadro de Escoliose sintomática e dores decorrentes do desvio anômalo na coluna.
- ❑ Por meio da análise de trabalhos correlatos, identificar limitações apresentadas pelos sistemas atuais que atuam no mesmo contexto deste trabalho.
- ❑ Apresentar a proposta de um sistema interativo de Realidade Virtual imersivo voltado para processos reabilitativos de redução da curva escoliótica e da dor.
- ❑ Desenvolver instrumentos e métodos que possibilitem a coleta de dados capazes de comprovar a contribuição do trabalho que foi desenvolvido.
- ❑ Entregar uma aplicação que conjugue os conceitos e métodos abordados no contexto desta pesquisa.
- ❑ Validar o sistema proposto por meio de experimentações com voluntários que cumpram os requisitos de segurança definidos no trabalho.
- ❑ A partir dos dados coletados, confirmar a contribuição da metodologia proposta para terapias posturais compatíveis com o treinamento realizado.

## 1.3 Hipótese

Identificada a significativa incidência da patologia mencionada sobre a população mundial (SCOLISMART, 2017b), a importância de se elaborar novas abordagens terapêuticas para reduzir barreiras que comprometem a qualidade e resultados dos protocolos reabilitativos utilizados atualmente (JACK et al., 2010. <https://doi.org/10.1016/j.math.2009.12.004>.) e a possibilidade de utilização da Realidade Virtual Imersiva em contextos terapêuticos (Maria et. al. 2016), a seguinte hipótese foi elaborada:

- ❑ A entrega de uma nova condição de realização de atividades fisioterapêuticas com a finalidade de reduzir dores provenientes de problemas posturais e prevenir a evolução da curva escoliótica por meio da potencialização de resultados e melhora de todo o processo de tratamento. Pressupõe-se a consecução da hipótese mencionada por meio de uma associação entre dispositivos específicos de interação e o desenvolvimento de uma aplicação virtual imersiva combinada à terapias posturais já existentes.

## 1.4 Organização da Tese

Esta pesquisa organiza-se em sete capítulos apresentados resumidamente a seguir:

- ❑ Capítulo 1 – Introdução: Contextualiza o tema abordado e apresenta a motivação, os objetivos e metas do trabalho.
- ❑ Capítulo 2 – Referencial Teórico: Apresenta conceitos e definições sobre a Realidade Virtual e temas que relacionam processos reabilitativos a exercícios físicos específicos.
- ❑ Capítulo 3 – Trabalhos Relacionados: Aborda trabalhos relacionados ao tema, o que possibilita a identificação de limitações existentes nos trabalhos aplicados no domínio dessa pesquisa.
- ❑ Capítulo 4 – Arquitetura e Desenvolvimento: Apresenta a estratégia proposta para utilização da Realidade Virtual Imersiva associada à exercícios específicos voltados para reabilitação postural, levando em consideração aspectos capazes de contribuir com essas atividades.
- ❑ Capítulo 5 – Experimentos: Descreve o processo de coleta de dados a partir da experimentação dos voluntários.
- ❑ Capítulo 6 – Resultados e Discussão: Apresenta o resultado das avaliações de utilização do protótipo desenvolvido.
- ❑ Capítulo 7 – Conclusões e Trabalhos Futuros: Apresenta as considerações finais e sugestões para a continuação do trabalho.

---

# Fundamentação Teórica

## 2.1 Introdução

Esse capítulo apresenta os principais conceitos e características relacionadas à Realidade Virtual e treinamentos físicos voltados para melhoria postural. Além disso, o capítulo contextualiza a utilização da tecnologia mencionada no âmbito da reabilitação e prevenção da Escoliose.

## 2.2 Realidade Virtual

### 2.2.1 Definições

Historicamente, as definições de Realidade Virtual sofreram diversas modificações. O cenário que limitava a tecnologia a computadores de alto custo e porte já foi expandido para microcomputadores, dispositivos móveis, internet, elementos multissensoriais, entre outros (KIRNER; KIRNER, 2011). Neste contexto, pode-se afirmar que a Realidade Virtual combina programas computacionais, computadores de alto desempenho e periféricos específicos que permitem a navegação, e manipulação em um ambiente tridimensional de aparência realística (CARDOSO; LAMOUNIER, 2006). A RV também é considerada uma “interface avançada do usuário” que permite a execução de programas que possibilitam navegação, visualização e interação em tempo real com ambientes 3D. A visão é o sentido predominante das pessoas, logo, o desenvolvimento tecnológico prestou foco aos monitores e nos diversos dispositivos de visualização, valorizando também o aspecto gráfico das aplicações. Outro aspecto notoriamente desenvolvido diante as novas possibilidades oferecidas pela Realidade Virtual (RV) foram as interações do usuário com o computador (KIRNER; SISCOOTTO, 2007).

Com o desempenho fraco dos primeiros computadores, interações em tempo real eram um conceito limitado, no que diz respeito à velocidade de processamento. Mas, com o desenvolvimento de equipamentos mais potentes, as interações do usuário com a máquina

se tornaram um processo mais transparente, intuitivo promovendo uma experiência mais completa capaz de apresentar ao usuário um conjunto muito maior de informações em menor tempo (KIRNER; KIRNER, 2011).

De acordo com (KIRNER; SISCOOTTO, 2007), a RV permite que o usuário empregue habilidades e conhecimentos intuitivos adquiridos no ambiente real sobre a aplicação. A partir destes conhecimentos, o usuário se locomove e manipula o ambiente de forma natural. A interação se dá por meio de dispositivos que podem estimular a imersão em diversos graus. Entre estes dispositivos estão os capacetes de visualização, luvas, sensores, microfones, entre outros. Recursos não convencionais promovem maiores graus de imersão, enquanto dispositivos convencionais, como mouse, teclado e monitor não isolam os sentidos do usuário. Independente do foco da aplicação em RV, a interação em tempo real é imperativa para que a tecnologia seja válida e, por isso, é imprescindível para uma interação de qualidade que atrasos quanto à renderização de quadros por segundo sejam toleráveis para não comprometer a noção de interação em tempo real. Assim, a complexidade do mundo virtual e a forma de construção de cada modelo que compõe a cena deve ser ajustada de forma a funcionar com as taxas adequadas de renderização (KIRNER; SISCOOTTO, 2007).

### 2.2.2 Classificações da Realidade Virtual

Segundo (CARDOSO; LAMOUNIER, 2006), a RV pode ser classificada de acordo com o senso de presença do usuário na aplicação. Quando os sentidos do usuário são isolados e predominantemente transportados para a aplicação, o tipo de Realidade Virtual utilizada é classificada como imersiva. Para se alcançar tal imersão, dispositivos específicos são utilizados, os quais entregam modos mais intuitivos de interação, dispositivos como rastreadores, sensores de dados biológicos, vídeo-capacetes (HMD), entre outros. Estímulos visuais são predominantes diante os outros sentidos e o tipo de imagem gerada é determinante para o nível de imersão do usuário (CARDOSO; LAMOUNIER, 2008). Assim, é possível classificar a Realidade Virtual em Imersiva e Não-Imersiva.

A imersão acontece quando dispositivos bloqueiam os sentidos do usuário e os transferem de forma predominante ao domínio da aplicação. Luvas, rastreadores, fones, vídeo-capacetes entre outros dispositivos devem ser utilizados para que a noção de presença do usuário no mundo real seja minimizada. (CARDOSO et al., 2007) apontam que a tecnologia é de caráter não imersivo quando dispositivos convencionais são utilizados para a interação do usuário com o mundo digital. Assim, o usuário tem acesso ao ambiente virtual sem ser isolado do mundo real. Cada uma dessas abordagens de RV apresenta características únicas e dependem muito do foco e objetivo da aplicação. A Figura 1 ilustra uma forma de interação imersiva com ambientes virtuais.



Figura 1 – Realidade Virtual Imersiva com Capacete HMD

Fonte: (TORI; KIRNER; SISCOOTTO, 2006)

## 2.3 Dispositivos de Entrada e Saída para Realidade Virtual

Além de envolver múltiplas mídias, a Realidade Virtual enfatiza interações em ambientes virtuais em tempo real. Assim, a plataforma computacional deve ser apropriada e apresentar capacidade de processamento gráfico suficiente. Ao mesmo tempo, a tecnologia envolve a utilização de dispositivos não convencionais de interação para que a demanda multisensorial seja atendida (KIRNER; SISCOOTTO, 2007). Alguns desses dispositivos serão descritos a seguir.

### 2.3.1 Kit HTC Vive

Resultado da associação entre as Corporações HTC e Valve, o Kit HTC vive oferece a possibilidade de interações imersivas dentro de um paradigma de Realidade Virtual onde o usuário pode se locomover dentro de uma área. O resultado de qualquer deslocamento de algum dos dispositivos rastreáveis é imediatamente refletido no ambiente virtual, o que demanda a instalação de rastreadores em lugares estratégicos (JAMES, 2016). O kit agrega um conjunto de dispositivos que trabalham simultaneamente, oferecendo uma experiência imersiva com rastreamento completo de 360 graus, áudio direcional e feedback háptico. Os dispositivos incluídos no Kit básico incluem:

- Headset: Um capacete vestível para imersão visual completa com taxa de atualização de 90Hz e campo de visão de 110 graus. O dispositivo utiliza dois painéis OLED, um para cada olho, com resolução individual de 1080X1200 pixels (MAIBERG, 2015). O interior do capacete conta com dezenas de sensores infravermelhos,

os quais detectam os pulsos de raios infravermelhos disparados pelas estações base para determinar a localização atual do dispositivo no espaço (Figura 2);

- ❑ Estações Base: Duas estações, no formato de caixas pretas de pequenas dimensões, são capazes de criar um espaço virtual de 360 graus e raio de 4,5 metros. Cada uma das bases emitem raios infravermelhos a uma taxa de 60 pulsos por segundos, os quais são registrados pelos dispositivos rastreáveis a uma precisão submilimétrica (LANG, 2017);
- ❑ Controles: O Kit conta com dois controles dotados de múltiplos métodos de entrada e garantem autonomia de até 6 horas. O controle possui um design compacto no formato bastão e é depositado de forma confortável na palma da mão do usuário (VIVE, 2018). Cada controle agrupa um total de 24 sensores infravermelhos que detectam as estações para determinar a localização do controle (BROWN, 2016);



Figura 2 – HTC Vive

Fonte: (VIVE, 2018)

### 2.3.2 Oculus Rift

Desenvolvido e fabricado pela Oculus VR, o Oculus Rift contempla um sistema visual para interações imersivas (RIFT, 2018). Possui um histórico de desenvolvimento que envolve protótipos iniciais e versões anteriores (FELTHAM, 2015a) que precedem a versão atual de mercado, lançada em março de 2016 a partir da associação entre a Oculus VR e uma divisão do Facebook Inc (ORLAND, 2014). O sistema agrega os seguintes dispositivos:

- ❑ Headset: Um capacete vestível para imersão visual (Figura 3) com taxa de atualização de 90Hz e campo de visão de 110 graus. O dispositivo utiliza dois painéis OLED,



um para cada olho, com resolução individual de 1080X1200 pixels (MARTINDALE, 2018).

- ❑ Sensores: O sistema inclui dois sensores móveis com tripés para mais possibilidades de instalações. Oferece rastreamento de 360 graus e permite a adição de mais sensores para melhorar a qualidade do rastreo. O sensor dispara raios infravermelhos, o que permite definir o posicionamento dos dispositivos rastreáveis (RIFT, 2018). Cada sensor pode ser removido do tripé e disposto da forma que for mais interessante para o usuário e pode ser utilizado em espaços reduzidos. Todos os dispositivos envolvidos no rastreo disparam raios infravermelhos a uma frequência identificada por todo o equipamento que compõe o sistema, com precisão submilimétrica e latência insignificante (FELTHAM, 2015b);
- ❑ Controles: Combinando 22 pontos de LEDs infravermelhos em pontos estratégicos com um dispositivo giroscópio e um acelerômetro, a posição dos controles é determinada de forma precisa (LIONHEART, 2016). O aspecto diferencial do controle é o seu design ergonômico com uma proposta de uso intuitivo. Cada controle foi projetado para representar a mão do usuário dentro do ambiente virtual e, por isso, devem ser conduzidos de acordo as recomendações do fabricante (DURBIN, 2016).



Figura 3 – Oculus Rift

Fonte: (RIFT, 2018)

### 2.3.3 Smartphone Headsets

Acredita-se que a primeira proposta de um capacete para imersão visual surgiu em 1968, em um trabalho que buscava apresentar informações visuais, por meio de um capacete, simulando visualizações tridimensionais, ainda sem estereoscopia (SUTHERLAND, 1968). Apesar do conceito de utilização de um capacete para visualização e interação com ambientes virtuais ser antigo, o mercado e as condições tecnológicas vigentes só foram

capazes de tornar a produção e utilização desse tipo de dispositivo viáveis recentemente. Mais especificamente em 2014, foi observada uma mudança tecnológica que favoreceu o desenvolvimento de capacetes para Realidade Virtual. O interesse pela área de estudo e desenvolvimento também se estendeu para a comunidade científica. Nesse contexto, as palavras chave 'virtual reality' foram buscadas com maior frequência entre os anos de 2009 e 2014 nas principais bibliotecas virtuais de pesquisa entre os anos de 2000 e 2015 (SIRIBORVORN RATANAKUL, 2016).

O "gatilho" que disparou o desenvolvimento de Headsets, ou capacetes, associou a utilização desses dispositivos a smartphones (SIRIBORVORN RATANAKUL, 2016). Dessa iminente combinação, diversos Headsets para Smartphones estão disponíveis no mercado. Apesar da diferença de custo e qualidade do material, esses equipamentos objetivam o mesmo conceito de imersão visual. A Figura 4 apresenta alguns Headsets para Smartphones disponíveis no mercado.



Figura 4 – (I) Google Cardboard, (II) Gear VR, (III) VR ONE, (IV) VR Box.

Fonte: Adaptado de (GOOGLE, 2016), (SAMSUNG, 2016), (ZEISS, 2016) e (MYMAX, 2016).

O Google Cardboard (Figura 4) destaca-se pelo baixo custo de produção. É composto por material barato e possui dois ímãs de neodímio que podem ser manipulados pelo usuário, o que altera o campo magnético ao redor. Celulares reconhecem essa mudança, o que pode ser interpretado como um “clique” pela aplicação desenvolvida (GOOGLE, 2016). Originado de uma parceria entre a Samsung e a Oculus, o Gear VR é um capacete compatível com alguns dispositivos da fabricante. Conectado via microUSB, o dispositivo inclui um touchpad, botão de retorno, sensor de proximidade e também utiliza o display e processador do Smartphone (SAMSUNG, 2016). O VR ONE possui um SDK próprio de desenvolvimento para Android, Iphone e sua compatibilidade é definida pelas dimensões

do Smartphone que será inserido no Headset, sendo que são suportados aparelhos com telas de dimensões que variam entre 4.7 e 5.5 polegadas (ZEISS, 2016). Finalmente, o VR Box é um Headset popular por ter preço baixo, quando comparado aos outros Headsets do mercado, possibilidade de ajuste para Smartphones de diversas dimensões e acompanha um controle Bluetooth para interações (MYMAX, 2016).

Dentre os dispositivos mencionados, observa-se que todos são limitados ao processamento e resolução de Smartphones, mas podem ser suficientes para experimentação de aplicações com níveis de interação reduzidos à visualização e manipulação de ambientes virtuais.

### 2.3.4 Microsoft Kinect

Introduzido como “Projeto de Natal” no ano de 2009 (GIBSON, 2009), o Sensor Kinect foi lançado em 2010 combinando hardwares e softwares Microsoft à tecnologia da companhia PrimeSense, a qual focava em tecnologias de reconhecimento e sensores tridimensionais (MICROSOFT, 2010). O dispositivo possui uma câmera RGB, um sensor de profundidade, um microfone, além de um conjunto de softwares que oferecem funcionalidades como reconhecimento facial, reconhecimento de voz e captura de movimento, estimando a posição de pontos no corpo a partir do seu conjunto de sensores. A identificação de pontos no espaço é feita pela combinação do sensor infravermelho, o qual dispara milhares de pontos a no máximo 3,5 metros, e da câmera RGB, capturando dados tridimensionais em qualquer condição de iluminação a uma resolução de 640 x 480 pixels (OPENKINECT, 2012).

Em 2012, já estava disponível o SDK (Software Development Kit) Kinect For Windows, que permitia o desenvolvimento de aplicações direcionadas para o uso do sensor em computadores com o sistema operacional Windows. Por meio do SDK, usuários teriam acesso aos dados capturados pelo sensor de profundidade, ao rastreamento do corpo e às funções de áudio. Posteriormente, com o lançamento de uma versão melhorada do Kinect compatível com o console Xbox One, um novo SDK foi disponibilizado, no entanto, todos os programas foram descontinuados (MICROSOFT, 2016).



Figura 5 – Sensor Kinect Para o Xbox One

Fonte: Adaptado de (MICROSOFT, 2016).

### 2.3.5 Wii Balance Board

Wii Balance Board é um dispositivo originalmente lançado para consoles da sua fabricante e projetada para utilização em jogos que envolvem atividades físicas. Utiliza tecnologia Bluetooth para conexão e o mesmo protocolo de comunicação que o outros dispositivos da fabricante (NINTENDO, 2018). Possui um conjunto de quatro células que funcionam como balanças individuais distribuídas entre as quatro extremidades do dispositivo (IWATA, 2012).

Apesar de ter sido projetada como um controle destinado a um conjunto de jogos, a plataforma se popularizou entre cientistas e trabalhos que investigam o equilíbrio. Foi comprovada que a utilização do dispositivo para avaliações de equilíbrio e postura é viável e que a tecnologia entrega condições suficientes para cálculo e estimativas confiáveis do centro de gravidade do usuário, componente importante no estudo da estabilidade (CLARK et al., 2010. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2009.11.012>).



Figura 6 – Wii Balance Board

Fonte: (NINTENDO, 2018)

## 2.4 Escoliose e Perfil Postural da População

Por definição, Escoliose é uma deformação na curvatura da coluna vertebral, uma anomalia comum em crianças. Causas incluem má formações congênitas, paralisias, membros inferiores assimétricos, displasia esquelética, entre outros, sendo que um diagnóstico precoce pode interromper a progressão da curva (LAU, 2011).

Em números, estima-se que até 3% da população mundial seja afetada pelo desvio postural, sendo que 10% dos adolescentes possuem algum grau de Escoliose e que, entre indivíduos com parentes que possuem Escoliose, 20% desenvolvem a condição. Os sinais da Escoliose podem ser percebidos visualmente e são caracterizados por ombros assimétricos, curva acentuada na coluna vertebral e quadris desnivelados. Geralmente, o desvio é diagnosticado em crianças de 10 a 15 anos de idade, sendo que em 80% dos casos trata-se de Escoliose idiopática, ou seja, a causa é desconhecida. A gravidade da patologia é

determinada pela extensão e ângulo da curva, medida em graus. O tratamento é baseado na idade, gravidade e risco de progressão da curva (SCOLISMART, 2017b).

Quando idiopática, a Escoliose pode estar associada a condições neurológicas, anomalias musculares e síndromes gerais (JANICKI; ALMAN, 2007. <https://doi.org/10.1093/pch/12.9.771>).

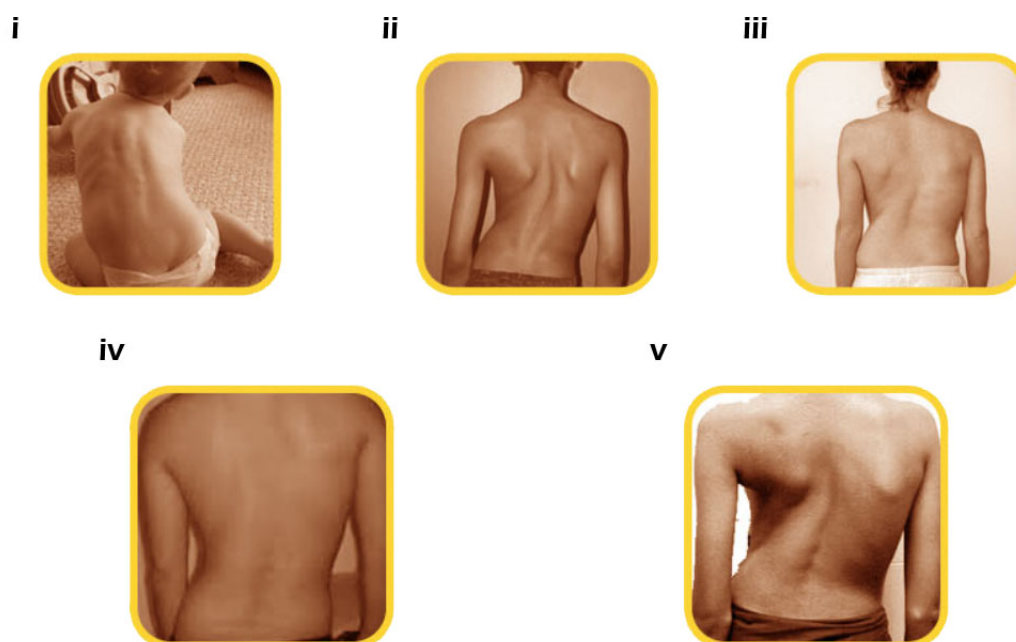


Figura 7 – (I) Infantil [até 3 anos], (II) Juvenil [4-9 anos], (III) Adolescente [a partir dos 10 anos], (IV) Escoliose Média [menor que 20 graus, (V) Escoliose Moderada [entre 20 e 70 graus

Fonte: Adaptado de (SCOLISMART, 2017b)

Sintomas, como dores frequentes nas costas, assimetrias perceptíveis na cavidade peitoral, protuberância em um dos lados da caixa torácica e ombros desnivelados são forte indicativos de uma deformidade vertebral (JANICKI; ALMAN, 2007. <https://doi.org/10.1093/pch/12.9.771>). Até 80% de indivíduos com Escoliose apresentam dores na lombar, desconforto que pode se estender até o peito e qualquer músculo prejudicado. Dores generalizadas são frequentes, principalmente entre adultos que não passaram por nenhum tipo de tratamento, devido ao stress gerado pela musculatura prejudicada nas costas, quadris, ombros, pescoço e pernas (SHAH, 2009). Apesar dos sinais e sintomas serem característicos e facilmente identificáveis, o ângulo de Cobb é frequentemente utilizado para se diagnosticar, com mais confiança a patologia, a qual é confirmada se o ângulo formado por uma linha perpendicular ao início da vértebra superior da curva escoliótica que se estende até o fim da vértebra inferior for maior ou igual a  $10^\circ$  (Figura 9). Exames físicos também podem ser adotados na identificação do problema, como o teste de curvatura Adam, no qual o paciente se inclina para que o examinador seja capaz de identificar a deformidade (Figura 8) (REAMY; SLAKEY, 2001)

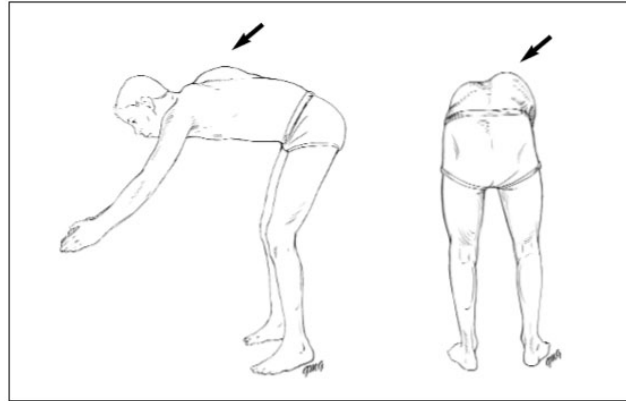


Figura 8 – Teste de Curvatura Adam

Fonte: (REAMY; SLAKEY, 2001)

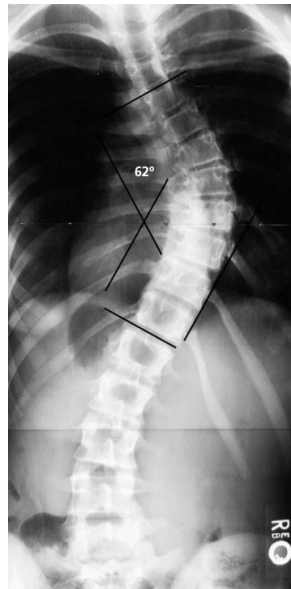


Figura 9 – Método de Cobb na Identificação da curva

Fonte: (REAMY; SLAKEY, 2001)

## 2.5 Assistências Corretivas

Por ser uma patologia ainda sem cura definitiva e que exige atenção e manutenção ao longo da vida, a Escoliose também exerce impacto emocional significativo. 40% dos adolescentes que possuem a deformação apresentam pensamentos suicidas e 82% se sentem incomodados com o desenvolvimento precário do corpo decorrente da doença (PAYNE et al., 1997. <https://doi.org/10.1097/00007632-199706150-00017>). O grau de desconforto psicológico é proporcional a gravidade do problema, sendo que a decadência emocional tende a se tornar mais grave com a progressão do problema. O período de identificação da doença

também preocupa pois, geralmente, acontece na adolescência, um período crítico para o desenvolvimento psicológico (OGILVIE, 2011. <https://doi.org/10.1097/BPO.0b013e3181fd87eb>).

