



PGDESIGN | Programa de Pós-Graduação
Mestrado | Doutorado



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

Gustavo Luiz dos Santos Dewes

ERGOMOTION: simulador digital para análises ergonômicas com captura de movimentos.

Tese de Doutorado

Porto Alegre

2024

GUSTAVO LUIZ DOS SANTOS DEWES

ErgoMotion: Simulador digital para análises ergonômicas com captura de movimentos.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em *Design*.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira.

Coorientadora: Prof^a. Dra. Clariana Fischer Brendler.

Porto Alegre

2024

CIP - Catalogação na Publicação

dos Santos Dewes, Gustavo Luiz
Simulador digital para análises ergonômicas com
captura de movimentos / Gustavo Luiz dos Santos Dewes.
-- 2024.
345 f.
Orientador: Fábio Gonçalves Teixeira.

Coorientador: Clariana Fischer Brendler.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Faculdade de Arquitetura, Programa de
Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, BR-RS, 2024.

1. Análises ergonômicas. 2. Captura de movimentos.
3. Motor de jogos. 4. Microsoft Kinect. 5. Bike Fit.
I. Gonçalves Teixeira, Fábio, orient. II. Fischer
Brendler, Clariana, coorient. III. Título.

GUSTAVO LUIZ DOS SANTOS DEWES

ERGOMOTION: SIMULADOR DIGITAL PARA ANÁLISES ERGONÔMICAS COM CAPTURA DE MOVIMENTOS.

Esta Tese foi julgada adequada para a obtenção do Título de Doutor em Design, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS.

Porto Alegre, 13 de Março de 2024.

Prof. Dr. Fabio Pinto da Silva

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS.

Banca Examinadora:

Orientador: **Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira**

Programa de Pós-Graduação em Design (PGDesign/UFRGS).

Prof. Dr. Régio Pierre da Silva

Programa de Pós-Graduação em Design (PGDesign/UFRGS) - Examinador Interno.

Prof. Dr. Fernando Batista Bruno

Departamento de Design e Expressão Gráfica (DEG/UFRGS) - Examinador Externo.

Prof. Dr. Pablo Ermida Corrêa

Atitus Educação (Porto Alegre) - Examinador Externo.

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos ao meu orientador, Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira, pela sua orientação, paciência e conhecimento inestimável. Da mesma forma, estendo meus agradecimentos à minha coorientadora, Profa. Dra. Clariana Fischer Brendler, por suas valiosas contribuições e suporte acadêmico. Um agradecimento especial ao Laboratório de Virtual Design da UFRGS, cujas instalações e recursos foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Não posso deixar de reconhecer o apoio incansável dos meus amigos e familiares, que foram pilares de suporte emocional e motivacional durante todo este processo. Em particular, agradeço à minha namorada, companheira constante nos últimos dois anos, cuja presença e encorajamento foram fundamentais.

Por fim, dedico este trabalho à memória de meus queridos pais, Roseni dos Santos e Olavo Luiz Dewes. Sem o amor, os valores e os ensinamentos de vocês, nada disso seria possível. Vocês continuam a ser a inspiração maior em minha jornada. Queridos pais, vocês estão presentes nos meus pensamentos em todos os momentos.

Pelo apoio da CAPES e do PGDesign, o meu muito obrigado.

Este trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

RESUMO

DEWES. G. L. S. **ErgoMotion: Simulador digital para análises ergonômicas com captura de movimentos**. 2024. 345 f. Tese (Doutorado em Design) – Escola de Engenharia / Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024.