O papel da prevenção e identificação precoce da Escoliose é notável, visto que além do gênero e magnitude da curva, o potencial de crescimento da coluna determina a progressão do problema (REAMY; SLAKEY, 2001), (HORNE; FLANNERY; USMAN, 2014), (JANICKI; ALMAN, 2007. <https://doi.org/10.1093/pch/12.9.771>). A patologia se manifesta inicialmente, principalmente, durante o período de desenvolvimento acelerado do corpo, que ocorre antes da adolescência e continua durante esse período. Assim, a idade é um aspecto extremamente importante neste cenário (SHAH, 2009). Dado que o período de crescimento de um indivíduo pode variar em relação a outro, métodos como o Escala de Tanner e o Grau de Risser são utilizados para determinar a etapa de crescimento na qual um paciente se encontra. Enquanto o primeiro avalia a maturidade por meio de características físicas evidentes, como distribuição de pelos e tamanho das mamas, associadas a radiografias que enfatizam o raio distal, a ulna distal, ossos da mão para estimar o comportamento da Escoliose (HORNE; FLANNERY; USMAN, 2014), o segundo (Figura 10) nivela o desenvolvimento avaliando a fusão óssea da apófise ilíaca, sendo que o desenvolvimento total é dividido em 5 estágios, onde o estágio inicial é caracterizado por 25% de ossificação, o estágio 4 caracteriza 100% de ossificação e o estágio 5 representa a fusão da epífise à asa ilíaca (GREINER, 2002).

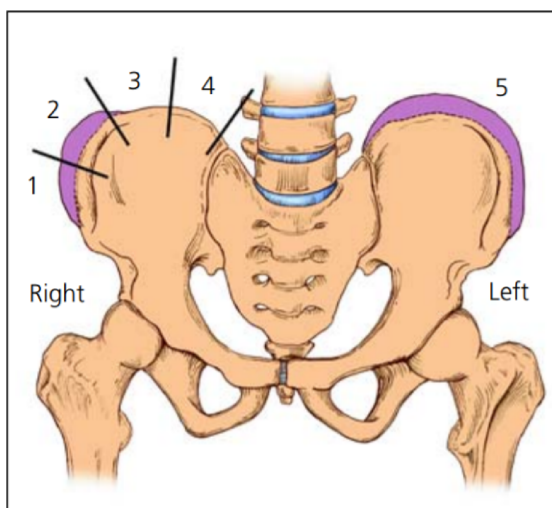


Figura 10 – Graus de Risser

Fonte: (GREINER, 2002)

Sobre as possibilidades de tratamento, as abordagens de coletes corretivos, exercícios específicos e cirurgias são notadas como principais. Os coletes corretivos consistem em equipamentos que devem ser vestidos por um paciente durante sua fase crescimento infanto-juvenil por longos períodos de tempo. Existe uma variedade de coletes que po-

dem ser usados para casos específicos de desvio postural, no entanto, existe divergência na literatura quanto a viabilidade de utilização dessa abordagem e os resultados obtidos por meio desta técnica são considerados questionáveis. Além disso, estudos apontam que crianças submetidas a tal método consideram que tiveram sua infância limitada e consideram ter adquirido cicatrizes emocionais pois, novamente, a doença impõe limitações em um período importante de crescimento emocional, já que o colete restringe os movimentos da criança e exerce impacto até mesmo sobre a vestimenta que pode ser utilizada (SCOLISMART, 2017a).



Figura 11 – Tratamentos para Escoliose: (I) Reabilitação, (II) Colete, (III) Cirurgia

Fonte: (SCOLISMART, 2017b)

A abordagem cirúrgica, recomendada em casos de Escoliose severa, é a mais arriscada e impactante para o paciente. Entre os pontos negativos de um procedimento deste tipo estão possíveis infecções, alto risco de complicações (15% em crianças e 25% em adultos) (WILK et al., 2006. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000197168.11815.ec>), necessidade de manutenção e novas cirurgias, limitações motoras, meses de repouso absoluto, perda de parte da curva corrigida com o passar do tempo, problemas neuronais, problemas associados ao funcionamento do pulmão, entre outros (LAU, 2011).

Vale ressaltar que é imprescindível a continuidade e permanência nos treinamentos para manter a resposta obtida. Dado que a prevenção e diagnóstico precoce são importantes para um quadro de melhora a longo prazo e que treinamentos específicos são capazes de desacelerar a progressão da curva e até mesmo reduzi-la em adultos (NEGRINI et al., 2015. <https://doi.org/10.1186/s13013-015-0044-9>), evidencia-se a necessidade de melhorar a qualidade dos tratamentos clínicos já existentes para potencializar os resultados alcançáveis, evitando assim uma cirurgia limitante e de risco.

### 2.5.1 Exercícios Específicos e Direcionados à Escoliose

Pesquisas recentes não encontraram nenhuma relação entre a redução da curva e atividades físicas comuns. No entanto, estudos comprovam que exercícios específicos, ou de-



vidamente direcionados, são capazes de contribuir, tanto com a redução da curva quanto para a redução da dor, sendo que é possível reduzir em pelo menos, 27% o progresso da curvatura anômala esperado. Ainda, sem a utilização de coletes corretivos, é possível interromper a progressão da curva e até mesmo reduzir a curvatura por meio da reprodução de exercícios capazes de fortalecer e compensar a musculatura prejudicada (SHAH, 2009). Nesse sentido, quando mais jovem o paciente, melhor o resultado obtido a longo prazo, pois as atividades corretivas realizadas durante o período de desenvolvimento ósseo serão determinantes para estruturação da anatomia do adulto. Caso o problema seja identificado na fase adulta, o tratamento se concentra na correção da curvatura e redução da dor, também por meio de exercícios específicos (ROCKIES, 2017).

Entre as terapias corporais que se destacam no contexto de tratamento da Escoliose, encontra-se a Reeducação Postural Global (RPG). O método atua tanto na prevenção quanto na recuperação de disfunções musculoesqueléticas por meio de alongamentos estáticos e auto-posturas. Os benefícios do método podem ser identificados dentro das primeiras sessões e incluem melhora da força muscular, respiratória, expansibilidade torácica, redução da dor, estabilidade postural, entre outras (TEODORI et al., 2011).

A Ioga, prática tradicional indiana associada a posturas e exercícios, também se destaca entre as práticas de correção postural. Sua contribuição parte do princípio de administração de posturas, usando um grupo muscular contra outro por meio do próprio peso. Apesar da disciplina envolver aspectos emocionais e investigações espirituais, os benefícios físicos entregues pela prática são indiscutíveis, principalmente entre indivíduos que buscam a prática para tratar Escoliose e desvios posturais. Entre eles, identificam-se melhor flexibilidade, melhoria postural, melhor construção muscular, redução da dor, entre outros. A Ioga por ser auto-administrada, é uma prática segura que não sobrecarrega articulações e não está limitada à faixas etárias específicas (MONROE, 2011).

O fortalecimento do Core, conjunto muscular associado à estabilização lombar, controle motor e centro de gravidade, é uma abordagem fortemente relacionada à prevenção e reabilitação. O termo “fortalecimento do core” conota estabilização da lombar e outros exercícios terapêuticos (AKUTHOTA; NADLER, 2004. <https://doi.org/10.1053/j.apmr.2003.12.005>) O core pode ser descrito como o conjunto muscular dentro de uma "caixa", tendo a musculatura abdominal como a parte frontal, músculos paraespinhais e glúteos como a região traseira, o diafragma como a parte superior e o assoalho pélvico, juntamente com os quadris, como a região inferior (ROSS, 1999).

Por ser um treinamento utilizado para melhorar o equilíbrio postural, principalmente quando algum problema musculoesquelético está presente, fica evidente que atividades de fortalecimento e estabilização do core são eficientes no tratamento da Escoliose idiopática. Em (GÜR; AYHAN; YAKUT, 2017. <https://doi.org/10.1177/0309364616664151>), comprova-se que essa abordagem, quando associada à protocolos tradicionais, é capaz de entregar resultados mais satisfatórios. Além da redução da dor, observou-se uma redução

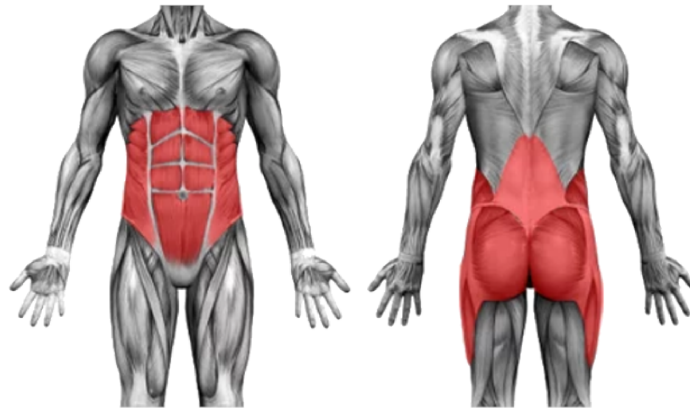


Figura 12 – Músculos do Core

Fonte: (W., 2018)

na rotação vertebral apical, maior simetria postural e redução na deformidade do tronco. Assim, é confirmado que a associação de treinamentos para melhoria do condicionamento do core com exercícios tradicionais é mais eficiente, se comparada com os treinamentos tradicionais trabalhados de forma isolada. Logo, treinamentos de estabilização devem ser adicionados à programas reabilitativos voltados para indivíduos com Escoliose.

Apesar da importância da prevenção, antes da maturidade da anatomia para redução da curva e conservação da estrutura vertebral, a Escoliose ainda pode ser tratada por meio de exercícios após um diagnóstico tardio. Esse cenário não indica a redução na deformidade óssea adquirida pelo desvio postural, no entanto, é confirmada a hipótese de redução da curva e maior estabilidade após o colapso postural. Essa mesma redução na curva pode reduzir a descarga de peso assimétrica na coluna, assim como reduzir os riscos de progressão (NEGRINI et al., 2008).

Atualmente, a única forma de interromper a progressão da curva de Escoliose em adultos, definitivamente, é a abordagem cirúrgica. Além de arriscada, a cirurgia pode entregar limitações ao paciente e constante manutenção. Assim, exercícios específicos continuam sendo uma das principais abordagens de tratamento que, por sua vez, dispensa todo o risco entregue por um procedimento invasivo. Uma auto-correção ativa é capaz de direcionar um paciente a recuperar um melhor controle postural, integração neuromotora e correção da postura. Historicamente, está comprovado que essa abordagem é superior, principalmente para indivíduos que não querem passar por um processo cirúrgico (NEGRINI et al., 2015. <https://doi.org/10.1186/s13013-015-0044-9>).

A prática de exercícios direcionados é indicada para curvas interiores a 30°, pode potencializar a correção e diminuir inaptidões físicas. Esse conceito pode incluir práticas de auto-correção, executadas sem auxílio de profissionais e também podem ser incorporadas à atividades físicas convencionais. Além de melhorar a qualidade de vida e, comprovadamente, reduzir a curva escoliótica, o hábito de se praticar exercícios de fortalecimento

e estabilidade para contrariar a progressão da curva ainda aumenta a consciência corporal do praticante, o que influencia diretamente na qualidade do exercício que está sendo executado e enfatiza mais independência no tratamento (ROMANO et al., 2015. <https://doi.org/10.1186/s13013-014-0027-2>).

## 2.6 Realidade Virtual Associada a Reabilitação

A utilização de interações virtuais em contextos reabilitativos apresentam resultados satisfatórios, principalmente, no que se refere a atividades motoras e cognitivas (SAPOSNIK et al., 2010. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.110.584979>). Com relação à trabalhos posturais, a RV também pode ser identificada como tecnologia complementar às abordagens já existentes. A manipulação visual, por meio de ambientes controlados, pode promover alterações sensoriais e motoras tornando possível a adaptação do controle postural de um indivíduo diante cenários corriqueiros (WRIGHT, 2013).

O emprego da tecnologia apresenta resultados positivos inclusive em casos mais graves onde pacientes possuem limitações severas de movimento. A entrega de um ambiente repleto de artefatos visuais atrativos, novas propostas de interação e objetivos claros a serem alcançados constitui um fator que torna a tecnologia tão eficiente em trabalhos que envolvem atividades de manipulação física, podendo até mesmo ser suficiente na manipulação e redução da dor (LI et al., 2011. <https://doi.org/10.2217/pmt.10.15>). Outro aspecto da tecnologia que constitui benefício para atividades reabilitativas é o feedback visual em tempo real. Dar ciência precisa ao usuário referente ao seu posicionamento e seu equilíbrio postural configura condições suficientes para a elaboração de protocolos assistidos de reabilitação (CZERWOSZ et al., 2009), (POSTOLACHE et al., 2016).

A associação entre RV e reabilitação se estende também a casos mais graves, onde lesões cerebrais comprometem a coordenação motora de um indivíduo (CASANOVA et al., 2015. <https://doi.org/10.1109/ColumbianCC.2015.7333424>). Novamente, a tecnologia traz novas perspectivas de tratamentos clínicos, ajudando profissionais a entender melhor o progresso de patologias relacionadas ao equilíbrio/coordenação e apresentando novas formas de avaliações mais precisas, completas e dinâmicas.

## 2.7 Controle Postural

Basicamente, a orientação do corpo se dá pelo relacionamento entre informações sensoriais e atividade muscular. Controle postural é a habilidade de assumir uma posição durante uma atividade, seja ela estática ou dinâmica. Não há controle sem que haja interação entre informações sensoriais. O sistema visual, por exemplo, é relacionado à estabilização da oscilação corporal, enquanto receptores vestibulares entregam estratégias para a manutenção do equilíbrio por serem sensíveis à aceleração angular e linear

da cabeça. Apesar da diversidade de sistemas envolvidos durante atividades mecânicas, a literatura deixa evidente que a manipulação de sentidos específicos é capaz de promover alterações e compensações no comportamento motor (KLEINER; SCHLITTLER; SÁNCHEZ-ARIAS, 2011. <https://doi.org/10.34024/rnc.2011.v19.8382>).

O simples ato de estar em pé representa um processo complexo que define o equilíbrio do corpo. Manter uma postura demanda um fluxo ininterrupto de impulsos, que alcançam o sistema nervoso central, e envolve um grande conjunto de sistemas anatômicos que atuam simultaneamente, como exteroceptores da pele, a musculatura, tendões e a capacidade proprioceptiva do indivíduo, entre outros. Quando o equilíbrio do corpo é comprometido, impulsos ativam contrações nas fibras musculares na tentativa de restaurar o equilíbrio. Assim, a musculatura humana é constantemente acionada para manter um equilíbrio dinâmico da postura (TEREKHOV, 1976).

### 2.7.1 Propriocepção

Por definição, propriocepção, ou cinestesia, é a sensação pertinente ao estímulo interno do corpo e relaciona a posição espacial dos membros à atividade muscular (ANDERSON; ANDERSON; GLANZE, 2002). Assim, essa capacidade permite reconhecimento da localização espacial do corpo, bem como a posição de um membro em relação aos demais e as forças exercidas pela musculatura. A propriocepção é abordada, principalmente, quando existem atividades físicas envolvidas. Logo, com o tratamento da Escoliose não é diferente. Dada a importância desta capacidade em contextos esportivos e trabalhos musculares, a cinestesia, considerada a experiência vivida da postura corporal (PETIT, 2010), deve ser considerada na reabilitação, uma vez que a capacidade de se posicionar no espaço relaciona-se com qualquer tipo de movimento e um posicionamento adequado é indispensável no ajuste postural.

Manter uma postura ereta é uma tarefa que depende de conjuntos fisiológicos, inclusive do sistema vestibular. A visão contribui para o controle e orientação do corpo. No entanto, a propriocepção é uma capacidade predominante neste domínio, principalmente em posições quase estáticas (SAHLSTRAND; PETRUSON, 1979. <https://doi.org/10.3109/17453677908991307>). Ao mesmo tempo, observa-se uma sensibilidade assimétrica no labirinto e disfunções nos mecanismos de controle postural em indivíduos com Escoliose (SAHLSTRAND; PETRUSON; ÖRTENGREN, 1979. <https://doi.org/10.3109/17453677908989768>). A curvatura na coluna causa um déficit vestibular nesses pacientes, sendo que, quando a curvatura é côncava para o lado direito, o labirinto direito adquire sensibilidade dominante. O mesmo acontece com o lado esquerdo caso a concavidade da curva seja oposta ao exemplo anterior (VAUGOYEAU et al., 2008. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2007.04.003>).

Relacionar visão à postura é uma associação válida, uma vez que estudos evidenciam mais dificuldade na realização de atividades voltadas para equilíbrio e coordenação quando o sentido visão é comprometido (KESHNER; KENYON; DHAHER, 2004). O

sistema de controle postural resulta da interação complexa de diversas outras características, como força muscular, altura, peso, estado emocional, entre outros, compreendendo uma interação entre percepção, cognição e ação (STOFFREGEN et al., 2000. [https://doi.org/10.1016/S0167-9457\(00\)00009-9](https://doi.org/10.1016/S0167-9457(00)00009-9)). No entanto, é notável uma prevalência das contribuições visuais no controle postural, principalmente durante a ontogênese, período transicional crucial no desenvolvimento do corpo (WADE; JONES, 1997. <https://doi.org/10.1093/ptj/77.6.619>).

### 2.7.2 Centro de Pressão

Centro de pressão (COP) consiste no ponto resultante das forças verticais aplicadas sobre uma superfície (GURFINKEL, 1973). É uma medida dependente do centro de gravidade, um conceito análogo ao centro de pressão que leva em consideração todos os segmentos do corpo. O COP expressa a localização do vetor resultante da força aplicada sobre uma plataforma, vetor este que é oposto à média ponderada de todas as forças que agem sobre a mesma plataforma (Figura 13) (WINTER; PATLA; FRANK, 1990). Assim, o centro de pressão representa a oscilação do corpo, enquanto o centro de gravidade representa uma resposta neuromuscular de tal oscilação (GURFINKEL, 1973).

Por meio de monitoramento, é possível observar com precisão perturbações que comprometem a estabilidade postural, a sinergia postural presente em qualquer movimentação e a integridade do controle de equilíbrio de um indivíduo (WINTER; PATLA; FRANK, 1990). Integrar e estudar esse aspecto biomecânico permite que o movimento seja modelado e torna possível uma melhor compreensão dos mecanismos internos que, por sua vez, evidenciam prejuízos posturais (MOCHIZUKI; AMADIO, 2003. <https://doi.org/10.5628/rpcd.03.03.7>). A avaliação do centro de gravidade pode funcionar como um dado complementar à terapias voltadas para processos reabilitativos e auxiliar na retomada de um controle postural adequado devido ao efeito positivo que intervenções no equilíbrio exercem sobre atividades físicas (PLUCHINO et al., 2012. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2012.01.023>).

Perturbações no centro de gravidade podem ser antecipadas, compensadas e estão associadas a coesão postural. É esperado que atividades simples, como levantar um braço causem algum tipo de perturbação no centro de gravidade. Ao mesmo tempo, alterações como falta de estabilidade, predominância unilateral e dificuldade de se reponderar uma posição podem ser facilmente identificadas por meio desse dado e indicam problemas posturais, sendo que a contribuição da competência proprioceptiva de um indivíduo determina como são desenvolvidas tais alterações (WINTER; PATLA; FRANK, 1990).

### 2.7.3 Estabilometria

Baseada no estudo da estabilidade e postura humana, a estabilometria, ou posturometria, compreende um método que consiste na tradução de oscilações mecânicas do centro

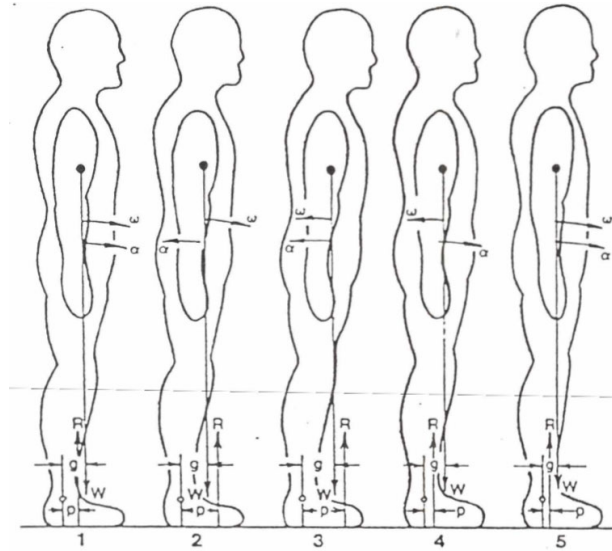


Figura 13 – Variação do Centro de Pressão (p) e do Centro de Gravidade(g) em relação ao peso (w)

Fonte: (WINTER; PATLA; FRANK, 1990)

de gravidade fisiológica de um indivíduo em sinais elétricos que podem ser registrados e analisados (TEREKHOV, 1976). Atualmente, o mercado disponibiliza uma diversidade de equipamentos voltados para a análise da descarga gravitacional de um sujeito, dispositivos estes que variam em precisão, qualidade, preço, e informações geradas. A Figura 14 apresenta um equipamento pioneiro no estudo da postura humana, enquanto a Figura 15 apresenta um estabilograma básico que compara a oscilação postural de um indivíduo saudável com a de um paciente com tumor cerebral.

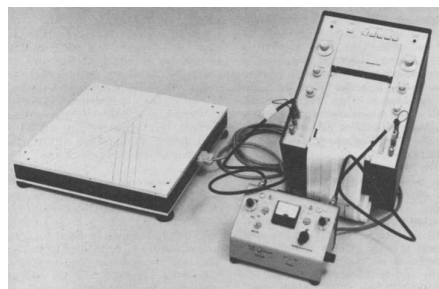


Figura 14 – Equipamento Básico para Registo Estabilográfico

Fonte: (TEREKHOV, 1976)

A flexibilidade tecnológica disponibiliza uma variedade de modelos empregados para analisar dados estabilográficos. (HUFSCHMIDT et al., 1980. <https://doi.org/10.1007/BF00365601>.) cita algumas representações que podem ser calculadas para apresentar alguma importân-

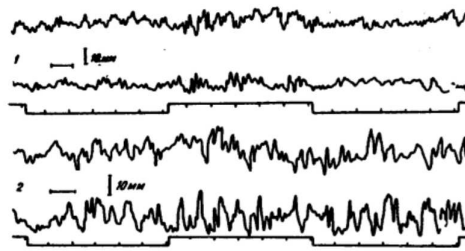


Figura 15 – Comparação Entre um Estabilograma de um Indivíduo Saudável e um Paciente com Tumor Cerebral

Fonte: (TEREKHOV, 1976)

cia em diagnósticos. Entre elas estão:

- ❑ Trajeto da oscilação;
- ❑ Amplitude de oscilação;
- ❑ Centro de Pressão;
- ❑ Frequência Média;
- ❑ Área de oscilação;

Diferentes métodos podem ser utilizados para alinhar os modelos à proposta da pesquisa. Um modelo de trajeto da oscilação apresenta pontos específicos registrados durante a mudança centro de gravidade do indivíduo. A amplitude da oscilação apresenta qual foi o maior deslocamento do centro de gravidade registrado. O centro de pressão apresenta o histórico em um plano cartesiano bidimensional na forma de um trajeto realizado pelo centro de gravidade do indivíduo. A frequência média entrega um dado numérico que compreende uma média de oscilação em função do tempo de duração da coleta e, por fim, a área de oscilação agrupa os registros de variação de posição do centro de gravidade em uma área no plano cartesiano. A Figura 16 mostra algumas das representações geradas por autores diferentes.

Segundo Enoka (2000), citado por (SCHMIDT et al., 2003), a postura é uma resposta neuromecânica relacionada a manutenção do equilíbrio. Assim, um sistema se encontra em equilíbrio mecânico quando a soma das forças atuantes se iguala a zero. Atividades posturais devem manter a estabilidade do sistema musculoesquelético, levando em consideração a posição do corpo em relação a sua base de suporte e a orientação desejada dos segmentos corporais. Ainda em Enoka (2000), citado por Schmidt (2003), é confirmado que a postura pode ser influenciada por diversos fatores, como respiração e batimentos cardíacos, os quais podem gerar oscilações no equilíbrio do corpo, sendo que esta mesma

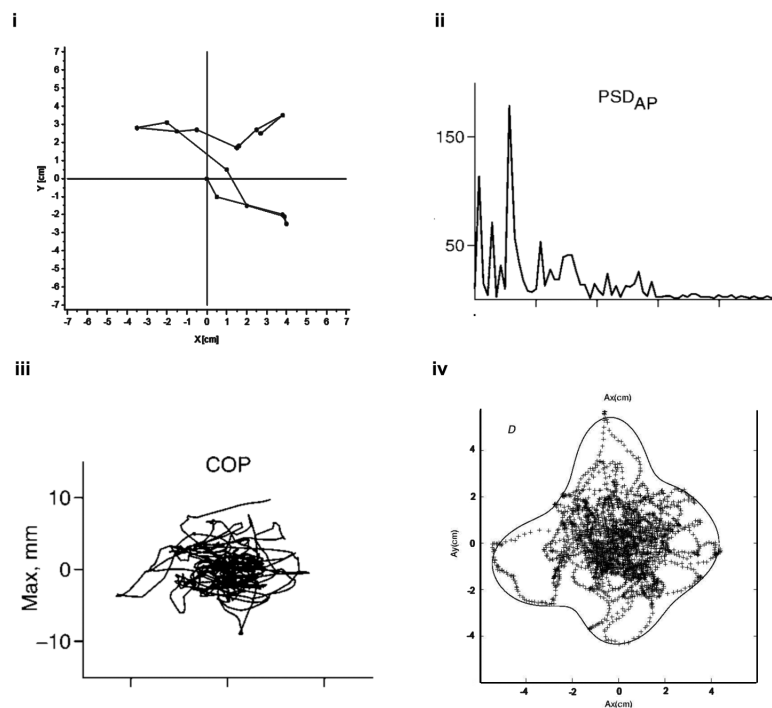


Figura 16 – (I) Trajeto de Oscilação, (II) Amplitude de Oscilação, (III) Centro de Pressão, (IV) Área de Oscilação

Fonte: (WOLLSEIFEN, 2011. <https://doi.org/10.1179/175709311X13166801334271>), (ROCCHI; CHIARI; CAPPELLO, 2004. <https://doi.org/10.1007/BF02351013>.), (RUGELJ; SEVSEK, 2007)

oscilação pode ser confirmada por meio da monitoração da posição do centro de pressão ou gravidade. Esse fato reforça os resultados encontrados por Duarte (2000), os quais confirmam que análises estabilográficas são capazes de monitorar efetivamente oscilações no centro de gravidade de um indivíduo e, conseqüentemente, avaliar sua qualidade postural.

#### 2.7.4 Visão e Postura

Observa-se que, no contexto de análise da postura, assistências visuais contribuem na performance postural em termos de orientação e estabilidade do tronco, tanto em indivíduos com Escoliose quanto em indivíduos saudáveis, sendo que informações visuais foram suficientes para aproximar os resultados dos dois grupos mencionados (SOARES, 2010. <https://doi.org/10.34024/rnc.2010.v18.8460>).

Confirmadas alterações significativas na morfologia do trato spinocerebelar (SHI et al., 2013. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2013.06.045>), o qual é responsável por transmitir informações ao cerebelo sobre as posições dos membros e articulações (BOSCO; POPPELE, 2001. <https://doi.org/10.1152/physrev.2001.81.2.53>), em indivíduos com Es-



coliose, é seguro afirmar que pacientes com esse tipo de deformação na coluna possuem competências proprioceptivas comprometidas. Ao mesmo tempo, estes pacientes apresentam perda na lordose cervical, o que estimula um deslocamento da cabeça à frente do centro de gravidade e uma postura inadequada. A correção desse aspecto pode devolver parte das competências proprioceptivas de um paciente e potencializar a redução da curvatura. Nesse sentido, assistências proprioceptivas são importantes em todo o processo reabilitativo. Uma perna encurtada neurologicamente, por exemplo, sempre será identificada pelo paciente primeiro e esse tipo de desequilíbrio deve ser corrigido com exercícios e ajustes específicos, os quais que devem ser visualizados e abordados de forma tridimensional (ROCKIES, 2017)

Observa-se que em indivíduos com algum grau de Escoliose, equilíbrio e estabilidade são condições comprometidas. O controle de equilíbrio desses indivíduos é menor se comparado com indivíduos sem deformações na coluna, principalmente na ausência de ótimas condições sensoriais, como o sentido da visão, por exemplo. A amplitude de movimento empregado no controle e estabilidade de indivíduos escolióticos é maior devido a uma dificuldade de se centralizar o corpo e, conseqüentemente, manter uma postura ideal (SIMONEAU et al., 2006. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-7-68>).

Identificam-se ainda, problemas relacionados aos membros inferiores quando há deformações na coluna, devido a dependência e pressão maior existente sobre a cinestesia dos tornozelos na manutenção das oscilações do corpo nesses casos, sendo que esse conjunto compromete todo o processo locomotivo (ASSAIANTE et al., 2012. <https://doi.org/10.1371/journal.p>

Assim, a pesquisa realizada sugere que a dificuldade mencionada de reponderação de insumos sensoriais em caso de privação perceptual deve ser minimizada, principalmente, com informações visuais ricas em dados capazes de informar o usuário sobre suas condições e posicionamento.

### 2.7.5 Isometria e Bilateralidade Muscular

A importância da musculatura do core e o seu fortalecimento não se limita somente aos músculos envolvidos neste grupo. O conjunto contribui em funções vitais da anatomia humana e sua influência se estende até em tarefas simples e frequentes no cotidiano. Problemas musculares, lesões ortopédicas e postura inadequada são exemplos de problemas oriundos de uma estabilização pobre e core enfraquecido. Entre os benefícios entregues por um core bem condicionado estão a redução da dor, menor chance de desenvolvimento de hérnia de disco, redução de tensões musculares e, principalmente, o desenvolvimento de uma postura melhor (GRISAFFI, 2007). Nesse sentido, uma abordagem utilizada no condicionamento do core é a realização de exercícios isométricos.

Exercícios isométricos contribuem para uma melhoria da postura e redução da dor por favorecerem o condicionamento de forma geral e estarem fortemente associados à atividades voltadas para reabilitação. Consistem na aplicação de forças estáticas valo-

rizando um equilíbrio entre os músculos sem sobrecarga articular. Os benefícios desta abordagem incluem melhoria postural, estabilização muscular, redução da dor associada à coluna, prevenção de lesões, entre outros. No entanto, para que esses benefícios sejam alcançados, um alinhamento neutro da postura durante o treino é extremamente importante. É este mesmo alinhamento que evita desperdícios de energia e desequilíbrios musculares que podem reduzir a eficácia do exercício (MENDRIN et al., 2016. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000233>).

A bilateralidade, que consiste na execução dos exercícios dos dois lados do corpo, é um aspecto importante que garante um desenvolvimento equilibrado e corrige assimetrias. Desequilíbrios musculares, além de comprometer uma postura adequada, desencadeia dores, as quais não se limitam a pequenos grupos musculares. A abordagem bilateral, apesar de trabalhar com lados de forma isolada em determinados momentos, é uma prática que evidencia desigualdades musculares e discordância de forças, característica frequente em indivíduos com Escoliose (ROCKIES, 2017). Assim, ambos os lados são trabalhados de forma a compensar o desequilíbrio identificado. Quanto à evolução do treinamento, esta se dá pelo aumento do tempo que o paciente resiste para manter a postura correta. Pequenas variações no exercício também podem ser utilizadas no intuito de se aumentar a dificuldade de execução e, conseqüentemente, evoluir a musculatura. (MENDRIN et al., 2016. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000233>).

## 2.8 Serious Games

Motivação, entretenimento, diversão, desafios, excitação e interesse são algumas das associações positivas frequentemente feitas à jogos computacionais. Esses conceitos, combinados com o cenário tecnológico favorável para o desenvolvimento de aplicações com alta qualidade gráfica e interfaces avançadas para interação, motivam a utilização desse tipo de abordagem em contextos multidisciplinares. Assim, um "Serious Game" ou "Jogo Sério" é o termo dado a um software utilizado para propósitos que ultrapassam a esfera do entretenimento, podendo ser utilizado para estimular um indivíduo a se exercitar mais, como ferramenta para auxiliar um tratamento médico, como ferramenta de marketing, entre outras diversas aplicações (NGUYEN, 2016. <https://doi.org/10.1111/j.1740-9713.2016.00978.x>).

Além de evidente o retorno positivo da utilização clínica de um Jogo Sério em contextos reabilitativos, confirma-se em (SCHAHAM et al., 2018. <https://doi.org/10.1097/MRR.0000000000000302>) que a utilização dessa abordagem contempla pacientes com níveis consideráveis de satisfação, prazer e empenho suficientes para aproximar mais experimentadores do objetivo da terapia. Ao mesmo tempo, aspectos negativos frequentemente relatados em práticas fisioterapêuticas, como tédio e aborrecimento, são consideravelmente reduzidos quando abordagens tradicionais são potencializadas por jogos digitais, além de abrir espaço para

novas estratégias reabilitativas (FRAIWAN et al., 2013).

## 2.9 Considerações Finais

Considerando um alinhamento correto e distribuição adequada de força aplicada nos membros envolvidos na atividade reabilitativa, dispositivos especiais de interação podem ser utilizados de forma a entregar ao usuário informações relacionadas ao posicionamento dos membros rastreados e do seu centro de gravidade. Sabendo-se que a Escoliose atinge parte significativa da população mundial (SCOLISMART, 2017b), acarreta problemas que comprometem a qualidade de vida de quem possui tal patologia (LAU, 2011) e que, apesar de não existir cura definitiva, a prevenção e tratamento, por meio de exercícios específicos, representam uma alternativa segura para melhora do quadro (DONZELLI; ZAINA; NEGRINI, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2019.100244>).



---

## Trabalhos Correlatos

### 3.1 Introdução

Esse capítulo apresenta trabalhos e soluções fortemente relacionadas à proposta aqui desenvolvida. Todos os correlatos apresentam resultados na área de Realidade Virtual associada à alguma contribuição paramédica e evidenciam novas possibilidades de projetos capazes de colaborar com o domínio que está sendo investigado. Juntamente a cada correlato apresentado, estão descritos seus respectivos objetivos, conclusões e resultados, seguidos por uma análise comparativa direcionada à proposta deste trabalho.

### 3.2 Realidade Virtual como Analgésico não farmacológico para redução da dor em procedimentos médicos

Partindo do princípio que a dor exige atenção e que é possível isolar visualmente um indivíduo por meio da RV, em (HOFFMAN et al., 2011. <https://doi.org/10.1007/s12160-010-9248-7>.) comprova-se a utilização da imersão visual com o intuito de se reduzir a percepção da dor e desconforto físico de um paciente. Neste correlato essa associação foi utilizada durante a higienização e troca de curativos recorrentes queimaduras graves. Onze pacientes foram voluntários na experimentação e a resposta de significativa redução do desconforto durante os procedimentos foi unânime (Figura 17).

O grau de imersão foi identificado como fator de grande influência sobre o resultado da pesquisa, sendo que o grupo de participantes que usaram capacetes de imersão com campo de visão amplificado e melhor qualidade gráfica reportaram maior redução no nível da dor, enquanto indivíduos dotados de capacetes mais simples e de tecnologia inferior apresentaram desconforto com maior frequência, se comparados com o primeiro grupo. Ainda no sentido dos fatores que alteram a percepção da dor em um ambiente virtual, observou-se que retorno sonoro associado ao contexto da aplicação e a interatividade influi

diretamente sobre o nível da dor percebida, sendo que participantes com possibilidade de interação dentro do ambiente virtual apresentaram maior redução da dor.

O nível de dor percebido pelos envolvidos no experimento foi medido por meio de questionários após a realização dos procedimentos médicos e por meio de imagens geradas a partir de ressonâncias magnéticas funcionais de seis minutos durante experimentos isolados onde dois grupos recebiam estímulos de dor nos pés por meio de um dispositivo térmico, um com RV e outro sem RV. O nível de dor pôde ser reduzido em até 75%, variando de acordo com a intensidade do desconforto experimentado (HOFFMAN et al., 2011. <https://doi.org/10.1007/s12160-010-9248-7>).

Além de reduzir a dor causada por queimaduras graves, a contribuição da RV para pacientes que devem se sujeitar a procedimentos que causam algum tipo de aflição também é comprovada em estudos que envolvem claustrofobia, câncer, endoscopia, e manipulações dentárias. Tudo isso sugere que a contribuição da imersão visual pode se estender à outros campos, como o de fisioterapia e reabilitações posturais, onde as manipulações e auto posturas devem ser mantidas por períodos de tempo suficientes para causar desconforto físico e emocional, o que pode comprometer o resultado final da terapia e, como mencionado em (JACK et al., 2010. <https://doi.org/10.1016/j.math.2009.12.004>), são fatores que contribuem para a desistência do tratamento.



Figura 17 – Criança interagindo com um ambiente imersivo durante o doloroso processo de troca de curativos e limpeza

Fonte: (HOFFMAN et al., 2011. <https://doi.org/10.1007/s12160-010-9248-7>.)

### 3.3 **FORD Reduz a Taxa de Lesão nas Linhas de Produção**

A postura de um indivíduo é comprometida durante todas as suas atividades corriqueiras, principalmente em atividades que envolvem o emprego de força braçal. Pensando

nisso, (DEARBORN, 2017) elaborou um processo de treinamento que antecipa o início das atividades de funcionários novos e assiste empregados já vinculados a empresa que atuam na manufatura dos automóveis, processo que inclui o manuseio de peças de grande porte. Tal proposta envolve a utilização da Realidade Virtual na simulação do esforço físico necessário na montagem do veículo. Trata-se de uma iniciativa para reduzir e prevenir a fadiga, tensão e lesões em funcionários (Figura 18).

A solução apresentada por Dearborn (2017), contemplou uma redução na taxa de lesões em 70% em toda a empresa, representando mais de 50.000 ‘atletas industriais’, ou seja, indivíduos que realizam trabalhos braçais. Além da prevenção, a iniciativa evidenciou melhorias que podem ser realizadas no próprio ambiente de produção, garantindo a segurança dos funcionários e uma melhor produtividade. Este resultado foi obtido graças a associação de três tecnologias:

- ❑ Captura de movimento em tempo real por meio de marcadores anexados ao corpo dos experimentadores;
- ❑ Impressão 3D utilizada para simular a montagem do produto e avaliar o espaço onde se dá o processo;
- ❑ Capacete de realidade virtual para imersão visual completa;

Na execução do treinamento virtual, o usuário é imerso em um ambiente virtual, por meio de um capacete, permitindo a visualização na mesma perspectiva que o operador experimentará na montagem real. Tudo isso é associado a um rastreamento dos segmentos do corpo por meio de marcadores anexados em dispositivos vestíveis enquanto o funcionário simula a montagem manuseando a peça impressa tridimensionalmente. Assim, foi possível acompanhar de forma precisa o impacto das atividades realizadas na postura, bem como as partes do corpo mais sobrecarregadas, momentos onde o alinhamento do corpo estava mais precário e como isso poderia ser melhorado.

A utilização de rastreadores e marcadores associados concede uma condição de rastreamento capaz de identificar a posição dos membros do corpo envolvidos no processo e a geração de dados precisos para comprovar a contribuição do trabalho. No entanto, a proposta do correlato dispensa a entrega de informações ao experimentador, o qual deve atuar sobre o experimento de forma convencional, ignorando qualquer dispositivo que o distancie de um contexto de trabalho real. O correlato deixa evidente que a utilização de rastreadores precisos são suficientes na avaliação postural de um indivíduo e que essa abordagem pode ser somada a utilização de um capacete de imersão, o qual pode apresentar dados ligados ao desempenho postural de um usuário, oferecendo ainda contribuições sensíveis por expressar informações, inacessíveis sem a utilização de dispositivos específicos, que enriquecem a percepção de quem as visualiza.



Figura 18 – Treinamento para Manufatura

Fonte: (DEARBORN, 2017)

### 3.4 Análise de Equilíbrio Postural utilizando Plataforma de Força

Estima-se que 15 milhões de pessoas sofram algum tipo de derrame por ano, sendo que 5 milhões falecem, 5 milhões adquirem invalidez e o restante trabalha na recuperação motora. Este processo de recuperação exercita, principalmente, os membros superiores no intuito de devolver ao paciente equilíbrio e estabilidade. Este correlato apresenta uma solução de treinamento que associa Realidade Virtual e atividades motoras voltadas para os membros superiores, onde o usuário interage com o Microsoft Kinect sobre uma plataforma de força (Figura 19).

A utilização do Kinect se dá pela necessidade de captura de pontos do corpo, o que é possível por meio deste equipamento, o qual é dotado de sensores de profundidade infravermelho, capazes de identificar objetos tridimensionais por meio de uma projeção frontal. Neste correlato, o paciente é apresentado a um ambiente tridimensional e deve capturar objetos dispostos em três prateleiras divididas em intervalos de altura, exigindo movimentos com amplitude de 60, 90, 120 e 150 graus com os braços esticados, parâmetros que podem ser definidos pelo fisioterapeuta de acordo com as limitações e necessidades do paciente. A tecnologia se mostra suficiente em contextos onde grandes amplitudes devem ser alcançadas, no entanto, são limitadas às posturas de interação, uma vez que a projeção de infravermelho para detecção de pontos é frontal e, nesse caso, a oclusão pode ser um problema. No contexto de análise dos movimentos executados, também se mostrou interessante capturar os ângulos articulares e velocidade de movimento. A apresentação de informações em tempo real ao paciente foi um aspecto determinante na validação da ferramenta, pois os resultados entre a realização da proposta com olhos fechados e com o



uso da Realidade Virtual foram discordantes.

Uma das principais contribuições encontradas aqui por Postolache (2016) é a utilização da plataforma de força usada simultaneamente com sensor de movimento. Esta mesma plataforma contempla uma análise postural mais completa ao mensurar oscilações na postura ortostática (em pé) e a distribuição de peso em cada pé. Um gráfico foi gerado da descarga gravitacional do corpo durante o treinamento, evidenciando pontos de instabilidade e diferentes limitações de movimento que comprometem o equilíbrio do indivíduo. A plataforma foi desenvolvida com capacidades de comunicação Bluetooth possibilitando uma análise baseada em avaliações instantâneas do centro de gravidade do indivíduo.



Figura 19 – Interface Gráfica do Sistema

Fonte: (POSTOLACHE et al., 2016)

### 3.5 Sistema de Reabilitação Baseada em Técnicas de Captura de Movimento Para Tratamento da Lombalgia Mecânica

Em Damasceno (2013) encontra-se uma solução voltada para reabilitação motora, de forma a ajudar pacientes a superarem alguma desordem ou deficiência, lombalgia mecânica nesse caso. Assim como grande parte de trabalhos relacionados a atividades físicas demandam, a captura de movimentos dessa solução foi feita por meio de marcadores em um framework de Realidade Aumentada. O objetivo principal seria validar a possibilidade de utilização da tecnologia mencionada em terapias clínicas, validando as diversas condições de aplicação da Realidade Aumentada neste cenário (Figura 20).

O processo de captura de movimentos, apesar de ser usado muito frequentemente em trabalhos com intuito cinematográfico, é uma tecnologia que também pode ser usada para

assistir atletas em diversas formas de treinamento. No trabalho relatado, a tecnologia utilizada é a captura por meio ótico, que apresenta custo reduzido e desenvolvimento acessível. Devido à natureza do trabalho, a qual envolve diversas posturas e movimentos, foram adotadas duas formas distintas de rastreamento: marcadores de RA e Kinect, cada uma sendo utilizada quando favorável ao exercício.

Ficou evidenciada a importância da escolha da abordagem de captura de movimentos, pois cada uma apresenta vantagens e desvantagens que devem ser consideradas e adaptadas para um melhor funcionamento da solução desenvolvida. Observou-se que a captura sem marcadores, por meio do Kinect, apesar de possibilitar mais mobilidade, apresentou baixa confiabilidade por identificar pontos no corpo de forma automática e estimada, enquanto a captura por meio de marcadores apresentou menor flexibilidade por depender de um conjunto de câmeras e um paciente bem posicionado para um melhor registro de informações, mas entregou maior confiabilidade e precisão nos dados. Ainda com relação à captura de movimentos, por se tratar de uma solução que envolve a coluna, o Kinect se mostrou insuficiente na identificação precisa dos ângulos alcançados na execução dos exercícios devido à carência de pontos detectados no corpo e precisão comprometida, perdendo para os marcadores que são flexíveis e precisos se aplicados em condições favoráveis de registro de imagens.

A partir da identificação de diferentes sensações de conforto experimentadas pelos usuários e os diferentes níveis de precisão dos dados adquiridos a partir da captura de movimentos, fica evidente a necessidade de se avaliar o objetivo da aplicação para a seleção da tecnologia a ser utilizada. Pode ser necessário comprometer o conforto do paciente para a obtenção de melhores resultados, pois precisão é um aspecto fundamental no reconhecimento postural e um posicionamento questionável pode prejudicar a contribuição de uma proposta reabilitativa. Relacionando as descobertas do correlato à proposta deste trabalho, fica evidente a necessidade de utilização de métodos de rastreamento mais exatos, uma vez que posicionamentos estimados e restrições de movimentação não são limitações bem recebidas em terapias posturais, onde a qualidade do movimento reflete sobre o resultado e a melhora pode ser avaliadas por meio de unidades de medida mais precisas.

### **3.6 Posturografia Com Estímulos de Realidade Virtual em Adultos Jovens Sem Alterações do Equilíbrio Corporal**

Buscando analisar a relação entre estímulos visuais e posturografia, o estudo de (GHIRINGHELLI; GANANÇA, 2011. <https://doi.org/10.1590/S2179-64912011000300013>.) envolveu a execução, por parte dos voluntários, de movimentos de deslocamento do corpo em sentido ântero-posterior e lateral enquanto os envolvidos recebiam informações visuais

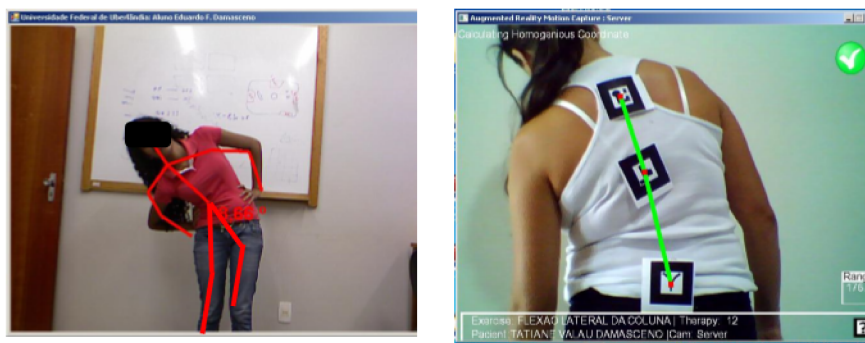


Figura 20 – Usuário Realizando a Extensão de Coluna

Fonte: (DAMASCENO et al., 2013)

por meio de um capacete de imersão.

A técnica utilizada, intitulada posturografia, consiste em qualquer estudo que avalie a oscilação do corpo, fornecendo informações que contribuem para a manutenção do equilíbrio. Por meio da associação do método à Realidade Virtual, é possível identificar manifestações relacionadas ao desequilíbrio, contribuindo assim para a reabilitação vestibular, já que a tecnologia permite a manipulação das informações visuais que são entregues ao paciente.

Os testes conduzidos envolveram diferentes estímulos visuais (olhos abertos, fechados, estímulos visuais específicos), sendo que os estímulos específicos recriavam versões estabilizadas de situação do mundo real e objetos que se moviam de acordo com movimentos da cabeça, no intuito de se estimular o sistema vestibular. Por meio do processo comparativo, comprovou-se a possibilidade de detecção de disfunções vestibulares e manipulação da percepção da postura, sendo que alterações nos valores de oscilação podem ser relevantes no acompanhamento e tratamento de distúrbios de equilíbrio corporal. Ao mesmo tempo, foi confirmada a hipótese da influência da visão sobre a postura, uma vez que os resultados obtidos entre a experimentação com olhos fechados e abertos foi notável.

Sem estímulos visuais, em uma superfície fixa, o desvio padrão registrado foi de 1,83, enquanto uma mesma atividade realizada por meio de estímulos visuais artificiais apresentou desvio padrão de 1,30. O coeficiente de variação encontrado pela experimentação com olhos fechados foi de 79,7%, enquanto o mesmo dado encontrado pela experimentação com os olhos abertos foi de 59,7%. Outros dados comparativos utilizados comprovaram a diferença de desempenho entre as duas formas de execução da tarefa proposta. Por fim, os resultados indicaram que o método utilizado provê informações relevantes sobre o equilíbrio corporal, não apenas em termos diagnósticos, mas também para acompanhamento da evolução de patologias associadas.

### **3.7 Exercícios Fisioterapêuticos Específicos para Escoliose Idiopática Assistidos por Vídeo-game: Série de Casos e Introdução de Uma Nova Ferramenta para Melhorar a Motivação e Precisão na Execução de Exercícios**

A partir da importância de acompanhar o desenvolvimento de jovens com Escoliose idiopática por meio de fisioterapias e exercícios específicos, este correlato (WIBMER et al., 2016. <https://doi.org/10.1186/s13013-016-0104-9>.) objetiva o desenvolvimento de um jogo infantil utilizando o Game-Trak 3D, combinando posicionamentos adequados e jogos. O dispositivo utilizado é capaz de rastrear a posição de dois controladores vestíveis calculando a distância dos dois terminais da unidade principal do equipamento.

O trabalho associou o equipamento utilizado ao método Schroth de terapia postural voltada para o tratamento da Escoliose. Este método consiste na realização de exercícios assimétricos para compensar a curvatura anômala da coluna. Os exercícios envolvem o posicionamento correto, alongamento da coluna, rotação adequada da pelvis e da caixa torácica e autocorreções nos ombros. Essas atividades são somadas à respiração diafragmática para gerar tensão na caixa torácica e reduzir a rotação incorreta da caixa e da coluna.

Um total de 8 pacientes do sexo feminino, entre 7 e 13 anos, foram voluntárias no correlato e realizaram os protocolos elaborados durante um período de 6 meses. Um dos controles era utilizado no membro ativo e o outro era fixado no tronco do paciente para confirmar a rotação da coluna. O jogo foi dividido em três ambientes que apresentam obstáculos que devem ser atingidos e alvos que devem ser evitados.

Os resultados obtidos pelos autores envolvidos no trabalho comprovam que a utilização de interações virtuais em atividades fisioterapêuticas é capaz de estimular pacientes a darem continuidade ao tratamento da Escoliose. Somado a isso, a possibilidade de rastrear os principais membros utilizados em um exercício de tal natureza confere maior precisão e mais qualidade de execução. O estudo foi limitado a três variações de um dos métodos de tratamento da Escoliose. Radiografias realizadas após o término da terapia não mostraram reduções significativas na curva escoliótica e foi observado um declínio motivacional considerável entre os experimentadores durante os últimos meses de terapia devido a repetitividade da interface elaborada, a qual não demonstrava relação de progresso e evolução durante o exercício, se limitando somente ao tempo de execução da proposta e velocidade dos obstáculos. Outra limitação do trabalho envolve os graus de liberdade disponíveis, pois o jogo apenas permite interações bidimensionais. Os autores confirmam que exercícios voltados para tratamento da Escoliose envolvem posicionamen-

tos e informações tridimensionais. Assim, uma aplicação virtual capaz de melhorar um quadro de Escoliose deve permitir interações em três dimensões.

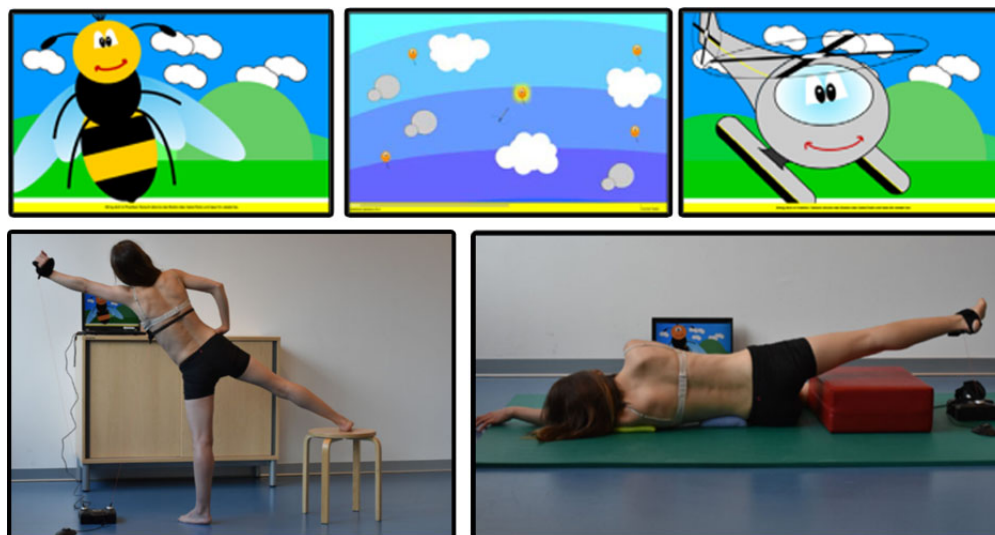


Figura 21 – Protocolo Schroth Interativo

Fonte: (WIBMER et al., 2016. <https://doi.org/10.1186/s13013-016-0104-9>.)

### 3.8 Estudo Comparativo dos Trabalhos Relacionados

A partir dos correlatos estudados, a Tabela 1 foi elaborada. Trazendo critérios diversos, a tabela apresenta uma comparação entre todos os trabalhos encontrados e a pesquisa desenvolvida, levando em consideração critérios alinhados aos objetivos aqui propostos. Dada a relação entre posicionamento e alinhamento postural (KLEINER; SCHLITTLER; SÁNCHEZ-ARIAS, 2011. <https://doi.org/10.34024/rnc.2011.v19.8382>.), “Rastreamento” é um critério indispensável em trabalhos que envolvem a captura e disponibilização de informações acerca do alinhamento postural. O critério de “Terapia Corretiva ou Preventiva” trata de uma das principais abordagens que objetivam a redução dos sintomas decorrentes da Escoliose, enquanto o critério “Contribuição Sensitiva” está relacionado a expressão de informações visuais capazes de contribuir com a percepção postural do usuário. Com a importância da disponibilidade de dados capturados para obter melhores condições de treinamento, o critério “RV Imersiva” agrega uma tecnologia necessária, assim como o critério “RV Imersiva no Tratamento da Escoliose”, o qual situa o recurso tecnológico na esfera da pesquisa. Um total de seis trabalhos correlatos foram apresentados e estarão dispostos na tabela pela ordem de exposição nas seções anteriores.

Tabela 1 – Tabela Comparativa dos Trabalhos Correlatos

<b>Critério/ Trabalho</b>	<b>Rastreamento</b>	<b>Terapia Corretiva ou Preventiva</b>	<b>Contribuição Sensitiva</b>	<b>RV Imersiva</b>	<b>RVI no Tratamento da Escoliose</b>
Hoffman (2011)			V	V	
Dearborn (2015)	V	V			
Postolache (2015)	V	V			
Damasceno (2013)	V	V			
Ghiringhelli (2011)			V	V	
Wibmer (2016)	V	V	V		
Moraes (2022)	V	V	V	V	V

### 3.9 Considerações Finais

A investigação bibliográfica realizada sugere que a combinação da Realidade Virtual Imersiva com monitoramento de informações relacionadas à postura (KLEINER; SCHLITTLER; SÁNCHEZ-ARIAS, 2011. <https://doi.org/10.34024/rnc.2011.v19.8382>.) deve ser capaz de entregar melhores condições de treinamento reabilitativo, uma vez que existem obstáculos que comprometem a permanência de pacientes no tratamento físico (JACK et al., 2010. <https://doi.org/10.1016/j.math.2009.12.004>.). Além disso, a referida associação pode reduzir taxa de desistência e ainda potencializar resultados.

Porém, apesar da diversidade de trabalhos encontrados que fazem uso de ambientes virtuais interativos associados a atividades motoras, não foi identificado, até o momento, nenhum artigo que direcione a tecnologia mencionada para terapias posturais. Ainda no contexto da tecnologia utilizada, nenhum trabalho encontrado integrava dispositivos de imersão e rastreamento tridimensional na concepção de uma solução que atua em um quadro de Escoliose.

A pesquisa realizada aqui e o conjunto de trabalhos relacionados sugerem que a combinação de dispositivos aqui proposta, somada ao desenvolvimento de um ambiente com interações específicas e direcionadas para treinamentos biomecânicos, pode ser capaz de entregar um modelo de terapia postural e reabilitativa melhorado, agregando benefícios como maior eficiência, mais comodidade e, conseqüentemente, melhores resultados.

---

# Arquitetura do Sistema e Protocolo Proposto

## 4.1 Introdução

Conforme apresentado no capítulo anterior, uma associação entre técnicas e dispositivos de Realidade Virtual Imersiva podem colaborar na prevenção e tratamento de Escoliose. Diante disto, este capítulo apresenta uma proposta de um sistema computacional projetado para este fim, ou seja, com o intuito de colaborar com rotinas fisioterapêuticas voltadas para melhorias posturais em Escoliose. Para tanto, um motor de jogos capaz de se comunicar com diversos dispositivos de interação foi utilizado, possibilitando a elaboração de tarefas adaptadas a um quadro de alinhamento postural. Ao mesmo tempo, é esperada a possibilidade de manipulação de informações visuais entregues ao usuário para tornar o processo de recuperação mais atrativo e conferir melhores condições de resultados.

Assim, este capítulo apresenta o processo de concepção da aplicação, bem como os recursos utilizados, requisitos de funcionamento, critérios de seleção dos dispositivos envolvidos na utilização do sistema e as demandas funcionais que adequaram o conjunto à pesquisa que foi desenvolvida.

## 4.2 Requisitos Funcionais (FR)

Esta seção apresenta os principais requisitos funcionais identificados para a elaboração do sistema proposto. Lembra-se que requisitos funcionais são aqueles representam as necessidades, características ou funcionalidades esperadas em um processo que podem ser atendidos pelo software. Os requisitos foram definidos a partir das descobertas dos correlatos e das demandas de hardware e software detectadas para a execução do sistema proposto.

De forma geral, um requisito funcional expressa uma ação que deve ser realizada através do sistema, ou seja, um requisito funcional é “o que sistema DEVE fazer”.

- ❑ FR01: Rastrear a posição das mãos e do capacete vestido associando esses dados às coordenadas do ambiente virtual;
- ❑ FR02: Apresentar dados relacionados ao centro de gravidade do usuário a partir da utilização da plataforma de força;
- ❑ FR03: Apresentar as informações entregues por cada um dos dispositivos utilizados no campo de visão do usuário ao término de cada experimentação;
- ❑ FR04: Adequar a interface e o processo interativo às características anatômicas de cada usuário;
- ❑ FR05: Gerar um arquivo de texto que compreende informações, já alinhadas à proposta, de cada dispositivo utilizado durante toda a experimentação;
- ❑ FR06: Permitir a customização de parâmetros que definem o comportamento dos objetos envolvidos no processo interativo;
- ❑ FR07: Permitir a calibragem da interface durante a execução da aplicação e imediatamente antes da experimentação;

### 4.3 Requisitos Não Funcionais (NFR)

Por outro lado, os requisitos não funcionais podem ser definido como “de qual maneira o sistema deve fazer”. A seguir são apresentados os requisitos não funcionais identificados para a aplicação proposta.

- ❑ NFR01: O Software deverá ser executado em computadores com sistema operacional Windows;
- ❑ NFR02: A aplicação deverá ser executada a uma taxa de atualização mínima de 60fps para mais conforto visual durante o processo interativo;
- ❑ NFR03: O computador deverá ter suporte à comunicação via Bluetooth para comunicação com a Balance Board;
- ❑ NFR04: O computador deverá ter uma configuração mínima para a execução de aplicações de Realidade Virtual Imersiva:
  - Placa de Vídeo GTX 1060 ou superior;
  - Mínimo de 8 GB de memória RAM;



- Processador Intel Core I5 ou superior;
- NFR05: O sistema deve ser utilizado dentro de uma área mínima de 2m x 1,5m, assim como é recomendado pela documentação o Sistema de Realidade Virtual HTC Vive (VIVE, 2018);

## 4.4 Dispositivos e Recursos Utilizados

A partir dos trabalhos apresentados anteriormente, fica evidente a importância do uso de dispositivos específicos na construção de um ambiente interativo completo e capaz de contribuir com cenário de treinamento já existente. O isolamento do sentido da visão se mostrou indispensável para o aproveitamento dos benefícios psicológicos entregues pela RV, principalmente na redução da dor. Assim, o capacete de Realidade Virtual do kit HTC Vive foi selecionado por ser capaz de reproduzir um ambiente virtual preciso e visualmente imersivo. Com relação ao rastreamento do corpo no ambiente para auxiliar pacientes, novamente, o Vive foi utilizado por possuir em sua coleção de dispositivos dois controles sem fio que, assim como o capacete, tem seu posicionamento rastreado em tempo real, o que possibilita a elaboração de diversas interações que envolvem movimentação e posicionamento (VIVE, 2018).

Apesar de ser um dispositivo frequentemente utilizado em trabalhos que envolvem atividades reabilitativas, os requisitos do sensor Kinect não atendem a demanda do projeto aqui desenvolvido. A tecnologia do sensor mencionado trabalha com raios infravermelhos para identificar, de forma estimada, pontos específicos do corpo. Essa forma de rastreamento não apresenta precisão suficiente, uma vez que até a vestimenta pode comprometer a leitura dos dados (DAMASCENO et al., 2013). A utilização do Kinect em contextos reabilitativos também é condenada em (SHUM et al., 2013. <https://doi.org/10.1109/TCYB.2013.227594> trabalho no qual um framework foi desenvolvido no intuito de reconstruir o sistema de identificação de pontos do corpo. O autor conseguiu melhorar a experiência com o dispositivo, mas ainda sem acurácia suficiente para acusar o dispositivo como confiável para aplicações que demandam maior nível de precisão.

Como mencionado anteriormente, pesquisas relacionadas a postura evidenciam também a importância de se registrar dados relacionados ao equilíbrio e força aplicada pelos membros responsáveis pela manutenção da postura. Assim, foi utilizada uma plataforma desenvolvida pela Nintendo, o Balance Board, composta por quatro balanças individuais que apresentam condições para análise postural por meio de métodos estabilográficos (MIYAMOTO, 2017).

Com a pesquisa realizada, o Motor Gráfico selecionado para gerenciar as interações com o ambiente 3D foi a Unity 3D. A escolha do motor foi realizada com base na necessidade de combinação de dispositivos e entrega de informações visuais de qualidade. A Unity permite a utilização dos dispositivos mencionados anteriormente de forma combi-

nada, dando liberdade para o desenvolvedor elaborar um ambiente virtual interativo da forma que for mais conveniente para a pesquisa. Outro aspecto definitivo para a escolha da Engine é a Asset Store, uma biblioteca de recursos criados pelos membros da comunidade e publicados na loja. É disponibilizada uma combinação de recursos gratuitos ou de baixo custo que podem ser baixados diretamente pela interface da Engine e atribuídos ao projeto que está sendo desenvolvido. Existem vários tipos de recursos disponíveis, desde texturas e modelos até exemplos completos de projetos (UNITY, 2018).

#### 4.4.1 Linguagem de Programação

A engine escolhida dá suporte à diversas linguagens de programação, como JavaScript, UnityScript, Boo e CSharp (UNITY, 2018). Entre as opções disponíveis, a escolhida foi o CSharp. Desenvolvida pela Microsoft, o CSharp é uma linguagem orientada a objeto e fortemente tipada, permitindo que desenvolvedores criem aplicações com segurança. Com uma sintaxe expressiva e simplificada, é instantaneamente reconhecível para quem está familiarizado com o C, C++ ou Java. Além disso, ela simplifica complexidades presentes no C++ e fornece recursos inexistentes na linguagem Java. Por oferecer suporte a tipos e métodos genéricos, proporciona mais segurança e desempenho. Também pode interagir com outros softwares e bibliotecas Windows, sistema operacional alvo do trabalho aqui desenvolvido (DOCS, 2018).

No contexto específico de programação em Motores Gráficos, o trabalho em (WIHLIDAL, 2006) defende a utilização do CSharp. A linguagem utiliza a plataforma .NET e entre os benefícios dessa dependência está a velocidade de finalização de aplicações, desenvolvimento rápido devido a excelente IDE disponível, fácil utilização de bibliotecas e DLLs, entre outros. Ferramentas disponíveis melhoram o fluxo de trabalho e, no geral, o tempo de desenvolvimento é reduzido e pode ser melhor distribuído entre as tarefas que envolvem o desenvolvimento de ambientes virtuais interativos.

#### 4.4.2 Biblioteca WiiBuddy

A plataforma de força Balance Board, desenvolvida pela Nintendo, utilizada neste trabalho não possui compatibilidade nativa com o sistema operacional utilizado. Trata-se de um dispositivo utilizado por dispositivos específicos da fabricante. No entanto, a plataforma utiliza comunicação sem fio Bluetooth para conectividade. Esse recurso permite a conexão com dispositivos dotados da mesma tecnologia, mas sem acesso nativo aos dados de entrada. Diante desse cenário, um membro da comunidade Unity disponibilizou um recurso chamado “WiiBuddy” para desenvolvedores capaz de conectar dispositivos da fabricante da plataforma ao projeto desenvolvido dentro da Engine.

Este recurso conta com mais de 70 funções, uma API completa, trabalha com a linguagem CSharp e entrega acesso à todos os dados capturados durante a utilização de algum

dos instrumentos compatíveis. A atual versão do recurso funciona no Windows 10, 64 bits com documentação e funções específicas para cada um dos dispositivos suportados. A plataforma de força, combinada com o recurso apresentado nessa sessão, retornam os seguintes dados (BITLEGIT, 2018):

- ❑ Peso, em quilogramas, depositado em cada um dos sensores da plataforma;
- ❑ Dados, sem tratamento e conversões, de cada um dos sensores;
- ❑ Distribuição de peso na forma de dados cartesianos;
- ❑ Peso total depositado sobre a plataforma;

### 4.4.3 Biblioteca SteamVR

Assim como a necessidade de utilização de bibliotecas para integrar a plataforma de força ao motor, o Kit de Realidade Virtual utilizado, HTC Vive, também demanda a adição de funções e recursos que possibilitam a entrega de dados ao projeto desenvolvido. Portanto, um recurso disponível gratuitamente pela comunidade do motor gráfico foi utilizado, o SteamVR. O ativo compreende um SDK com interface única e funciona com grande parte dos capacetes imersivos disponíveis no mercado. Ele provém acesso aos controles rastreados, renderização de modelos para os dispositivos envolvidos e rastreamento para o capacete (VALVE, 2018).

A utilização do recurso, além de acelerar o desenvolvimento, entrega facilidades no desenvolvimento como um todo. Exemplos disponíveis facilitam a compreensão dos componentes que envolvem o ativo e o SDK dispensa a necessidade de “Building” para testar o projeto desenvolvido, uma vez que é possível pré-visualizar o conteúdo, de forma imersiva, na interface de desenvolvimento do motor gráfico.

## 4.5 Arquitetura do Sistema

Baseada no conjunto de dispositivos e na comunicação de todos os agentes envolvidos, a Figura 22 ilustra o funcionamento e a arquitetura do sistema desenvolvido.

Enquanto o usuário interage com a aplicação, simultaneamente, o capacete para imersão visual, os controles conduzidos pelas mãos e a Balance Board estarão capturando dados e permitindo modificações no ambiente virtual. O capacete virtual, além de entregar o feedback visual, define o ponto de origem do raio que é disparado da cabeça do usuário que, por sua vez, deve direcioná-lo para o alvo na cena. Os controles rastreáveis por infravermelho capturam a posição das mãos durante toda a interação, enquanto a Balance Board define a distribuição de peso. A distribuição de peso é representada na cena por meio da angulação da barra de equilíbrio que está adjacente ao alvo. O conjunto de

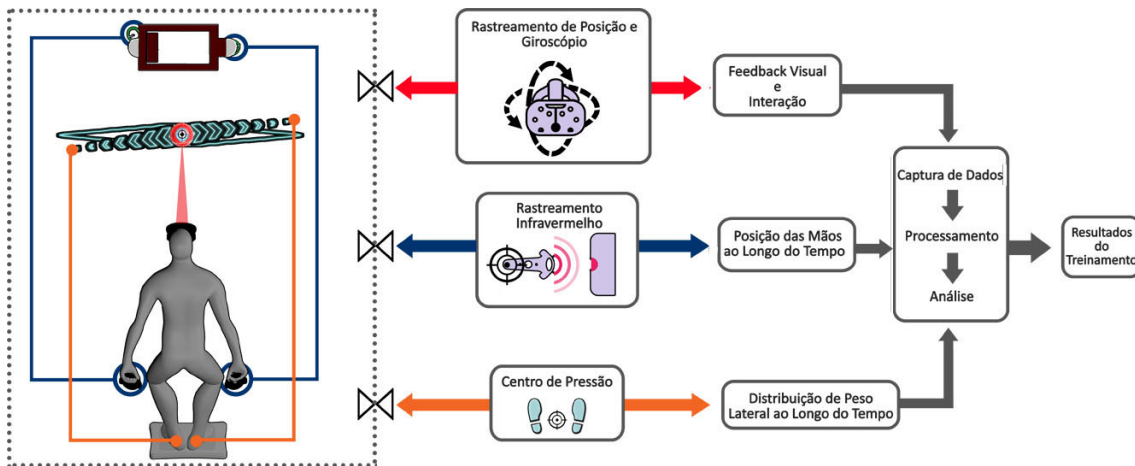


Figura 22 – Arquitetura do Sistema

Fonte: Autoria Própria

todos os dados capturados durante a interação com a aplicação são processados e salvos para a análise.

## 4.6 Ambiente Virtual

A realização de todas as tarefas acontecem no contexto de um único ambiente virtual, elaborado de forma a comportar as diversas interações desenvolvidas (Figura 23). No intuito de evitar a entrega de uma carga excessiva de informações, o ambiente virtual não apresenta significativa quantidade de objetos virtuais e todos os agentes visualmente identificáveis na cena referem-se a algum aspecto da interação. A configuração visual e física do ambiente é neutra com a finalidade de afastar o usuário de um possível contexto reabilitativo e direcionar sua atenção para as interações propostas. Os objetos virtuais, objetos de interface e configuração de iluminação da cena são diferentes para cada tipo de interação proposta, de forma a estarem mais alinhadas ao exercício que está sendo executado.

O sistema foi desenvolvido considerando futuras implementações e módulos. Assim, a solução pode ser adaptada para outras posturas isométricas que consideram estabilidade das mãos, sem novas demandas de implementação.

## 4.7 Protocolo

Para validar os benefícios esperados a partir da associação tecnológica proposta, um protocolo que compreende duas autoposturas foi elaborado para as experimentações. O protocolo consiste na manutenção de duas autoposturas, as quais são utilizadas em te-

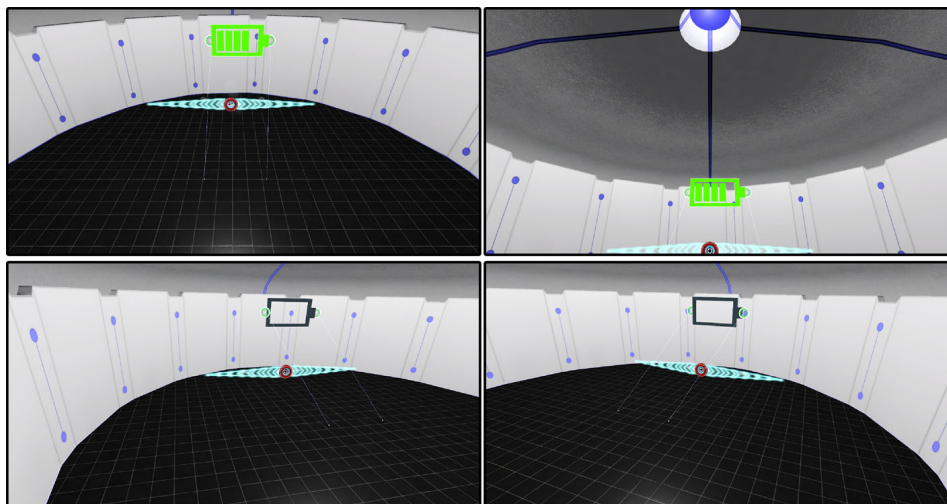


Figura 23 – Ambiente Virtual

Fonte: Autoria Própria

rapias específicas de correção postural, e mantidas até que o voluntário expresse algum tipo de cansaço ou desconforto devido à ativação muscular. Durante esse processo, o voluntário estará sobre uma plataforma de força e terá os controles com rastreadores em mãos todo o tempo. A câmera opera em primeira pessoa e o personagem está posicionado no centro do ambiente.

Enquanto a plataforma de força a captura de dados relacionados ao centro de pressão e distribuição de peso sob os eixos látero-lateral/ ântero-posterior, os controles possibilitam o rastreamento em tempo real da posição das mãos e, conseqüentemente, a estabilidade e simetria dos membros rastreados.

O conjunto de exercícios selecionados e utilizados nesse trabalho é apresentado na Figura 24 e compreende as seguintes auto posturas: Bailarina em Pé (i) e Bailarina Sentada (ii). (SOUCHARD et al., 2009. [https://doi.org/10.1016/S1283-078X\(09\)70207-X](https://doi.org/10.1016/S1283-078X(09)70207-X)),

Ambas as posturas valorizam e priorizam a simetria para uma ativação muscular equivalente. A utilização de alongamentos e fortalecimentos assimétricos para a correção da curvatura anômala são, frequentemente, mencionadas na literatura e representam umas das várias abordagens no tratamento da Escoliose. No entanto, a eficácia de abordagens tradicionais que usam posturas simétricas para mobilização do tronco é comprovada em (DOBOSIEWICZ et al., 2002) e também confere melhores resultados quando utilizadas em conjunto com outras abordagens corretivas e preventivas (KO et al., 2018. <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000013336>). Nesse sentido, os controles rastreáveis conduzidos pelo participante deverão evidenciar a simetria postural durante a manutenção da autopostura, uma vez que a posição destes controles será diretamente afetada pelo posicionamento dos membros superiores que, por sua vez, são diretamente afetados pela

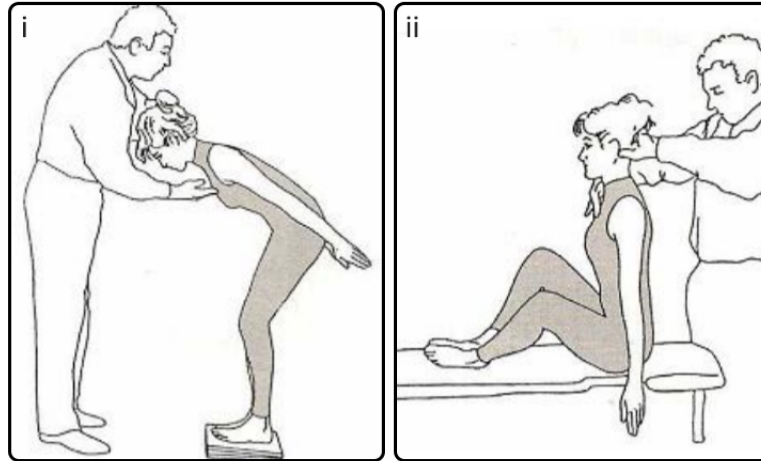


Figura 24 – Posturas Utilizadas

Fonte: Adaptado de (SOUCHARD et al., 2009. [https://doi.org/10.1016/S1283-078X\(09\)70207-X](https://doi.org/10.1016/S1283-078X(09)70207-X).)

postura.

É importante salientar que as posturas abordadas nesse trabalho são utilizadas na Reeducação Postural Global, mas que esta é apenas uma das diversas abordagens que contribuem para tratamento da Escoliose. Apesar de não existir cura definitiva e métodos tradicionais não possibilitarem modificações sobre a estrutura óssea modificada pela patologia, ainda é possível reduzir o ângulo de Cobb (TAVARES et al., 2015), dor (CAVALCANTI et al., 2020) melhorar capacidades motoras, equilíbrio, coordenação (D'ARIO et al., 2015. <https://doi.org/10.4172/2165-7920.1000630>), e condições para a redução da curva escoliótica (DUPUIS et al., 2018. <https://doi.org/10.1186/s12891-018-2112-9>). Assim, este trabalho não objetiva reforçar a eficiência de nenhum método utilizado na prevenção e correção da curva escoliótica, mas contribuir tecnologicamente com terapias que utilizam posturas isométricas no tratamento da Escoliose. Ainda no contexto de investigação da viabilidade dos aspectos tecnológicos utilizados nesse trabalho, duas posturas serão utilizadas, uma vez que não está entre os objetivos deste trabalho tratar os voluntários.

#### 4.7.1 Bailarina em Pé

Também chamada de “Asa Delta”, “Ballerina” ou “Postura Em Pé Com Inclinação Anterior”, a autopostura é direcionada ao tratamento da retração da cadeia muscular posterior (TEODORI et al., 2011). Inicialmente, o paciente deve ficar de pé com os maléolos internos em contato e os antepés separados formando um ângulo de aproximadamente 15 graus. Posteriormente, os joelhos são flexionados, geralmente com um ângulo de 25 a 30 graus, e o tronco é flexionado para frente. Adicionalmente, os braços podem ser estica-

dos e posicionados atrás do tronco, depositando o esforço muscular sobre as escápulas e tornando o exercício mais completo (MERCADO, 2018). A postura promove um fortalecimento da região torácica, lombar e estimula o equilíbrio muscular, além de reduzir a dor lombar por fortalecer e distribuir de forma adequada o esforço muscular (SOUCHARD et al., 2009. [https://doi.org/10.1016/S1283-078X\(09\)70207-X](https://doi.org/10.1016/S1283-078X(09)70207-X)).

A eficiência da postura Bailarina em Pé no tratamento da Escoliose é confirmada na literatura. (MOREIRA; SOARES, 2017) comprova que a prática diária da autopostura, em conjunto com exercícios voltados para melhoria postural, é capaz de manter melhorias obtidas por meio de terapias corretivas, alivia a lombalgia e ainda previne a reincidência do problema.

### 4.7.2 Bailarina Sentada

Também chamada de “Postura Sentada com Pernas Estendidas”, a Bailarina Sentada é uma autopostura que pode complementar terapias posturais por valorizar a estabilidade em outros conjuntos musculares se quando comparada à autoposturas realizadas em pé. A sua execução é semelhante ao que é proposto na postura Bailarina em Pé, no entanto, o praticante deve executar a manutenção da postura sentado sobre uma base firme. Esta autopostura permite insistência sobre a coluna vertebral, o alinhamento do quadril, joelhos e todo o esquema corporal (SOUCHARD, 2003).

## 4.8 Mecanismos de Interação

Em resumo, o monitoramento de três parâmetros definem o funcionamento do sistema desenvolvido e os mecanismos que sustentam a contribuição do sistema para as terapias que envolvem posturas isométricas no tratamento da Escoliose.

### 4.8.1 Capacete de Imersão

Confirmada a possibilidade de alteração da percepção da dor por meio de interações com um ambiente virtual (HOFFMAN et al., 2011. <https://doi.org/10.1007/s12160-010-9248-7>), a interação com o ambiente desenvolvido envolve o direcionamento correto de um raio virtual, com origem na posição do capacete. A ansiedade e a dor percebida devido à ativação muscular durante a realização de posturas corretivas, fatores que contribuem para a desistência do tratamento (THERAPY, 2017), devem ser reduzidas por meio do processo interativo elaborado, o qual distancia o usuário do contexto terapêutico. Assim, além do conforto, esse recurso tecnológico ainda pode refletir positivamente no desempenho do usuário.

### 4.8.2 Controles Rastreáveis

Devido às alterações na morfologia do trato spinocerebelar em indivíduos com Escoliose, competências proprioceptivas podem ser comprometidas (SHI et al., 2013. <https://doi.org/10.1016/j.spinee>). Nesse sentido, os controles rastreáveis devem contribuir com a capacidade de reconhecer a posição, orientação e localização espacial das mãos, uma vez que essa percepção é comprometida pela patologia. Esse prejuízo infere que existe uma dificuldade maior de manutenção da simetria postural. Espera-se que, por meio dos controles rastreáveis associados ao ambiente imersivo, seja possível compensar esse prejuízo cinestésico, quando presente, durante o processo terapêutico.

### 4.8.3 Plataforma de Força

Por fim, a plataforma de força que possibilita a confirmação da distribuição de peso látero-lateral, combinada com a imersão visual, deve entregar melhores condições de treinamento, uma vez que o controle de equilíbrio entre indivíduos com Escoliose é inferior quando comparado com indivíduos saudáveis (SIMONEAU et al., 2006. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-7-68>). Como a deformação na coluna aumenta a dependência e a pressão sobre a cinestesia dos tornozelos e dificulta a manutenção das oscilações do corpo (ASSAIANTE et al., 2012. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0040646>), a distribuição de peso depositada sobre os pés deve ser mais discrepante. Assim, a plataforma de força deve contribuir com a percepção cinestésica dos usuários e enunciar esse aspecto da qualidade postural.

## 4.9 Processo Interativo

Utilizando o capacete mencionado, os participantes estarão imersos visualmente no ambiente virtual e deverão reproduzir as duas posturas mencionada acima, mas dentro de um contexto interativo, no qual, simultaneamente ao exercício, deverão também atingir objetivos, que foram elaborados de acordo com o foco de cada uma das auto posturas. Ao mesmo tempo, a interface desenvolvida apresentará, em tempo real, a posição das duas mãos rastreadas e a posição do centro de gravidade do participante durante a execução das duas posturas.

Ao realizar as posturas, o participante deve tentar alinhar os braços dando atenção à simetria dos membros para que a ativação muscular seja feita de forma adequada. Porém, com o cansaço, o participante tende a deslocar seus membros superiores involuntariamente e, conseqüentemente, perder o alinhamento adequado. Nesse contexto, dois objetos esféricos de cor verde são renderizados na cena e posicionados de acordo com a posição inicial dos controles mantidos pelo participante. Ao mesmo tempo, dois objetos semelhantes de cor branca são renderizados no mesmo local. Esses objetos esféricos de cor branca são estáticos, não acompanham os movimentos das mãos e são usados como ponto de referên-



cia para a postura inicial. Um objeto representado visualmente como um arco elétrico, apresentado na frente do participante, associa a posição das mãos do participante aos objetos esféricos de cor verde para contribuir com o sistema proprioceptivo do paciente.

Portanto, o participante pode monitorar a posição inicial dos braços ao longo de todo o experimento e realizar ajustes sempre que possível (Figura 25). Os mesmos elementos também podem ser usados pelo terapeuta que acompanha a sessão para orientar o participante.

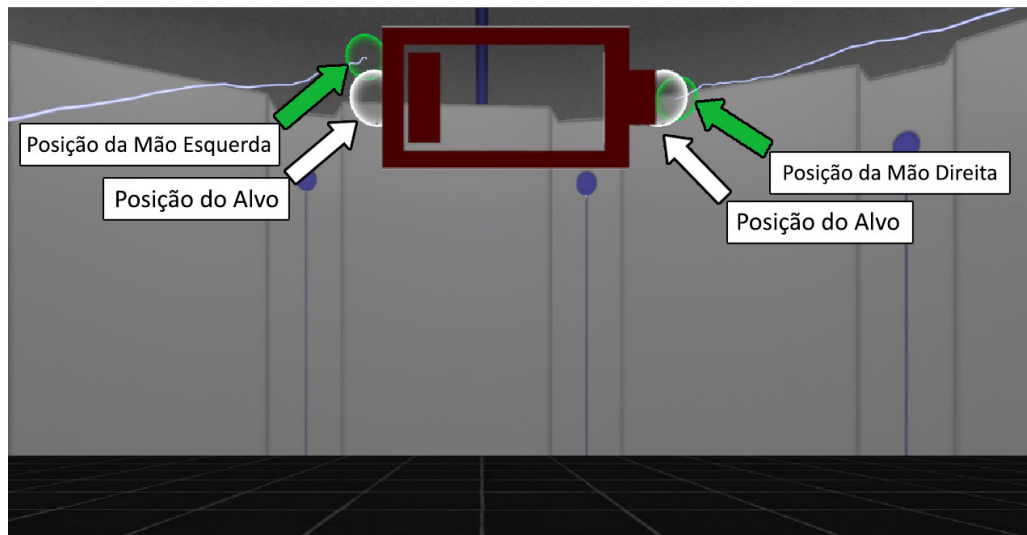


Figura 25 – Representação da posição das mãos no Ambiente Virtual

Fonte: Autoria Própria

Um objeto virtual representado por uma bateria (Figura 25) reage quando o usuário atinge o alvo com um raio sequencial que, por sua vez, tem sua origem definida a partir da posição e da rotação do capacete. No ambiente virtual, o raio é disparado a partir do centro da testa do usuário. Assim, o participante pode direcionar o raio de acordo com a posição do alvo e interagir com o ambiente virtual.

Inicialmente, a iluminação do ambiente é desfavorável. Cada vez que o usuário atinge o alvo com o raio sequencial (Figura 26), a bateria é parcialmente carregada. Quando a bateria está totalmente carregada, o ambiente virtual reage, tornando as condições de iluminação mais favoráveis para a continuação do experimento e a bateria se esgota. A cada cinco acertos, a bateria é totalmente carregada e o usuário recebe um bônus com a possibilidade de intensificar e agilizar temporariamente a interação e melhorar as condições de iluminação do ambiente virtual com mais rapidez.

Vista a importância da distribuição de peso sobre o solo na melhora e avaliação da qualidade postural, os voluntários realizaram a manutenção da postura sobre a plataforma de força mencionada anteriormente e a distribuição de peso látero-lateral foi apresentada constantemente por meio de elementos de interface adjuntos ao alvo na cena. A metáfora

de interação desenvolvida converte dados referentes à distribuição de peso em parâmetros que definem a inclinação do elemento de interface posicionado horizontalmente no ambiente, o qual permanece com um ângulo raso, quando a distribuição de peso é ideal. Quando a distribuição de peso não é ideal, o objeto posicionado horizontalmente sofre alteração na sua rotação de acordo com a distribuição de peso em cada um dos lados da plataforma (Figura 26). Esta metáfora evidencia qual lado do corpo está recebendo mais atenção e para qual direção está a predominância de esforço muscular.

No intuito de promover mais intensidade e envolvimento com o objetivo da aplicação, efeitos de áudio foram combinados com o processo interativo. Os efeitos de áudio são reproduzidos pelo capacete e podem ser percebidos pelo usuário sem periféricos adicionais. Esses efeitos variam de acordo com a interação promovida pelo próprio usuário. Situações como acertos, acertos consecutivos, erros e objetivos alcançados disparam efeitos de áudio diferentes.

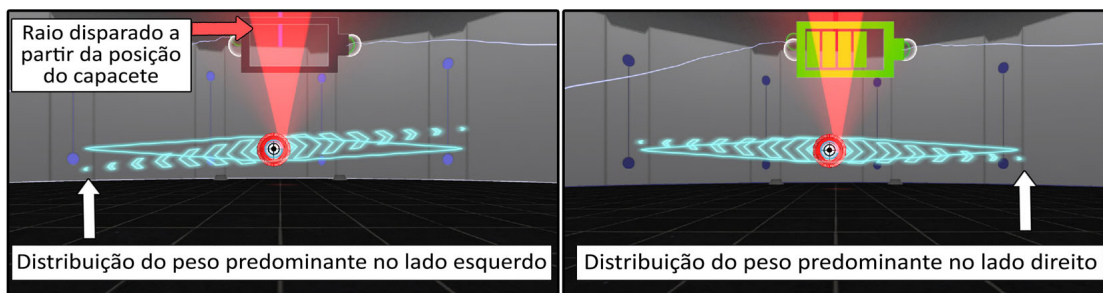


Figura 26 – Representação da distribuição de peso no Ambiente Virtual

Fonte: Autoria Própria

#### 4.9.1 Execução da postura Bailarina em Pé

O módulo de execução da postura Bailarina em Pé, assistido por RVI, assim como na execução tradicional da postura, valoriza uma postura estável, simetria e alinhamento correto do corpo. O raio sequencial, com origem na cabeça, deve redirecionar a atenção do usuário para a interação com o ambiente, enquanto a posição das mãos, rastreadas por meio dos controles, evidencia a simetria dos membros superiores e a estabilidade da postura. A plataforma de força, por sua vez, confirma a distribuição do peso do paciente durante a manutenção da postura.

#### 4.9.2 Execução da postura Bailarina Sentada

O módulo de execução da postura Bailarina Sentada, assistido por RVI, também assume os mesmos objetivos da execução da postura tradicional. Por meio da plataforma de força, também é possível confirmar a distribuição de peso látero-lateral e a estabilidade

postural enquanto sentado. A interação proposta neste módulo é semelhante ao módulo de postura em pé. O raio sequencial, com origem na cabeça, o rastreamento da posição das mãos e avaliação da distribuição de peso depositada sobre a plataforma permanecem presentes.

## 4.10 Detalhes da Implementação

Para que o conjunto de dispositivos utilizados fossem devidamente associados à proposta, foi necessário levar em consideração as diferenças anatômicas de cada participante e, para tanto, algumas funções específicas foram desenvolvidas.

### 4.10.1 Balance Board

Apesar da possibilidade de conexão da plataforma de força, por meio da comunicação Bluetooth e a aquisição de dados brutos, por meio de plugins especiais, mensurar o centro de gravidade a partir do peso depositados sobre o dispositivo demandou a criação de funções e adaptações dentro da própria Engine utilizada. Por se tratar de um motor gráfico virtual, o posicionamento de qualquer objeto é dado por meio de um sistema de coordenadas cartesianas tridimensionais, no qual um objeto tem três eixos principais (x,y,z), que representam as três direções do sistema. Assim, a identificação do ponto de concentração das forças aplicadas deverão seguir os parâmetros do sistema de coordenadas utilizado pelo motor.

Constatado o peso total, em quilogramas, aplicado sobre cada uma das balanças individuais da plataforma, é possível criar o vetor tridimensional (x,y,z) que representa o ponto de encontro dessas forças dentro de um sistema de coordenadas. A posição do centro de gravidade é disposta sobre um plano bidimensional. Por representar o parâmetro de profundidade da terceira dimensão do sistema de coordenadas adotado pela Unity3D, ao eixo 'Y' será atribuído o valor '0'.

Seja  $b_i$  o peso da  $i$ -ésima balança, com  $i = 1 \dots 4$ . Assim, a posição  $\mathbf{p} = [p_x \ p_y \ p_z]^T$  pode ser calculada a partir de (1):

$$\mathbf{p} = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{(b_1 + b_2) - (b_3 + b_4)}{\sum b_i} \\ 0 \\ \frac{(b_1 + b_3) - (b_2 + b_4)}{\sum b_i} \end{bmatrix} \quad (1)$$

As coordenadas anteriores foram descobertas para que fosse possível ajustar a rotação do foco de luz de acordo com a força aplicada sobre a plataforma. O eixo de rotação também é definido por meio de um vetor de três valores (x,y,z) e, neste trabalho, somente

dois eixos demandam manipulação. Assim, ao eixo 'x', parâmetro que define a rotação horizontal de um objeto, será atribuído o valor '0'. Com a adaptação, foi possível calcular a posição do COP em tempo real. No entanto, o registro do histórico da trajetória do COP, entre outros dados frequentemente utilizados em pesquisas relacionadas à postura, não foi possível.

### 4.10.2 Calibragem

Novamente, diferenças anatômicas implicam em maior diversidade interativa e a possibilidade de estabelecer diferentes configurações foi necessária. O correto posicionamento das mãos, dos braços e, conseqüentemente, ombros definem a qualidade do exercício. Assim, a partir do momento que o usuário estiver na autopostura de forma adequada, a função de calibragem é invocada pelo supervisor e a posição das mãos naquele mesmo instante passa a ser o alvo. Ao mesmo tempo, a interface de apoio é imediatamente redefinida, entregando informações ao usuário sobre o seu posicionamento e a posição correta das mãos dentro do espaço tridimensional, dado este que é definido a partir da posição inicial do usuário que, por sua vez, representa o “alvo” que deve ser alcançado. Essa possibilidade de configuração permite que indivíduos com características e competências posturais diferentes utilizem um mesmo sistema e define um destino para cada um dos membros rastreados de forma adequada para cada usuário.

O raio sequencial, que tem a sua posição definida em relação à posição da cabeça, é confirmado no momento de calibragem, assim como a correta posição das mãos. A partir do momento que o usuário se encontra em posição adequada, parâmetros que configuram o disparo do foco de luz sequencial (origem, destino, direção) são definidos. Nesse instante, a direção do raio estará completamente alinhada ao eixo de rotação da cabeça do usuário e o processo interativo estará alinhado ao objetivo da aplicação. Assim como o ajuste realizado na função de calibragem mencionado anteriormente, definir um alinhamento correto da cabeça a partir de uma posição inicial objetiva instruir e direcionar o usuário para um equilíbrio postural adequado.

## 4.11 Biofeedback

Assim como em soluções terapêuticas de biofeedback, onde existe a possibilidade de monitoramento de funções motoras e de treinamento por meio de um sistema que reflete processos biológicos de um indivíduo (VASILYEV; BORISOV; SYSKOV, 2019), este trabalho contempla ferramentas e funcionalidades compatíveis com tais mecanismos.

As técnicas de biofeedback apresentadas nesse trabalho possibilitam o monitoramento de atividades fisiológicas entregando informações ao usuário para que ele possa alterar atividades fisiológicas objetivando melhoria na saúde. Essas são características fundamentais em sistemas de biofeedback (GILBERT; MOSS, 2003. <https://doi.org/10.4135/9781452232607.n8>).

Entre funções características de biofeedback neste trabalho estão a possibilidade de manutenção e redução da dor por meio de estímulos visuais específicos e o monitoramento dos elementos rastreáveis em tempo real que permite correções posturais durante o processo terapêutico. Presume-se que esse conjunto de funções represente um facilitador para a manutenção das posturas utilizadas neste trabalho.

## **4.12 Considerações Finais**

Este capítulo apresentou o processo de construção do sistema, bem como as ferramentas envolvidas. O capítulo também justifica a seleção dos dispositivos utilizados relacionando os recursos disponibilizados por cada um deles às demandas do trabalho. Finalmente, foi apresentado o protocolo proposto para avaliar o sistema descrito no processo de tratamento da Escoliose. O próximo capítulo apresentará como se deu o processo de experimentação por meio da utilização do sistema desenvolvido.



---

# Experimentos

## 5.1 Introdução

Este capítulo detalha o processo de coleta de dados realizado com um grupo de voluntários, segundo protocolo aprovado por Comitê de Ética. Também são apresentados detalhes sobre as variáveis consideradas para a análise estatística.

## 5.2 Condições do Experimento

Uma vez confirmada a possibilidade de manipular a dor e o desconforto físico por meio de interações imersivas (HOFFMAN et al., 2011. <https://doi.org/10.1007/s12160-010-9248-7>.) e a importância de evoluir pacientes por meio de exercícios isométricos alinhados à uma postura adequada para a obtenção de melhores resultados (MENDRIN et al., 2016. <https://doi.org/10.1519/SSC.000000000000233>.), a combinação da interface imersiva interativa com os dispositivos vestíveis sugere a entrega de uma contribuição no cenário reabilitativo vigente. Nesse sentido, os dispositivos utilizados devem ser capazes de oferecer melhores condições de alinhamento postural, pois o usuário será capaz de visualizar e corrigir possíveis equívocos posturais por meio do rastreamento em tempo real, e maior possibilidade de evolução no que diz respeito à eficiência do exercício que está sendo executado, pois sua atenção estará voltada para as interações apresentadas de forma a isolar seu sentido visual e, conseqüentemente, distraí-lo do desconforto decorrente da ativação muscular.

Um total de 22 alunos de uma escola de ensino fundamental, localizada no município de Uberlândia-MG, participaram da pesquisa. Os participantes foram divididos, aleatoriamente, em dois grupos. O grupo experimental realizou o protocolo proposto utilizando o sistema imersivo desenvolvido, enquanto o grupo controle realizou o mesmo protocolo sem a assistência do sistema imersivo. Todas as sessões foram realizadas nas dependências da escola, durante as aulas de educação física e com um intervalo mínimo de 7 dias entre cada sessão. O aluno que não comparecesse à aula perderia a sessão.

A condução dos experimentos foi limitada aos horários disponibilizados pelo colégio, o que definiu a quantidade de sessões e a quantidade de voluntários. Todos os voluntários executaram um mínimo de 3 sessões. Alguns voluntários se ausentaram nos últimos dias do experimento e, por isso, o número de voluntários que fizeram 4 sessões é menor. Assim a análise dos dados deste trabalho contempla resultados obtidos após 3 sessões e uma análise comparativa entre a terceira e a quarta sessão, na forma de um follow up, envolvendo os alunos que fizeram um total de 4 sessões.

Esse estudo foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética da Universidade Federal de Uberlândia, Brasil (18605019.6.0000.5152). O consentimento informado foi obtido de todos os participantes individuais incluídos no estudo e dos responsáveis legais. Nenhum participante pode ser identificado e todos os dados coletados são absolutamente anônimos.

### 5.3 Participantes

Devido ao alinhamento de todos os experimentos com as aulas de educação física ministradas na escola onde o experimento foi realizado, existiram limitações relacionadas ao tempo e à disponibilidade de voluntários.

Um conjunto de 11 voluntários constituíram cada grupo, totalizando 22 voluntários no estudo. Como critério de inclusão, todos os participantes deveriam ter entre 11 e 13 anos. Essa faixa etária foi selecionada por representar um período crucial do desenvolvimento anatômico e, geralmente, é o período em que a maioria das pessoas é diagnosticada com Escoliose (TROBISCH; SUESS; SCHWAB, 2010. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2010.0875>). Os participantes foram divididos em dois grupos: i) Grupo Experimental (GE), que realizou o protocolo proposto com o auxílio do ambiente virtual; ii) Grupo Controle (GC), que executou os mesmos protocolos de reabilitação postural do GE, porém sem o auxílio do ambiente virtual. O GC também realizou os experimentos segurando os controladores monitorados à mão e em pé/sentado na plataforma de força para coletar informações sobre a estabilidade postural e permitir uma comparação adequada posteriormente. Os critérios de exclusão foram pessoas que já realizaram cirurgia de coluna ou qualquer procedimento que limite os movimentos, sinais de claustrofobia, labirintite, acrofobia ou tontura durante os experimentos com RV imersiva.

### 5.4 Preparação e Execução

Em cada sessão, os participantes foram posicionados na postura correta e foram solicitados a mantê-la pelo maior tempo possível. Assim que o participante confirmava que está pronto para iniciar, a sequência de captura de dados era iniciada. Por meio da



propriocepção, é difícil posicionar os braços simetricamente. Portanto, um processo de calibração é realizado antes da terapia.

Durante a calibração, os alvos, representados por esferas brancas, para cada mão são posicionados de acordo com a posição dos controles. Posteriormente, a posição dos alvos é definida simetricamente por meio de um ajuste que ajusta os alvos para cada mão em paralelo. A nova posição é encontrada através de pequenas mudanças nos eixos (X, Y, Z) de cada alvo, que são interrompidas quando ambos os alvos estão em paralelo no plano cartesiano. Esse processo começa no início do treinamento virtual e termina em um instante, sendo quase imperceptível para o usuário. Após a calibração ser concluída, o processo interativo começa imediatamente.

Os alvos de cada mão (esferas brancas) terão uma posição fixa na cena até o final do experimento. Simultaneamente, duas esferas verdes são renderizadas e posicionadas de acordo com a posição real de cada mão. O objetivo do usuário é sobrepor as esferas brancas fixas às esferas verdes, mantendo a posição definida no início do processo.

Conforme descrito, os dois grupos executaram as mesmas tarefas posturais: a) manter a postura de Bailarina em Pé até sentir qualquer dor ou desconforto (Figura 27 - direita); b) manter a postura de Bailarina Sentada até sentir alguma dor ou desconforto (Figura 27 - esquerda). Durante a execução das tarefas, os diversos dispositivos captaram a posição das mãos, a distribuição do peso e o centro de gravidade de cada participante. Os membros do grupo experimental realizaram as tarefas recebendo estimulação por meio da imersão visual e sonora no ambiente virtual. Ao mesmo tempo, o grupo deveria manter a postura necessária ao interagir com o ambiente, mantendo o correto alinhamento da coluna e das mãos com o auxílio dos elementos virtuais.

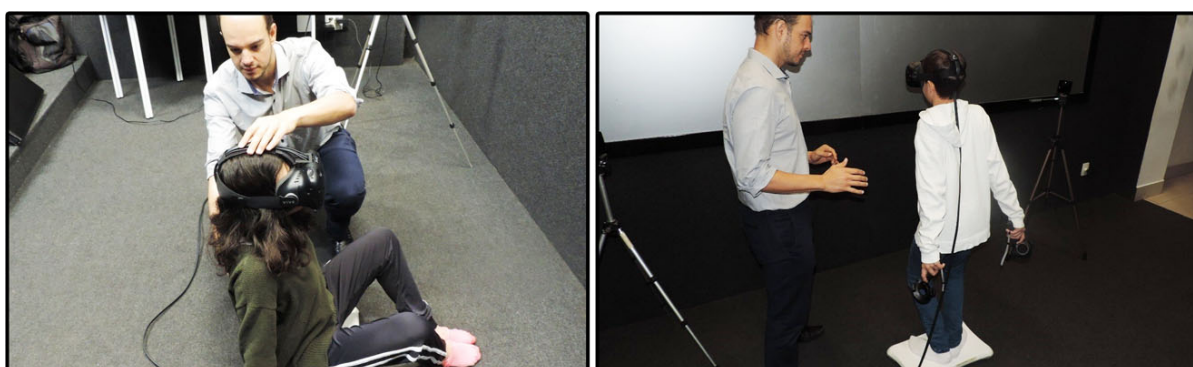


Figura 27 – Voluntários se preparando para executar as posturas Bailarina Sentada (esquerda) e Bailarina em Pé (direita) enquanto interagem com o ambiente virtual.

Fonte: Autoria Própria

## 5.5 Coleta de Dados

O desempenho e a evolução dos pacientes no contexto da reabilitação estão fortemente relacionados ao tempo de execução da atividade e ao correto alinhamento postural. Portanto, o feedback da interface pode contribuir com a percepção e ajuste postural, por meio de um conjunto de elementos interativos. Com a ajuda de tais elementos, o sujeito pode melhorar o controle e prolongar a execução da postura corretiva. Como consequência, a técnica pode minimizar desconfortos que costumam estar associados ao abandono do tratamento (MENDRIN et al., 2016. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000233>). Para confirmar a hipótese de que a imersão visual pode contribuir com terapias posturais, dados dos vários dispositivos (posição dos rastreadores portáteis, força / deslocamento de pressão na plataforma e tempo) foram coletados e o desempenho dos participantes foi avaliado através da análise dos seguintes parâmetros (critérios de avaliação):

- ❑ Tempo de Tolerância;
- ❑ Deslocamento do Centro de Pressão;
- ❑ Deslocamento das Mãos;
- ❑ Deslocamento látero-lateral.

Os deslocamentos foram calculados a partir do desvio de qualquer ponto rastreado de sua origem que, por sua vez, é definido quando o voluntário se posiciona adequadamente e passa a gerenciar sua postura. A partir deste momento, qualquer oscilação, movimento ou alteração da posição é imediatamente detectada e comparada com a posição inicial. Simultaneamente, o deslocamento médio para cada critério de avaliação é rastreado para confirmar a estabilidade e simetria postural durante a execução do protocolo. O deslocamento das mãos, e conseqüentemente dos braços, foi rastreado por meio do monitoramento dos controles conduzidos pelo voluntário. O deslocamento (X, Y) da distribuição do peso depositado em cada perna durante a execução das tarefas foi medido pela plataforma Balance Board. A posição do centro de gravidade, projetada em um plano bidimensional, foi calculada com base nas forças na plataforma.

## 5.6 Considerações Finais

Um conjunto de interações foi elaborado de forma a tornar protocolos reabilitativos mais intuitivos e dinâmicos. Para tanto, foi necessário alinhar o processo criativo à proposta do sistema. Processo esse que envolveu o emprego de funções capazes de tornar a relação entre o exercício realizado e o ambiente virtual coerente. Esse esforço também foi necessário para tornar a utilização do sistema viável para pessoas com diferentes necessidades e características anatômicas. Uma interface que se adapta às condições físicas de um

usuário e, ao mesmo tempo, entregar condições de utilização idênticas para todos os envolvidos não é um requisito trivial, uma vez que os benefícios propostos por esse trabalho dependem de um correto alinhamento postural, aspecto que difere de pessoa para pessoa.

Finalmente, o desempenho e evolução de pacientes em contextos reabilitativos é fortemente relacionado ao tempo de execução da atividade e correto alinhamento postural. Assim, a interface devolve informações que contribuem com a percepção postural do usuário e agrega um conjunto de aspectos interativos capazes de prolongar a execução do exercício e, conseqüentemente, evoluir o paciente de forma mais satisfatória, minimizando ainda desconfortos que contribuem para o abandono de atividades corretivas e preventivas. Nenhum participante relatou desconforto durante ou após o uso dos dispositivos para imersão visual.



---

## Resultados e Discussão

### 6.1 Introdução

Este capítulo apresenta os resultados obtidos a partir da coleta de dados realizada, bem como a análise estatística do conjunto de dados obtido e a discussão das informações descobertas. Os resultados apresentados referem-se à duas análises distintas. A primeira análise considera os dados obtidos de todos os 22 alunos. A segunda análise considera resultados de uma última sessão que foi executada por um conjunto menor de voluntários devido à disponibilidade de horário e atividades escolares.

### 6.2 Resultados

O sistema foi desenvolvido para registrar o deslocamento de cada elemento rastreável ao longo do tempo. Os dados foram gravados em um intervalo de um segundo para cada registro capturado dos dispositivos. Assim, é possível confirmar a distância das mãos e do centro de pressão das suas respectivas posições ideais para cada segundo de experimento. A distância representa o deslocamento da posição correta. Este parâmetro está diretamente associado à tolerância e estabilidade da postura, pois o deslocamento tende a aumentar com a fadiga e fraqueza muscular. Os gráficos a seguir comparam o deslocamento de cada parâmetro rastreável e cada postura de todos os experimentos realizados por cada voluntário, separados por grupo, ao longo do tempo. As Figuras 28 e 29 demonstram o deslocamento registrado da mão esquerda e direita, respectivamente, durante a postura da Bailarina em Pé.

De imediato é possível observar um tempo de tolerância significativamente maior entre os usuários que usaram RVI e um maior deslocamento dos membros rastreados entre os indivíduos que não usaram RVI.

Um resultado semelhante pode ser observado nos gráficos referentes ao tempo de tolerância e deslocamento dos membros durante a execução da postura sentada. A diferença mais evidente entre os resultados das posturas em pé (Figura 28 e Figura 29) e sentada

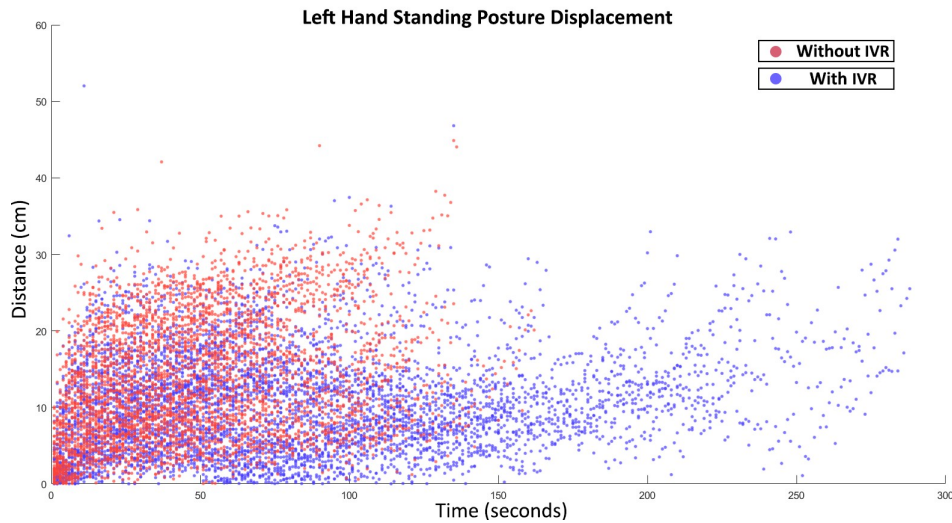


Figura 28 – Deslocamento comparativo da mão esquerda durante a postura da Bailarina em Pé ao longo do tempo

Fonte: Autoria Própria

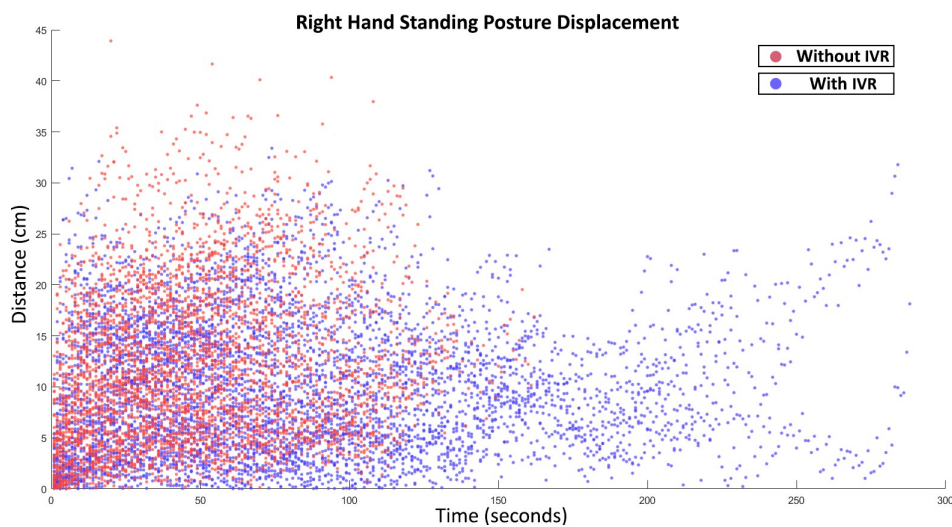


Figura 29 – Deslocamento comparativo da mão direita durante a postura da Bailarina em Pé ao longo do tempo

Fonte: Autoria Própria

(Figura 30 e Figura 31) é o deslocamento. Na postura sentada, o deslocamento dos membros rastreados foi mais concentrado e menos distribuído. Provavelmente, isso se deve ao fato de que, durante a postura sentada, o maior esforço concentra-se na distribuição do peso na plataforma de força. Com relação ao COP, as Figuras 32 e 33 apontam o desempenho de equilíbrio de cada paciente em todas as sessões, também separadas por grupos. Novamente, os gráficos demonstram um maior tempo de tolerância para o grupo

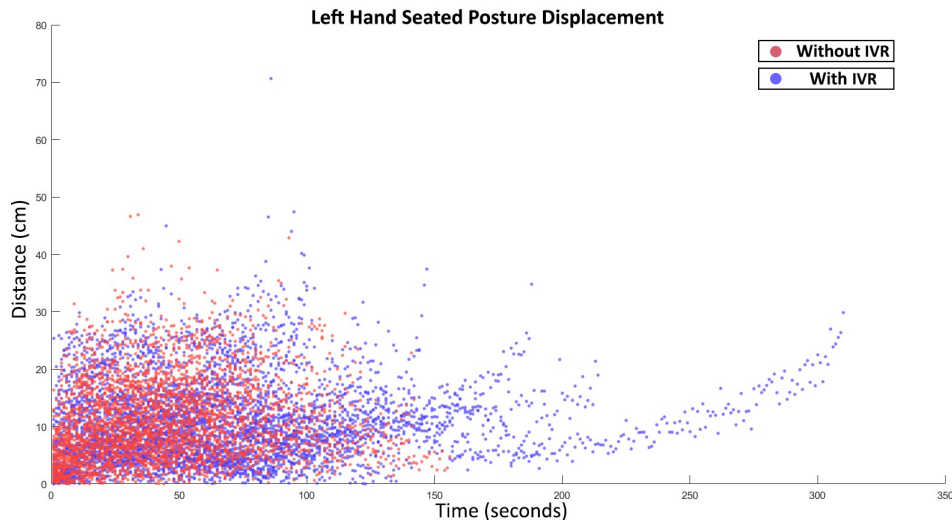


Figura 30 – Deslocamento comparativo da mão esquerda durante a postura da Bailarina Sentada ao longo do tempo

Fonte: Autoria Própria

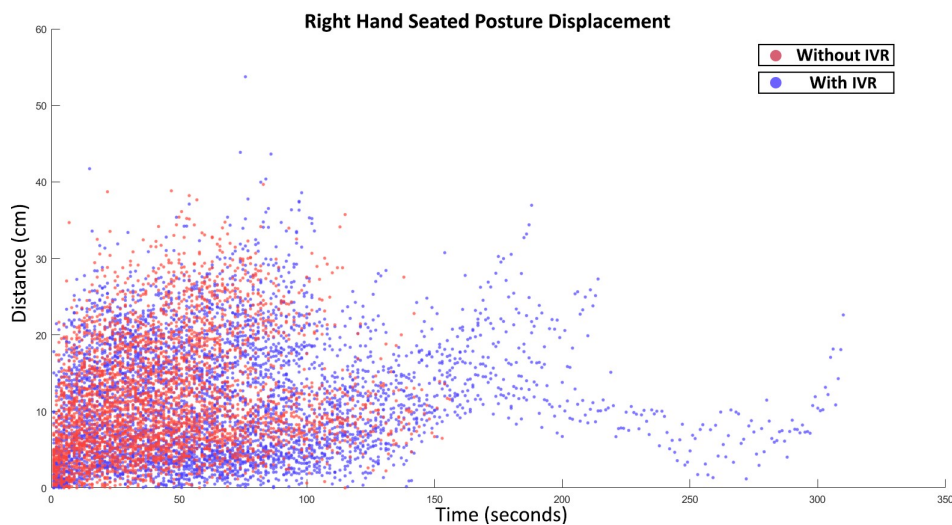


Figura 31 – Deslocamento comparativo da mão direita durante a postura da Bailarina Sentada ao longo do tempo

Fonte: Autoria Própria

experimental.

Os valores foram expressos como médias  $\pm$  desvio padrão ou porcentagens. Um teste t pareado foi conduzido para identificar efeitos significativos. O teste de Kolmogorov – Smirnov demonstrou normalidade para a distribuição dos dados. O nível de significância estatística foi estabelecido em um valor de p de  $\leq 0,1$ . Para testar a diferença entre as duas médias dependentes de ambos os grupos, o software G \* Power 3.1.9.7 foi usado para

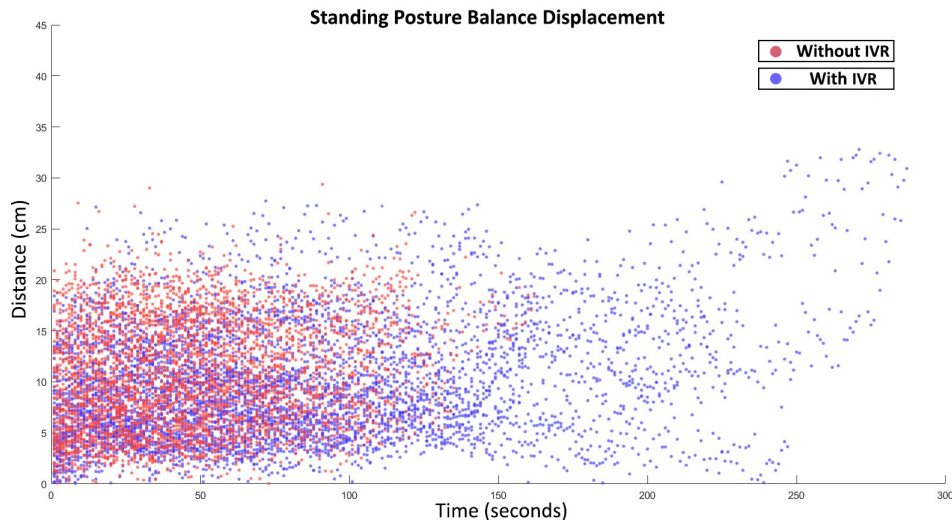


Figura 32 – Deslocamento comparativo do Centro de Pressão durante a postura da Bailarina em Pé ao longo do tempo

Fonte: Autoria Própria

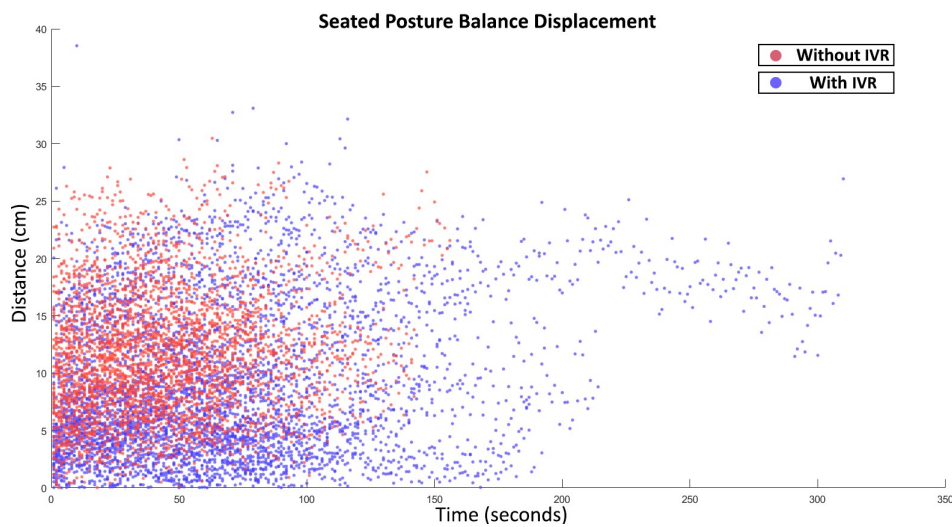


Figura 33 – Deslocamento comparativo do Centro de Pressão durante a postura da Bailarina Sentada ao longo do tempo

Fonte: Autoria Própria

análise estatística usando os seguintes parâmetros:

- Tail(s) = One;
- Effect size  $d_z = 0.85$ ;
- $\alpha$  err prob = 0.1;



□ Power ( $1 - \beta$  err prob) = 0.9.

Com os inputs mencionados, a seguinte saída foi obtida:

□ Critical t = 1.37218;

□ Df = 10;

□ Actual power = 0.922;

□  $\alpha$  err prob = 0.1;

□ Total sample size = 11.

Como os participantes de cada grupo foram divididos aleatoriamente, a Figura 34 apresenta uma comparação dos deslocamentos registrados entre o grupo experimental e o grupo controle. Nenhuma diferença significativa foi encontrada na primeira sessão. Assim, nós consideramos que as condições físicas e as competências proprioceptivas entre os membros dos dois grupos foram equivalentes. A posição do COP confirma o ponto de origem do centro de pressão de toda a descarga de peso do corpo e aponta a distância média entre o centro de pressão e um centro de pressão ideal. Quanto mais próximo de 0, melhor e mais estável estava o centro de pressão do voluntário durante a atividade executada. O deslocamento das mãos refletem oscilações nos membros superiores durante a manutenção da postura, sendo que um valor próximo de 0 também demonstra maior estabilidade.

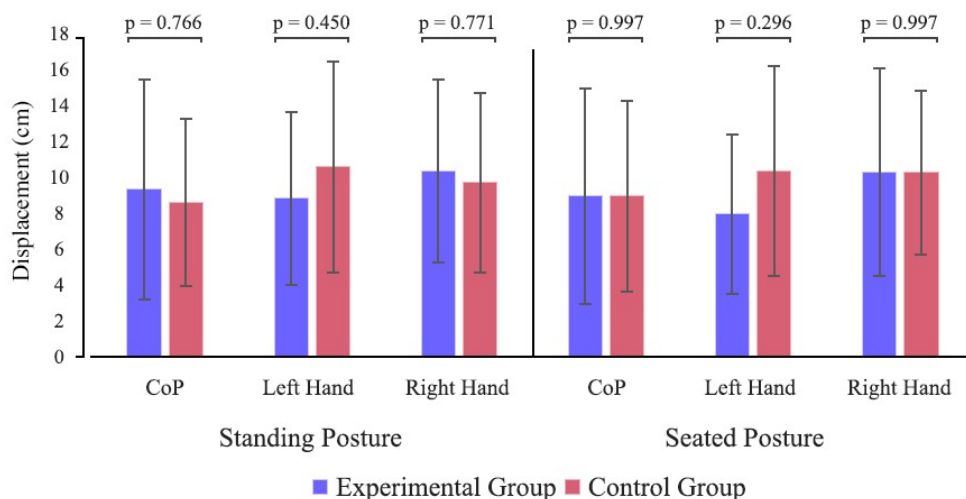


Figura 34 – Comparação de desempenho entre os dois grupos após a primeira sessão

Fonte: Autoria Própria

Tabela 2 – Comparação dos parâmetros avaliados da sessão 1 até a 3 do grupo experimental e do grupo controle.

	Experimental (n = 11), mean ± SD			Controle (n = 11), mean ± SD		
	Sessão 1	Sessão 3	p-value	Sessão 1	Sessão 3	p-value
	Mean Value	Mean Value		Mean Value	Mean Value	
Desloc. CoP Em pé	9.41±6.22	10.97±3.87	0.200	8.7±4.72	8.97±4.94	0.182
Desloc. Mão Esquerda Em pé	8.92±4.87	10.38±4.7	0.217	10.7±5.97	13.8±6.45	0.264
Desloc. Mão Direita Em pé	10.47±5.17	7.08±5.15	0.084*	9.82±5.09	12.37±6.19	0.358
Tempo Tolerado Em pé	146.82±90.57	158.91±55.3	0.348	81.73±33.33	94.18±28.11	0.490
Desloc. CoP Sentado	9.06±6.08	6.94±3.55	0.168	9.07±5.4	12.54±4.69	0.280
Desloc. Mão Esquerda Sentado	8.05±4.51	11.23±7.96	0.141	10.46±5.95	9.76±6.79	0.372
Desloc. Mão Direita Sentado	10.39±5.87	10.75±6.82	0.456	10.38±4.64	9.86±6.21	0.491
Tempo Tolerado Sentado	103±37.45	110.45±44.62	0.297	80.09±32.86	73.09±24.07	0.427

Tabela 3 – Comparação dos parâmetros avaliados da sessão 3 entre os dois grupos.

	Experimental (n = 11), mean ± SD		Controle (n = 11), mean ± SD	
	Sessão 3	p-value	Sessão 3	p-value
	Mean Value		Mean Value	
Desloc. CoP Em pé	10.97±3.87	0.152	8.97±4.94	0.152
Desloc. Mão Esquerda Em pé	10.38±4.7	0.085*	13.8±6.45	0.085*
Desloc. Mão Direita Em pé	7.08±5.15	0.021*	12.37±6.19	0.021*
Tempo Tolerado Em pé	158.91±55.3	0.001*	94.18±28.11	0.001*
Desloc. CoP Sentado	6.94±3.55	0.002*	12.54±4.69	0.002*
Desloc. Mão Esquerda Sentado	11.23±7.96	0.323	9.76±6.79	0.323
Desloc. Mão Direita Sentado	10.75±6.82	0.376	9.86±6.21	0.376
Tempo Tolerado Sentado	110.45±44.62	0.012*	73.09±24.07	0.012*

A Tabela 2 apresenta uma comparação entre os parâmetros avaliados entre as sessões 1 e 3, separados por grupo e postura executada. Os únicos parâmetros que demonstraram diferença significativa após 3 sessões foi o deslocamento da mão esquerda ( $p < 0,1$ ) durante a execução da postura em pé entre membros do grupo experimental.

A Tabela 3 apresenta uma comparação dos parâmetros avaliados após a terceira sessão entre o grupo experimental e o grupo controle. Diferença significativa entre os grupos foram encontradas para os parâmetros de Deslocamento da Mão Esquerda ( $p < 0,1$ ), Deslocamento da Mão Direita ( $p < 0,1$ ) e Tempo Tolerado ( $p < 0,1$ ) para a postura em pé. Para a postura sentada, foram encontradas diferenças significativas no Deslocamento do CoP ( $p < 0,1$ ) e Tempo Tolerado ( $p < 0,1$ ). Não foram encontradas diferenças importantes para o Deslocamento do CoP da postura em pé ( $p = ,152$ ), Deslocamento da Mão Esquerda ( $p = ,323$ ) e Deslocamento da Mão Direita ( $p = ,376$ ) da postura sentada.

A Tabela 3 apresenta um comparativo dos deslocamentos rastreáveis entre as sessões realizadas com imersão visual e as sessões realizadas de forma convencional, bem como estimativas das amostras coletadas. Por meio do monitoramento do CoP, nota-se, com precisão, distúrbios que comprometem a estabilidade postural, a sinergia postural presente em qualquer movimento e a integridade do controle do equilíbrio de um indivíduo (WINTER; PATLA; FRANK, 1990). A integração e do estudo desse aspecto biomecânico permite que o movimento seja modelado e abre a possibilidade de um melhor entendimento sobre os mecanismos internos que, por sua vez, demonstram perdas posturais (MOCHI-

ZUKI; AMADIO, 2003. <https://doi.org/10.5628/rpcd.03.03.77>). Por fim, os controles rastreáveis devem confirmar a simetria postural dos membros superiores durante a manutenção das posturas a partir da posição de cada uma das mãos, quando comparadas às suas respectivas posições de origem.

A Figura 35 expressa o tempo de tolerância médio entre as sessões assistidas com RVI e as sessões tradicionais. O gráfico inclui dados de três sessões realizadas por cada voluntário e das duas posturas incluídas nesse estudo.

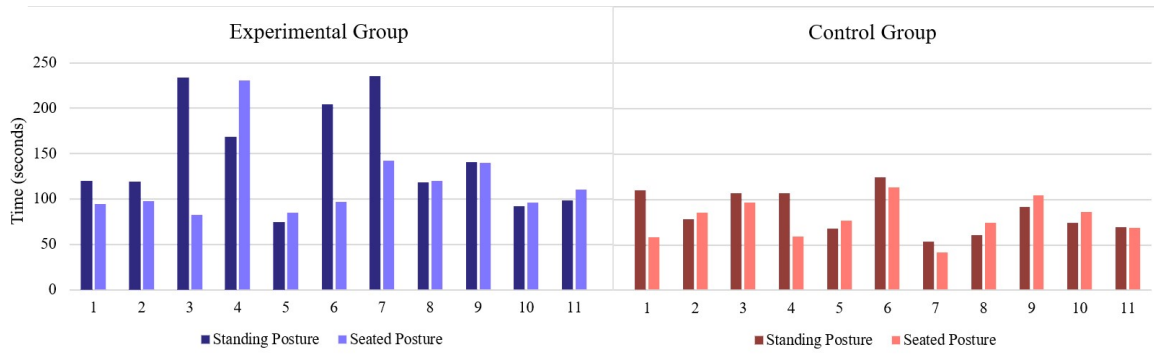


Figura 35 – Gráfico comparativo do tempo de tolerância em todas as sessões de cada voluntário.

Fonte: Autoria Própria

Por fim, a Figura 36 compara a variação do tempo de tolerância entre os dois grupos de todas as sessões realizadas. Assim, é possível confirmar os limites e distribuição de tolerância de todos os voluntários e outliers.

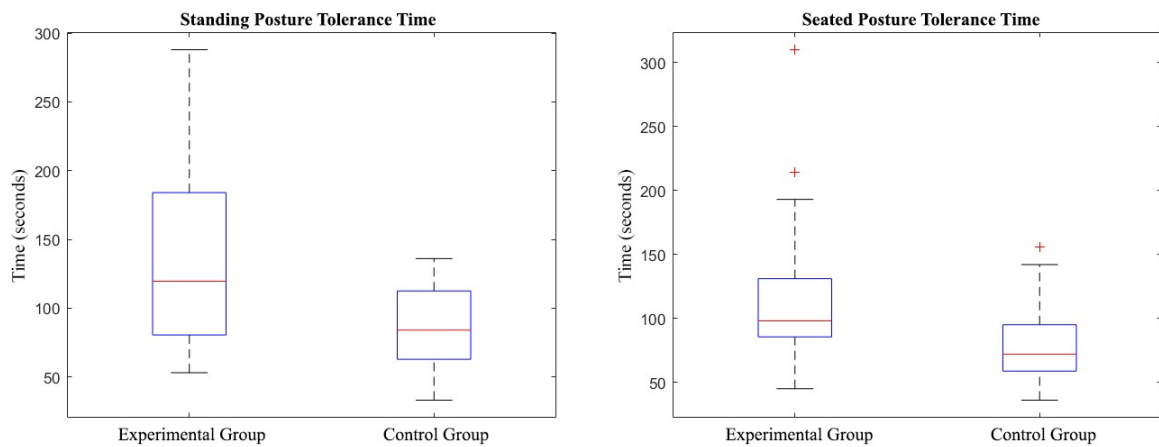


Figura 36 – Variação do tempo de tolerância das primeiras 3 sessões.

Fonte: Autoria Própria

Tabela 4 – Comparação dos parâmetros avaliados da sessão 1 até a 4 do grupo experimental e do grupo controle.

	Experimental (n = 7), mean ± SD			Controle (n = 7), mean ± SD		
	Sessão 1	Sessão 4	p-value	Sessão 1	Sessão 4	p-value
	Mean Value	Mean Value		Mean Value	Mean Value	
Desloc. CoP Em pé	11.02±7.1	6.4±3.22	0.001*	9.39±5.34	11.41±5.22	0.001*
Desloc. Mão Esquerda Em pé	7.69±4.07	8.58±5.97	0.004*	13.01±5.98	12.79±5.73	0.001*
Desloc. Mão Direita Em pé	11.08±5.57	11.06±7.34	0.004*	12.05±5.06	14.07±7.94	0.002*
Tempo Tolerado Em pé	156.57±100.82	116.86±31.62	0.189	90.14±30.61	80.57±22.39	0.112
Desloc. CoP Sentado	8.81±4.39	6.74±4.85	0.005*	10.89±5.92	11.63±5.23	0.001*
Desloc. Mão Esquerda Sentado	8.99±4.75	15.06±5.64	0.000*	9.17±5.79	9.19±4	0.000*
Desloc. Mão Direita Sentado	11.57±6.04	14.42±7.79	0.001*	9.6±3.27	14.58±5.8	0.000*
Tempo Tolerado Sentado	90.14±26.41	104.71±24.96	0.189	79.71±35.99	85.29±23.95	0.335

Tabela 5 – Comparação dos parâmetros avaliados da sessão 4 entre os dois grupos.

	Experimental (n = 7), mean ± SD		Controle (n = 7), mean ± SD	
	Sessão 4	p-value	Sessão 4	p-value
	Mean Value		Mean Value	
Desloc. CoP Em pé	6.4±3.22	0.026*	11.41±5.22	0.026*
Desloc. Mão Esquerda Em pé	8.58±5.97	0.102	12.79±5.73	0.102
Desloc. Mão Direita Em pé	11.06±7.34	0.238	14.07±7.94	0.238
Tempo Tolerado Em pé	116.86±31.62	0.015*	80.57±22.39	0.015*
Desloc. CoP Sentado	6.74±4.85	0.047*	11.63±5.23	0.047*
Desloc. Mão Esquerda Sentado	15.06±5.64	0.234	9.19±4	0.234
Desloc. Mão Direita Sentado	14.42±7.79	0.482	14.58±5.8	0.482
Tempo Tolerado Sentado	104.71±24.96	0.082*	85.29±23.95	0.082*

Devido às limitações mencionadas relacionadas aos horários escolares e disponibilidade de voluntários, todos os participantes puderam realizar 3 sessões assistidas. De todos os 22 sujeitos, 14 puderam realizar 4 sessões. Assim, foi elaborada uma análise de acompanhamento considerando os dados relativos à quarta sessão.

As Tabelas 4 e 5 referem-se aos integrantes da análise de acompanhamento, que inclui voluntários que realizaram 4 sessões. A Tabela 4 mostra a comparação dos parâmetros avaliados entre a sessão 1 e a sessão 4, separados por grupo e postura realizada. Os únicos parâmetros que não demonstraram alterações significativas entre as sessões foram Tempo Tolerado em Pé ( $p = ,189$ ) e Tempo Tolerado Sentado ( $p = ,189$ ) no grupo experimental e Tempo Tolerado em Pé ( $p = ,112$ ) e Tempo Tolerado Sentado ( $p = .335$ ). Diferença significativa foi observada para Deslocamento do CoP em Pé, Deslocamento da Mão Esquerda em Pé e Deslocamento da Mão Direita em Pé para ambos os grupos ( $p < 0,1$ ) após 4 sessões. No entanto, desempenho reduzido foi observado no Deslocamento da Mão Esquerda em Pé, no Deslocamento da Mão Direita em Pé, no Deslocamento da Mão Esquerda Sentado e no Deslocamento da Mão Direita Sentado no grupo experimental. Desempenho reduzido também foi observado no grupo de controle nos parâmetros Deslocamento do CoP em pé, Deslocamento da Mão direita em Pé, Deslocamento da Mão Esquerda Sentada e Deslocamento da Mão Direita Sentado. Parâmetros que apresentaram diferenças significativas estão sinalizados na Tabela 4 com o caractere (\*).

A Tabela 5 compara os parâmetros dos resultados obtidos na sessão 4 entre o grupo

experimental e controle. Foram observadas diferenças significativas entre o Deslocamento do CoP em Pé ( $p < ,1$ ), o Tempo Tolerado em Pé ( $p < ,1$ ), o Deslocamento do CoP Sentado ( $p < ,1$ ) e o Tempo Tolerado Sentado ( $p < ,1$ ). Deslocamento da Mão Esquerda em Pé ( $p = ,102$ ), Deslocamento da Mão Direita em Pé ( $p = ,238$ ), Deslocamento da Mão Esquerda Sentada ( $p = ,234$ ) e Deslocamento da Mão Direita Sentado ( $p = ,482$ ) não demonstraram diferença significativa entre os grupos.

### 6.3 Discussão

A observação do CoP é relevante na avaliação postural, pois representa a oscilação do corpo e a resposta neuromuscular a esse movimento (GURFINKEL, 1973). A avaliação do CoP também pode representar um dado complementar às terapias direcionadas à processos reabilitativos e auxilia na recuperação de um controle postural adequado devido ao efeito positivo que as intervenções de exercícios de equilíbrio têm sobre as atividades físicas (PLUCHINO et al., 2012. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2012.01.023>).

Estudos posturais apontam para diferenças nos resultados entre os sexos (GHIRINGHELLI; GANANÇA, 2011. <https://doi.org/10.1590/S2179-64912011000300013>.; WIBMER et al., 2016. <https://doi.org/10.1186/s13013-016-0104-9>). No entanto, o gênero deve ser considerado separadamente de acordo com a natureza e a motivação da investigação proposta. Neste estudo, o critério idade foi priorizado devido à importância das intervenções terapêuticas durante o período de desenvolvimento acelerado do corpo, pois exercícios específicos não podem reduzir a deformação óssea (NEGRINI et al., 2008). Simultaneamente, a prevenção e o diagnóstico precoce são importantes, uma vez que o potencial de desenvolvimento da coluna pode determinar a progressão da curva (REAMY; SLAKEY, 2001, 2001).

Com a proposta de redução da curva anômala comprovada por meio de exercícios específicos, além da utilização de exercícios bilaterais na correção de assimetrias (SOUCHARD, 2003), foram utilizadas neste estudo duas posturas utilizadas na fisioterapia para Reeducação Postural Global. Apesar da tecnologia utilizada apresentar alto nível de precisão, uma das limitações do estudo é a impossibilidade de mapear e avaliar a curvatura da coluna vertebral durante o processo. O kit utilizado não disponibiliza rastreadores pequenos o suficiente para serem anexados às costas sem comprometer a execução do exercício. Portanto, só foi possível avaliar a simetria dos braços durante a terapia, juntamente com a estabilidade postural e a oscilação do movimento devido à fadiga.

Considerando o uso da RV como mecanismo de apoio ao treinamento médico (COTE et al., 2008. <https://doi.org/10.1109/HAVE.2008.4685289>.) e a possibilidade de manipulação da percepção da dor (CAVALCANTI et al., 2020), é possível que o uso de interfaces avançadas em intervenções posturais possam melhorar o processo terapêutico e resultados esperados. Ao comparar os resultados de ambos os grupos separadamente, ambos

os grupos não demonstraram melhorias musculares e proprioceptivas significativas. Mas quando os resultados de ambos os grupos são comparados, o grupo experimental demonstrou resultados significativamente melhores. A redução do deslocamento da mão e do CoP era esperada, pois a interface elaborada fornecia informações relacionadas aos elementos rastreáveis em tempo real. Mas a tolerância ao tempo foi significativamente melhor entre os membros do grupo experimental também. Nossa hipótese é que a tolerância superior no grupo experimental está relacionada a diferentes condições de treinamento, uma vez que a fisioterapia pode elevar o nível de ansiedade (JACK et al., 2010. <https://doi.org/10.1016/j.math.2009.12.004>.) e os ambientes virtuais devem contribuir para a adesão em intervenções físicas que podem causar dor (HOFFMAN et al., 2011. <https://doi.org/10.1007/s12160-010-9248-7>).

A partir das Figuras 28 - 29 é possível confirmar a amplitude dos pontos de deslocamento. A fadiga durante a manutenção da postura explica a tendência dos membros e do tronco de se moverem para alcançar uma posição confortável. Como resultado, um deslocamento significativo é registrado a partir dos rastreadores. Esses deslocamentos tendem a durar alguns segundos, pois os voluntários podem ser avisados pela interface, pelo terapeuta ou pela interface. Os gráficos demonstram os pontos de deslocamento de todos os membros dos grupos, os pacientes deveriam tentar corrigir a postura o tempo todo, cada paciente tem uma condição física diferente e essa amplitude de deslocamento era esperada. Além da tolerância de tempo superior entre os membros do grupo experimental, é possível notar momentos de correção postural, quando os sujeitos tentam reposicionar as mãos na posição inicial. Ao mesmo tempo, as observações relacionadas ao grupo controle tendem a ser mais dispersas quando comparadas às observações relacionadas ao grupo experimental.

O desempenho inferior na quarta sessão é observado por meio da análise de acompanhamento. O tempo tolerado em ambas as posturas não demonstrou diferença significativa entre a sessão 3 e a sessão 4. Nossa hipótese é que, apesar da possibilidade de imersão visual e interação com um ambiente virtual, o esforço repetitivo pode ser um fator desmotivador que compromete os resultados e a adesão ao tratamento, como em terapias convencionais. Essa observação está alinhada com as descobertas de (WILLIAMS et al., 2015). Ainda assim, ao comparar os resultados de ambos os grupos, a tolerância ao tempo e o CoP observados no grupo experimental demonstram diferença significativa.

Este estudo incluiu a análise de 3 a 4 sessões terapêuticas assistidas. O número de sessões necessárias para alcançar resultados satisfatórios no processo terapêutico varia de acordo com os objetivos e os métodos utilizados. Diferentes estudos realizaram diferentes números de sessões em diferentes terapias, como 4 (Durmuş et al. 2010) e 8 (Ferrari 2018) relatando resultados satisfatórios. Assim, a descoberta do número de sessões necessárias para alcançar resultados, como redução de incapacidades e resistência muscular, é um processo complexo que depende do nível do paciente, exige pesquisas adicionais e deve

considerar fatores psicossociais (Swinkels 2005).

Os resultados divergentes podem ser explicados levando-se em consideração as diferentes condições terapêuticas dos dois grupos. O ambiente imersivo, somado ao feedback visual instrutivo contribuiu para um melhor controle postural. Esse achado está alinhado com estudos que confirmam a contribuição da RV para o controle postural (WRIGHT, 2013; POSTOLACHE et al., 2016; WIBMER et al., 2016. <https://doi.org/10.1186/s13013-016-0104-9>). Os resultados obtidos sugerem que a imersão visual potencializou a qualidade postural. Wibmer (2016) apontou que exercícios posturais devem ser realizados corretamente em três dimensões e foi observada uma redução da motivação após várias decorrências em um sistema de jogo bidimensional projetado para o auxílio de exercícios específicos para Escoliose. Como o desempenho inferior na quarta sessão foi observado na análise de acompanhamento, hipotetizamos que diferentes cenários interativos devem ser desenvolvidos a fim de minimizar a diminuição da motivação que, por sua vez, pode estar associada a esforços repetidos e falta de diversidade de ambientes interativos.

Cada sessão foi executada com intervalo mínimo de 7 dias e cada participante pôde passar por no máximo 4 sessões, onde os resultados iniciais foram positivos. O ângulo de Cobb é freqüentemente usado para diagnosticar a patologia e a gravidade da curvatura escoliótica (REAMY; SLAKEY, 2001). Porém, não foi possível realizar este teste devido à ausência de radiografias, antes e após a terapia, para todos os voluntários. Ao mesmo tempo, a confirmação da melhora do diagnóstico da Escoliose, deve ser feita por meio de exames e radiografias repetidas a cada 6 meses (HORNE; FLANNERY; USMAN, 2014). No entanto, uma série de estudos relacionados à tecnologia contemplam experimentos realizados de forma singular ou experimentos realizados em um curto período de tempo (GHIRINGHELLI; GANANÇA, 2011. <https://doi.org/10.1590/S2179-64912011000300013>.; KESHNER; KENYON; DHAHER, 2004; KESHNER; KENYON, 2007; WRIGHT, 2013; VIRK; MCCONVILLE, 2006). Assim, o presente estudo apresenta resultados que se referem à proposta de associação tecnológica e uma contribuição aos processos terapêuticos convencionais utilizados no tratamento e prevenção da Escoliose.





---

## Conclusões e Trabalhos Futuros

Este estudo apresentou a realização de posturas corretivas, utilizadas em protocolos de reabilitação postural, combinada com estímulos visuais e rastreamento por meio da tecnologia de Realidade Virtual Imersiva. Os resultados sugerem a viabilidade do uso de RVI no contexto da terapia postural e estimulam o uso de tais combinações para obtenção de melhor treinamento, maior qualidade na execução das autoposturas, maior nível de tolerância aos desconfortos frequentes neste tipo de intervenção e, conseqüentemente, resultados mais satisfatórios para os envolvidos.

### 7.1 Aspectos Gerais do Trabalho

Terapias e processos de reabilitação postural consistem em atividades intimamente relacionadas ao bem estar e a qualidade de vida. Evidências confirmam a importância da preservação da qualidade postural e dos impactos negativos que problemas relacionados à organização funcional do sistema locomotor são observados a curto e longo prazo.

Simultaneamente à valorização do bem estar e da importante atenção às questões relacionadas à postura, novas metáforas de interação e satisfatório nível de precisão alcançado por dispositivos de rastreamento, relativamente acessíveis, encorajam a combinação de tecnologias assistivas e processos terapêuticos relacionados ao sistema locomotor.

Neste trabalho, verificou-se a viabilidade da utilização de dispositivos de rastreamento combinados com imersão visual no contexto de terapias posturais já utilizadas. Além disso, por meio da proposta, foi possível constatar diferenças de tolerância e desempenho entre os grupos comparados, confirmando assim a hipótese de que a manipulação visual e o engajamento promovido por ambientes virtuais interativos podem favorecer e até mesmo potencializar terapias posturais direcionadas e assistidas.

Com a possibilidade de calibragem da posição de cada um dos dispositivos rastreáveis e a adaptação automática do ambiente de acordo a estatura do usuário, a utilização do sistema desenvolvido pode se estender para outros protocolos que utilizam posturas isométricas sem modificações maiores.

A partir dos achados aqui descobertos, observa-se que o nível de precisão, custo, disponibilidade e portabilidade de dispositivos utilizados em sistemas de Realidade Virtual Imersiva favorecem a implantação de sistemas interativos para contribuir com processos terapêuticos amplamente utilizados.

Limitações observadas incentivam futuras investigações que utilizem a Realidade Virtual Imersiva de forma a contribuir com competências cinestésicas em contextos terapêuticos, uma vez que uma grande quantidade de voluntários e ensaios consistentes por vários meses podem entregar resultados ainda mais encorajadores.

No contexto desse trabalho, a imersão visual se apresentou como aspecto determinante para as descobertas alcançadas. Os aparatos utilizados direcionaram o desempenho de um dos grupos, e sem comprometer o desenvolvimento de protocolos construídos a partir de anos de pesquisa e amplamente utilizados por fisioterapeutas.

A partir desta solução, sugere-se que perspectivas relacionadas à utilização de ambientes imersivos interativos sejam expandidas, para que processos terapêuticos já consolidados e comprovadamente eficientes sejam potencializados.

## 7.2 Principais Contribuições

Os achados sugerem que o emprego da tecnologia utilizada no contexto das posturas terapêuticas traz benefícios tanto para o paciente quanto para o profissional, contribuindo assim com todo o processo terapêutico, o qual prioriza a qualidade postural e a simetria muscular. O estudo também incentiva o uso da tecnologia em atividades que envolvem ativação muscular isométrica que relacionem o tempo e a simetria com a evolução do exercício proposto. Porém, os resultados também mostram que é importante considerar o foco e o tipo de postura que estará associado ao processo de reabilitação, além da importância de se elaborar diversos cenários interativos associados à evolução do usuário.

O sistema empregado agregou uma série de dispositivos que, por sua vez, foram utilizados no mesmo contexto interativo, o que favorece a aquisição de um conjunto de dados mais completo para análise. O algoritmo desenvolvido também pode ser utilizado em outros sistemas que utilizam estímulos visuais durante atividades físicas voltadas para o treinamento isométrico e confirmam a eficácia terapêutica de propostas que tenham objetivos próximos aos apresentados no estudo aqui desenvolvido.

## 7.3 Trabalhos Futuros

Trabalhos futuros consistem na elaboração de novas metáforas de interação que contemplem outros exercícios com foco na qualidade postural e na distribuição adequada da força muscular. A integração de mais rastreadores infravermelhos também é considerada para atribuir maior precisão ao processo de avaliação e demonstrar maior simetria pos-

tural durante o treinamento físico que está sendo realizada. Como o estudo apresentou resultados positivos imediatos na execução de exercícios específicos voltados para a prevenção e tratamento da Escoliose, a realização de experimentos no período de seis meses a um ano (HORNE; FLANNERY; USMAN, 2014) também é considerada como uma investigação futura, além de testes com mais voluntários. Isso oferece a possibilidade de comprovar os benefícios do método proposto, em longo prazo, por meio da radiografia e uma análise estatística mais robusta.

## 7.4 Comentários Finais

A partir dos experimentos realizados, foi possível confirmar a hipótese de utilização de tecnologias imersivas para assistir atividades terapêuticas voltadas para o tratamento da Escoliose. Observa-se que o desempenho, que pode ser medido a partir do tempo de resistência e precisão do movimento, foi superior em todas as experimentações que envolveram a utilização dos dispositivos de interação selecionados. Assim, é correto atribuir tal repercussão à proposta desenvolvida, a qual conjuga uma interface de comunicação e interação com um conjunto de ferramentas capazes de motivar e entregar informações que melhoram a resposta perceptual do usuário.

A elaboração do processo interativo, adequado ao treinamento físico que está sendo executada, também deve agregar elementos visuais que relacionam as modificações realizadas dentro do ambiente virtual à uma ideia de progresso, pois esse estímulo desperta o incentivo que leva o usuário a executar uma tarefa a ele designada dentro de um ambiente virtual. Esse estímulo visual recondiciona a percepção do usuário e afeta percepções, como dor e desconforto, capazes de comprometer um processo terapêutico. Essa mesma metáfora pode ser somada a um conceito de interface que entrega informações pertinentes ao objetivo da aplicação, com a finalidade de melhorar a performance da tarefa a ser realizada. Essa combinação foi construída na pesquisa aqui desenvolvida e a influência exercida pela proposta foi comprovadamente positiva dentro da esfera que está sendo estudada.

Os resultados aqui encontrados sugerem viabilidade de desenvolvimento de mais metáforas relacionadas a outros exercícios que objetivam a redução dos sintomas da Escoliose. Observa-se também a possibilidade de se estender a utilização do sistema ao contexto clínico, uma vez que a contribuição da proposta pode beneficiar tanto o paciente quanto o profissional fisioterapeuta que, por sua vez, terá acesso a dados complementares antes indisponíveis e melhores condições de avaliação do processo evolutivo do seu cliente.



---

## Referências

- AKUTHOTA, V.; NADLER, S. F. Core strengthening1. **Archives of physical medicine and rehabilitation**, Elsevier, v. 85, p. 86–92, 2004. <https://doi.org/10.1053/j.apmr.2003.12.005>.
- ANDERSON, D. M.; ANDERSON, L. E.; GLANZE, W. D. **Mosby's medical dictionary**. [S.l.]: Mosby St. Louis, MO, 2002. v. 26.
- ASSAIANTE, C. et al. Do adolescent idiopathic scoliosis (ais) neglect proprioceptive information in sensory integration of postural control? **PLoS One**, Public Library of Science, v. 7, n. 7, p. e40646, 2012. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0040646>.
- BITLEGIT. **WiiBuddy - Asset Store**. 2018. Disponível em: <<https://assetstore.unity.com/packages/tools/input-management/wiibuddy-4929/>>.
- BOSCO, G.; POPPELE, R. Proprioception from a spinocerebellar perspective. **Physiological reviews**, American Physiological Society Bethesda, MD, v. 81, n. 2, p. 539–568, 2001. <https://doi.org/10.1152/physrev.2001.81.2.53>.
- BROWN, M. **Exploring the magic behind the HTC Vive controller**. 2016. Disponível em: <<https://www.vrheads.com/exposing-magic-behind-htc-vive-controller>>.
- CARDOSO, A. et al. Tecnologias e ferramentas para o desenvolvimento de sistemas de realidade virtual e aumentada. **Editora Universitária UFPE**, p. 1–19, 2007.
- CARDOSO, A.; LAMOUNIER, E. A realidade virtual na educação e treinamento. **TORI, Romero; KIRNER, Claudio; SISCOUTO, Robson. Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada**. Belém: SBC, p. 304–312, 2006.
- \_\_\_\_\_. Aplicações na educação e treinamento. **Realidade Virtual e Aumentada-Uma Abordagem Tecnológica**, v. 1, p. 343–357, 2008.
- CASANOVA, M. S. et al. Exergames as a tool for the assessment of postural balance in a patient with multiple sclerosis. In: **Computing Colombian Conference (10CCC)**. [S.l.: s.n.], 2015. <https://doi.org/10.1109/ColumbianCC.2015.7333424>.
- CAVALCANTI, I. F. et al. The ‘global postural re-education’ in non-specific neck and low back pain treatment: A pilot study. **Journal of back and musculoskeletal rehabilitation**, IOS Press, n. Preprint, p. 1–6, 2020.

CLARK, R. A. et al. Validity and reliability of the nintendo wii balance board for assessment of standing balance. **Gait & posture**, Elsevier, v. 31, n. 3, p. 307–310, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2009.11.012>.

CLEAR, S. I. **Learning About Scoliosis: Scoliosis Statistics**. 2017. Disponível em: <<https://www.clear-institute.org/learning-about-scoliosis/scoliosis-statistics>>.

COTE, M. et al. Virtual reality simulator for scoliosis surgery training. **Transatlantic collaborative tests Haptic Audio visual Environments and Games**, 2008. <https://doi.org/10.1109/HAVE.2008.4685289>.

CZERWOSZ, L. et al. Application of virtual reality in postural stability rehabilitation. In: IEEE. **Virtual Rehabilitation International Conference, 2009**. [S.l.], 2009. p. 214–214. <https://doi.org/10.1109/ICVR.2009.5174252>.

DAMASCENO, E. F. et al. Sistema de reabilitação baseado em técnicas de captura de movimento para tratamento da lombalgia mecânica. Universidade Federal de Uberlândia, 2013.

DEARBORN, M. **Ford Reduces Production Line Injury Rate By 70 Percent for It's More Than 50,000 'Industrial Athletes'**. 2017. Disponível em: <<https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2015/07/16/ford-reduces-production-line-injury-rate-by-70-percent.html>>.

DOBOSIEWICZ, K. et al. Pathomechanic basics of conservative treatment of progressive idiopathic scoliosis according to dobosiewicz method based upon radiologic evaluation. **Studies in health technology and informatics**, v. 91, p. 336–341, 2002.

DOCS, M. **Guia do CSharp**. 2018. Disponível em: <<https://docs.microsoft.com/pt-br/dotnet/csharp/getting-started/>>.

DONZELLI, S.; ZAINA, F.; NEGRINI, S. Predicting scoliosis progression: a challenge for researchers and clinicians. **EClinicalMedicine**, Elsevier, v. 18, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2019.100244>.

DUPUIS, S. et al. Global postural re-education in pediatric idiopathic scoliosis: a biomechanical modeling and analysis of curve reduction during active and assisted self-correction. **BMC musculoskeletal disorders**, BioMed Central, v. 19, n. 1, p. 1–9, 2018. <https://doi.org/10.1186/s12891-018-2112-9>.

DURBIN, J. **Oculus Touch Review**. 2016. Disponível em: <<https://uploadvr.com/oculus-touch-controllers-review/>>.

D'ARIO, L. et al. Conservative treatment of idiopathic scoliosis through the global postural re-education. **J Clin Case Rep**, v. 5, n. 630, p. 2, 2015. <https://doi.org/10.4172/2165-7920.1000630>.

FELTHAM, J. **Over 100,000 Oculus Rift DK2s Shipped**. 2015. Disponível em: <<https://www.vrfocus.com/2015/02/iribe-100000-oculus-rift-dk2s-shipped/>>.

\_\_\_\_\_. **Palmer Luckey Explains Oculus Rift's Constellation Tracking and Fabric**. 2015. Disponível em: <<https://www.vrfocus.com/2015/06/palmer-luckey-explains-oculus-rifts-constellation-tracking-and-fabric/>>.

- FRAIWAN, M. A. et al. Therapy central: On the development of computer games for physiotherapy. In: IEEE. **2013 9th International Conference on Innovations in Information Technology (IIT)**. [S.l.], 2013. p. 24–29. <https://doi.org/10.1109/Innovations.2013.6544388>.
- GHIRINGHELLI, R.; GANANÇA, C. F. Posturografia com estímulos de realidade virtual em adultos jovens sem alterações do equilíbrio corporal. **J Soc Bras. Fonoaudiol**, SciELO Brasil, v. 23, n. 3, p. 264–70, 2011. <https://doi.org/10.1590/S2179-64912011000300013>.
- GIBSON, E. **E3: Post-Natal Discussion**. 2009. Disponível em: <<https://www.eurogamer.net/articles/e3-post-natal-discussion-interview>>.
- GILBERT, C.; MOSS, D. Biofeedback and biological monitoring. **Handbook of mind-body medicine in primary care: Behavioral and physiological tools**, p. 109–122, 2003. <https://doi.org/10.4135/9781452232607.n8>.
- GOOGLE. **Manufacture Cardboard - Google VR**. 2016. Disponível em: <<https://vr.google.com/cardboard/manufacturers/>>.
- GREINER, K. A. Adolescent idiopathic scoliosis: radiologic decision-making. **American family physician**, v. 65, n. 9, p. 1817–1822, 2002.
- GRISAFFI, D. Posture and core conditioning. **USA: David Grisaffi**, 2007.
- GÜR, G.; AYHAN, C.; YAKUT, Y. The effectiveness of core stabilization exercise in adolescent idiopathic scoliosis: A randomized controlled trial. **Prosthetics and orthotics international**, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 41, n. 3, p. 303–310, 2017. <https://doi.org/10.1177/0309364616664151>.
- GURFINKEL, E. Physical foundations of stabilography. **Agressologie: Revue internationale de physio-biologie et de pharmacologie appliquees aux effets de l'agression**, v. 14, n. Spec No C, p. 9–13, 1973.
- HOFFMAN, H. G. et al. Virtual reality as an adjunctive non-pharmacologic analgesic for acute burn pain during medical procedures. **Annals of Behavioral Medicine**, Oxford University Press, v. 41, n. 2, p. 183–191, 2011. <https://doi.org/10.1007/s12160-010-9248-7>.
- HONG, Y. et al. Virtual reality-based collaborative design method for designing customized garment for disabled people with scoliosis. **International Journal of Clothing Science and Technology**, Emerald Publishing Limited, v. 29, n. 2, p. 226–237, 2017. <https://doi.org/10.1108/IJCST-07-2016-0077>.
- HORNE, J. P.; FLANNERY, R.; USMAN, S. Adolescent idiopathic scoliosis: diagnosis and management. **Am Fam Physician**, v. 89, n. 3, p. 193–198, 2014.
- HUFSCHMIDT, A. et al. Some methods and parameters of body sway quantification and their neurological applications. **Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten**, Springer, v. 228, n. 2, p. 135–150, 1980. <https://doi.org/10.1007/BF00365601>.
- IWATA. **Wii Fit: An Ideia Inspired By Sumo Wrestlers**. 2012. Disponível em: <[http://iwataasks.nintendo.com/interviews/#/wii/wii\\_fit/1/0](http://iwataasks.nintendo.com/interviews/#/wii/wii_fit/1/0)>.

- JACK, K. et al. Barriers to treatment adherence in physiotherapy outpatient clinics: a systematic review. **Manual therapy**, Elsevier, v. 15, n. 3, p. 220–228, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.math.2009.12.004>.
- JAMES, P. **HTC Vive Review: A Mesmerising VR Experience, if You Have the Space**. 2016. Disponível em: <<https://www.roadtovr.com/htc-vive-review-room-scale-vr-mesmerising-vr-especially-if-you-have-the-space-steamvr/>>.
- JANICKI, J. A.; ALMAN, B. Scoliosis: review of diagnosis and treatment. **Paediatrics & child health**, Oxford University Press, v. 12, n. 9, p. 771–776, 2007. <https://doi.org/10.1093/pch/12.9.771>.
- KESHNER, E.; KENYON, R.; DHAHER, Y. Postural research and rehabilitation in an immersive virtual environment. In: IEEE. **Engineering in Medicine and Biology Society, 2004. IEMBS'04. 26th Annual International Conference of the IEEE**. [S.l.], 2004. v. 2, p. 4862–4865.
- KESHNER, E. A.; KENYON, R. V. Influences on postural orientation in a virtual environment. In: IEEE. **2007 IEEE/ICME International Conference on Complex Medical Engineering**. [S.l.], 2007. p. 1307–1312. <https://doi.org/10.1109/ICCME.2007.4381955>.
- KIRNER, C.; KIRNER, T. G. Evolução e tendências da realidade virtual e da realidade aumentada. **Livro do XIII Pré-Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada, Uberlândia**, p. 10–25, 2011.
- KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. Realidade virtual e aumentada: conceitos, projeto e aplicações. In: **Livro do IX Symposium on Virtual and Augmented Reality, Petrópolis (RJ), Porto Alegre: SBC**. [S.l.: s.n.], 2007.
- KLEINER, A. F. R.; SCHLITTLER, D. X. D. C.; SÁNCHEZ-ARIAS, M. D. R. O papel dos sistemas visual, vestibular, somatosensorial e auditivo para o controle postural. **Revista Neurociências**, p. 349–357, 2011. <https://doi.org/10.34024/rnc.2011.v19.8382>.
- KO, J. Y. et al. Proposal of a new exercise protocol for idiopathic scoliosis: A preliminary study. **Medicine**, Wolters Kluwer Health, v. 97, n. 49, 2018. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000013336>.
- LANG, B. **Latest HTC Vives Are Shipping with Tweaked Base Stations, Redesigned Packaging**. 2017. Disponível em: <<https://www.roadtovr.com/latest-vive-shipping-with-tweaked-base-stations-redesigned-packaging/>>.
- LAU, K. **Your Plan for Natural Scoliosis Prevention and Treatment: Health in Your Hands**. [S.l.]: Health In Your Hands Pte Ltd, 2011.
- LI, A. et al. Virtual reality and pain management: current trends and future directions. **Pain management**, Future Medicine, v. 1, n. 2, p. 147–157, 2011. <https://doi.org/10.2217/pmt.10.15>.
- LIONHEART, S. **Oculus Touch Teardown**. 2016. Disponível em: <[https://ifixit-guide-pdfs.s3.amazonaws.com/pdf/ifixit/guide\\_75109\\_en.pdf](https://ifixit-guide-pdfs.s3.amazonaws.com/pdf/ifixit/guide_75109_en.pdf)>.



- LUIS, M. A. V. S.; ATIENZA, R. O.; LUIS, A. M. S. Immersive virtual reality as a supplement in the rehabilitation program of post-stroke patients. In: **IEEE. Next Generation Mobile Applications, Security and Technologies (NGMAST), 2016 10th International Conference on**. [S.l.], 2016. p. 47–52. <https://doi.org/10.1109/NGMAST.2016.13>.
- MAIBERG, E. **Valve and HTC Reveal Vive VR Headset**. 2015. Disponível em: <<https://www.gamespot.com/articles/valve-and-htc-reveal-vive-vr-headset/1100-6425606/>>.
- MARTINDALE, J. **Oculus Rift vs. HTC Vive**. 2018. Disponível em: <<https://www.digitaltrends.com/virtual-reality/oculus-rift-vs-htc-vive/>>.
- MENDRIN, N. et al. Progressions of isometric core training. **Strength and Conditioning Journal**, Wolters Kluwer, v. 38, n. 4, p. 50–65, 2016. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000233>.
- MERCADO, D. **Assessment of the Effects of Global Postural Re-Education on Musicians with Nonspecific Musculoskeletal Pain as Assessed by Questionnaires and Infrared Thermography**. Tese (Doutorado) — Université d'Ottawa/University of Ottawa, 2018.
- MICROSOFT. **PrimeSense Supplies 3-D-Sensing Technology to “Project Natal” for Xbox 360**. 2010. Disponível em: <[https://web.archive.org/web/20100620012436/http://www.microsoft.com/Presspass/press/2010/mar10/03-31PrimeSensePR.msp?rss\\_fdn=Press\%20Releases](https://web.archive.org/web/20100620012436/http://www.microsoft.com/Presspass/press/2010/mar10/03-31PrimeSensePR.msp?rss_fdn=Press\%20Releases)>.
- \_\_\_\_\_. **Manual do Kinect**. 2016. Disponível em: <<https://support.xbox.com/pt-BR/xbox-360/console/manual-specs>>.
- MIYAMOTO, S. **E3 2007 (IGN)**. 2017. Disponível em: <Arquivadoarquivooriginalde16deAgosto,2007>.
- MOCHIZUKI, L.; AMADIO, A. C. Aspectos biomecânicos da postura ereta: a relação entre o centro de massa e o centro de pressão. **Rev Port Cien Desp**, v. 3, n. 3, p. 77–83, 2003. <https://doi.org/10.5628/rpcd.03.03.77>.
- MONROE, M. P. **Yoga and Scoliosis: A Journey to Health and Healing**. [S.l.]: Demos Medical Publishing, 2011.
- MOREIRA, C. M. C.; SOARES, D. R. L. Análise da efetividade da reeducação postural global na protusão do ombro após a alta terapêutica. **Fisioterapia em Movimento**, v. 20, n. 1, 2017.
- MYMAX. **Manual de Instruções - Óculos de Realidade Virtual 3D**. 2016. Disponível em: <<http://www.mymax.ind.br/Marketing/Manual/8697-Datasheet-Oculos-VR-Mymax-MFYF-VR12-WH-0077-17.pdf>>.
- NEGRINI, A. et al. Scoliosis-specific exercises can reduce the progression of severe curves in adult idiopathic scoliosis: a long-term cohort study. **Scoliosis**, BioMed Central, v. 10, n. 1, p. 20, 2015. <https://doi.org/10.1186/s13013-015-0044-9>.
- \_\_\_\_\_. Adult scoliosis can be reduced through specific seas exercises: a case report. **Scoliosis**, BioMed Central, v. 3, n. 1, p. 20, 2008.

- NGUYEN, T. Serious games foundations, concepts and practice, vol. 13, no. 6. **Cham: Springer International Publishing**, 2016. <https://doi.org/10.1111/j.1740-9713.2016.00978.x>.
- NINTENDO. **What is Wii Fit Plus?** 2018. Disponível em: <<http://wiifit.com/what-is-wii-fit-plus/#balance-board>>.
- OGILVIE, J. W. Update on prognostic genetic testing in adolescent idiopathic scoliosis (ais). **Journal of Pediatric Orthopaedics**, LWW, v. 31, p. S46–S48, 2011. <https://doi.org/10.1097/BPO.0b013e3181fd87eb>.
- OPENKINECT. **Protocol Documentation**. 2012. Disponível em: <[https://openkinect.org/wiki/Protocol\\_Documentation#Control\\_Commands;a=summary](https://openkinect.org/wiki/Protocol_Documentation#Control_Commands;a=summary)>.
- ORLAND, K. **Facebook purchases VR headset maker Oculus for 2 billion**. 2014. Disponível em: <<https://arstechnica.com/gaming/2014/03/facebook-purchases-vr-headset-maker-oculus-for-2-billion/>>.
- PAYNE, W. K. et al. Does scoliosis have a psychological impact and does gender make a difference? **Spine**, LWW, v. 22, n. 12, p. 1380–1384, 1997. <https://doi.org/10.1097/00007632-199706150-00017>.
- PETIT, J.-L. A husserlian, neurophenomenologic approach to embodiment. In: **Handbook of Phenomenology and Cognitive Science**. [S.l.]: Springer, 2010. p. 201–216.
- PEUCHOT, B.; TANGUY, A.; EUDE, M. Virtual reality as an operative tool during scoliosis surgery. In: SPRINGER. **Computer Vision, Virtual Reality and Robotics in Medicine**. [S.l.], 1995. p. 549–554. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-49197-2\\_72](https://doi.org/10.1007/978-3-540-49197-2_72).
- PLUCHINO, A. et al. Pilot study comparing changes in postural control after training using a video game balance board program and 2 standard activity-based balance intervention programs. **Archives of physical medicine and rehabilitation**, Elsevier, v. 93, n. 7, p. 1138–1146, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2012.01.023>.
- POSTOLACHE, O. et al. Postural balance analysis using force platform for k-theragame users. In: IEEE. **Medical Measurements and Applications (MeMeA), 2016 IEEE International Symposium on**. [S.l.], 2016. p. 1–6. <https://doi.org/10.1109/MeMeA.2016.7533705>.
- REAMY, B. V.; SLAKEY, J. B. Adolescent idiopathic scoliosis: review and current concepts. **American family physician**, v. 64, n. 1, 2001.
- RIFT, O. **Oculus Rift Headset Para VR**. 2018. Disponível em: <<https://www.oculus.com/rift/>>.
- ROCCHI, L.; CHIARI, L.; CAPPELLO, A. Feature selection of stabilometric parameters based on principal component analysis. **Medical and Biological Engineering and Computing**, Springer, v. 42, n. 1, p. 71–79, 2004. <https://doi.org/10.1007/BF02351013>.
- ROCKIES, S. C. C. of the. 2017. Disponível em: <<http://www.spinecorrectioncenter.com/resources-articles/scoliosis-treatment-non-invasive-non-surgical-non-bracing>>.

- ROMANO, M. et al. Seas (scientific exercises approach to scoliosis): a modern and effective evidence based approach to physiotherapeutic specific scoliosis exercises. **Scoliosis**, BioMed Central, v. 10, n. 1, p. 3, 2015. <https://doi.org/10.1186/s13013-014-0027-2>.
- ROSS, M. Therapeutic exercise for spinal segmental stabilization in low back pain: Scientific basis and clinical approach. **Physical Therapy**, Oxford University Press, UK, v. 79, n. 8, p. 801, 1999.
- RUGELJ, D.; SEVSEK, F. Postural sway area of elderly subjects. **WSEAS transactions on signal processing**, v. 3, n. 2, p. 213–219, 2007.
- SAHLSTRAND, T.; PETRUSON, B. A study of labyrinthine function in patients with adolescent idiopathic scoliosis i. an electro-nystagmographic study. **Acta orthopaedica Scandinavica**, Taylor & Francis, v. 50, n. 6, p. 759–769, 1979. <https://doi.org/10.3109/17453677908991307>.
- SAHLSTRAND, T.; PETRUSON, B.; ÖRTENGREN, R. Vestibulospinal reflex activity in patients with adolescent idiopathic scoliosis: postural effects during caloric labyrinthine stimulation recorded by stabilometry. **Acta Orthopaedica Scandinavica**, Taylor & Francis, v. 50, n. 3, p. 275–281, 1979. <https://doi.org/10.3109/17453677908989768>.
- SAMSUNG. **Gear VR - Manual do Usuário**. 2016. Disponível em: <<https://www.samsung.com/br/support/model/SM-R322NZWAZTO/>>.
- SAPOSNIK, G. et al. Effectiveness of virtual reality using wii gaming technology in stroke rehabilitation: a pilot randomized clinical trial and proof of principle. **Stroke**, Am Heart Assoc, v. 41, n. 7, p. 1477–1484, 2010. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.110.584979>.
- SCHAHAM, N. G. et al. Game analysis and clinical use of the xbox-kinect for stroke rehabilitation. **International Journal of Rehabilitation Research**, Wolters Kluwer, v. 41, n. 4, p. 323–330, 2018. <https://doi.org/10.1097/MRR.0000000000000302>.
- SCHMIDT, A. et al. Estabilometria: estudo do equilíbrio postural através da baropodometria eletrônica. In: **XIII Congresso Brasileiro de Ciências do Esporte. 25 anos de história: o percurso do CBCE na educação física brasileira**. [S.l.: s.n.], 2003.
- SCOLISMART, C. **Scoliosis Braces: Why Bracing is Outdated Ineffective**. 2017. Disponível em: <<https://www.treatingscoliosis.com/scoliosis-bracing/>>.
- \_\_\_\_\_. **Scoliosis by the Numbers**. 2017. Disponível em: <<https://www.treatingscoliosis.com/infographics/scoliosis-by-the-numbers/>>.
- SHAH, M. S. A. Scoliosis. **Nemours Foundation**, v. 1, n. 1, 2009.
- SHI, L. et al. Volumetric changes in cerebellar regions in adolescent idiopathic scoliosis compared with healthy controls. **The Spine Journal**, Elsevier, v. 13, n. 12, p. 1904–1911, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2013.06.045>.
- SHUM, H. P. et al. Real-time posture reconstruction for microsoft kinect. **IEEE Trans. Cybernetics**, v. 43, n. 5, p. 1357–1369, 2013. <https://doi.org/10.1109/TCYB.2013.2275945>.

- SIDDIQUI, A. **Scoliosis and It's Side Effects**. 2017. Disponível em: <<https://www.treatingscoliosis.com/blog/scoliosis-and-its-side-effects/>>.
- SIMONEAU, M. et al. Altered sensory-weighting mechanisms is observed in adolescents with idiopathic scoliosis. **BMC neuroscience**, BioMed Central, v. 7, n. 1, p. 68, 2006. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-7-68>.
- SIRIBORVORNANRATANAKUL, T. A study of virtual reality headsets and physiological extension possibilities. In: SPRINGER. **International Conference on Computational Science and Its Applications**. [S.l.], 2016. p. 497-508. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-42108-7\\_38](https://doi.org/10.1007/978-3-319-42108-7_38).
- SOARES, A. V. A contribuição visual para o controle postural. **Rev Neurocienc**, v. 18, n. 3, p. 370-379, 2010. <https://doi.org/10.34024/rnc.2010.v18.8460>.
- SOUCHARD, P. **Rpg - Fundamentos da Reeducação Postural Global**. São Paulo, SP, Brasil: Perigee Books, 2003.
- SOUCHARD, P.-E. et al. Rieducazione posturale globale. **EMC-Medicina Riabilitativa**, Elsevier, v. 16, n. 3, p. 1-10, 2009. [https://doi.org/10.1016/S1283-078X\(09\)70207-X](https://doi.org/10.1016/S1283-078X(09)70207-X).
- STOFFREGEN, T. A. et al. Modulating postural control to facilitate visual performance. **Human Movement Science**, Elsevier, v. 19, n. 2, p. 203-220, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0167-9457\(00\)00009-9](https://doi.org/10.1016/S0167-9457(00)00009-9).
- SUTHERLAND, I. E. A head-mounted three dimensional display. In: ACM. **Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I**. [S.l.], 1968. p. 757-764. <https://doi.org/10.1145/1476589.1476686>.
- TAVARES, G. M. S. et al. Treatment of scoliosis by global postural reeducation (gpr) in totally visually impaired individuals: a case series. **Scientia Medica**, Pontificia Universidad Católica de Río Grande del Sur, v. 25, n. 3, p. 6, 2015.
- TEODORI, R. M. et al. Reeducação postural global: uma revisão da literatura. **Revista brasileira de fisioterapia**, Associação Brasileira de Pesquisa e Pós-Graduação em Fisioterapia, v. 15, n. 3, 2011.
- TEREKHOV, Y. Stabilometry as a diagnostic tool in clinical medicine. **Canadian Medical Association Journal**, Canadian Medical Association, v. 115, n. 7, p. 631, 1976.
- THERAPY, P. **Are Physical Therapy Exercises Supposed to Hurt?** 2017. Disponível em: <<https://chphysicaltherapy.com/blog/are-physical-therapy-exercises-supposed-to-hurt/>>.
- TORI, R.; KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. A. **Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada**. [S.l.]: Editora SBC, 2006.
- TROBISCH, P.; SUESS, O.; SCHWAB, F. Idiopathic scoliosis. **Deutsches Ärzteblatt International**, Deutscher Arzte-Verlag GmbH, v. 107, n. 49, p. 875, 2010. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2010.0875>.
- UNITY. **EdTech**. 2018. Disponível em: <<https://unity.com/solutions/edtech>>.

- VALVE, C. **SteamVR Plugin - Asset Store**. 2018. Disponível em: <<https://assetstore.unity.com/packages/tools/integration/steamvr-plugin-32647/>>.
- VASILYEV, V.; BORISOV, V.; SYSKOV, A. Biofeedback methodology: A narrative review. In: IEEE. **2019 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON)**. [S.l.], 2019. p. 11–16. <https://doi.org/10.1109/SIBIRCON48586.2019.8958019>.
- VAUGOYEAU, M. et al. Proprioceptive contribution of postural control as assessed from very slow oscillations of the support in healthy humans. **Gait & posture**, Elsevier, v. 27, n. 2, p. 294–302, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2007.04.003>.
- VIRK, S.; MCCONVILLE, K. M. V. Virtual reality applications in improving postural control and minimizing falls. In: IEEE. **2006 international conference of the IEEE engineering in medicine and biology society**. [S.l.], 2006. p. 2694–2697. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2006.260751>.
- VIVE. **How Can We Help**. 2018. Disponível em: <<https://www.vive.com/us/support/vive/>>.
- W., K. **How to Strengthen Your Core Muscles**. 2018. Disponível em: <<https://caloriebee.com/workout-routines/Strengthening-your-Core#>>.
- WADE, M. G.; JONES, G. The role of vision and spatial orientation in the maintenance of posture. **Physical therapy**, Oxford University Press, v. 77, n. 6, p. 619–628, 1997. <https://doi.org/10.1093/ptj/77.6.619>.
- WEINSTEIN, S. L. The natural history of adolescent idiopathic scoliosis. **Journal of Pediatric Orthopaedics**, LWW, v. 39, p. S44–S46, 2019. <https://doi.org/10.1097/BPO.0000000000001350>.
- WIBMER, C. et al. Video-game-assisted physiotherapeutic scoliosis-specific exercises for idiopathic scoliosis: case series and introduction of a new tool to increase motivation and precision of exercise performance. **Scoliosis and spinal disorders**, BioMed Central, v. 11, n. 1, p. 44, 2016. <https://doi.org/10.1186/s13013-016-0104-9>.
- WIHLIDAL, G. **Game engine toolset development**. [S.l.]: Thomson Course Technology, 2006.
- WILK, B. et al. The effect of scoliosis fusion on spinal motion: a comparison of fused and nonfused patients with idiopathic scoliosis. **Spine**, LWW, v. 31, n. 3, p. 309–314, 2006. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000197168.11815.ec>.
- WILLIAMS, M. A. et al. Active treatment for idiopathic adolescent scoliosis (activates): a feasibility study. NIHR Journals Library, 2015.
- WILSON, C. J.; SORANZO, A. The use of virtual reality in psychology: A case study in visual perception. **Computational and mathematical methods in medicine**, Hindawi, v. 2015, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/151702>.
- WINTER, D. A.; PATLA, A. E.; FRANK, J. S. Assessment of balance control in humans. **Med Prog Technol**, v. 16, n. 1-2, p. 31–51, 1990.

WOLLSEIFEN, T. Different methods of calculating body sway area. **Pharmaceutical Programming**, Taylor & Francis, v. 4, n. 1-2, p. 91–106, 2011. <https://doi.org/10.1179/175709311X13166801334271>.

WRIGHT, W. G. Using virtual reality to induce cross-axis adaptation of postural control: implications for rehabilitation. In: IEEE. **Virtual Rehabilitation (ICVR), 2013 International Conference on**. [S.l.], 2013. p. 289–294. <https://doi.org/10.1109/ICVR.2013.6662095>.

ZEISS. **VR ONE Plus Headset Manual**. 2016. Disponível em: <[https://www.zeiss.com/content/dam/virtual-reality/english/downloads/pdf/manual/\\_zeiss\\_vr-one-plus\\_manual\\_and\\_safety\\_upd\\_digital\\_en.pdf](https://www.zeiss.com/content/dam/virtual-reality/english/downloads/pdf/manual/_zeiss_vr-one-plus_manual_and_safety_upd_digital_en.pdf)>.