Há décadas as tecnologias digitais vêm sendo exploradas como ferramentas chave para análises ergonômicas. Neste contexto, a presente tese de doutorado se dedica ao desenvolvimento de um simulador digital para as análises de movimentos. Esse simulador se caracteriza por ser *user-friendly*, ou seja, de fácil manipulação, oferecendo uma solução de baixo custo e acessível, tornando-o uma solução para análises de conforto e eficiência. O sistema óptico de captura de movimentos *Kinect V.1* da *Microsoft* foi escolhido como ferramenta para captura de movimentos, considerando sua acessibilidade e baixo custo. O *software*, foi desenvolvido na plataforma *Unity 3D*, que utiliza programação orientada a objetos, com *scripts* em *C#* e emprega representações cromáticas para responder de forma intuitiva aos movimentos capturados. A base do *software* fundamenta-se em conceitos da goniometria, que estuda as amplitudes do corpo humano, e da cinesiologia, que se dedica ao estudo aprofundado dos movimentos humanos, analisando como os músculos e articulações trabalham em conjunto para produzir movimentos. Duas bibliotecas foram desenvolvidas para tornar o simulador mais eficiente. A primeira biblioteca, focada em cinesiologia, inclui 42 análises de movimentos articulares, cada uma acompanhada de animações que demonstram os movimentos e facilitam a compreensão das amplitudes articulares. Esta biblioteca emprega uma escala tonal de seis cores, variando do verde ao vermelho através de tons intermediários, para proporcionar uma identificação rápida e intuitiva tanto de desconfortos quanto de amplitudes máximas articulares. Na segunda biblioteca, voltada para a ergonomia de bicicletas de competição, ou *Bike Fit*, a análise utiliza uma escala de quatro cores. Os ângulos ideais para quatro tipos de bicicletas de competição são indicados em verde, e à medida que o ângulo se distancia do ideal, as cores transitam do verde para o vermelho, destacando assim os desvios dos posicionamentos mais confortáveis e eficientes. Esta tese tem como objetivo desenvolver uma ferramenta amplamente útil

em diversas áreas, resultando em um *software* que possui características modeláveis e escaláveis. Esta estrutura flexível facilita a inclusão de novas bibliotecas para futuras análises de diferentes produtos, expandindo assim a capacidade de realizar avaliações ergonômicas mais abrangentes e eficazes. A ênfase em manter o *software* economicamente acessível e assegurar sua disponibilidade para um espectro mais amplo de usuários.

Palavras-chave: Análises ergonômicas. Captura de movimentos. Motor de jogos. *Microsoft Kinect. Bike Fit.*

ABSTRACT

DEWES. G. L. S. **ErgoMotion: A Digital Simulator for Ergonomic Analyses with Motion Capture**. 2024. 345 p. Thesis (Doctorate in Design) – School of Engineering / Faculty of Architecture, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024.

For decades, digital technologies have been explored as key tools for ergonomic analyses. In this context, the present doctoral thesis is dedicated to the development of a digital simulator for movement analysis. This simulator is characterized by being user-friendly, that is, easy to manipulate, offering a low-cost and accessible solution, making it a viable option for analyzing comfort and efficiency. The Kinect V.1 optical motion capture system from Microsoft was chosen as the motion capture tool, considering its accessibility and low cost. The software was developed on the Unity 3D platform, utilizing object-oriented programming with scripts in C# and employing chromatic representations to intuitively respond to captured movements. The software is based on concepts of goniometry, which studies the ranges of human motion, and kinesiology, which delves into the in-depth study of human movements, analyzing how muscles and joints work together to produce movements. Two libraries were developed to make the simulator more efficient. The first library, focused on kinesiology, includes 42 analyses of joint movements, each accompanied by animations that demonstrate the movements and facilitate the understanding of joint ranges. This library uses a six-color tonal scale, ranging from green to red through intermediate shades, to provide quick and intuitive identification of both discomforts and maximum joint ranges. The second library, aimed at the ergonomics of competitive bicycles, or Bike Fit, uses a four-color scale for analysis. The ideal angles for four types of competitive bicycles are indicated in green, and as the angle deviates from the ideal, the colors transition from green to red, thus highlighting the deviations from the most comfortable and efficient positions. This thesis aims to develop a tool that is widely useful in various fields, resulting in software with modelable and scalable characteristics. This flexible structure facilitates the inclusion of new libraries for future analyses of different products, thereby

expanding the capacity to conduct more comprehensive and effective ergonomic evaluations.

Emphasis is placed on maintaining the software's economic accessibility and ensuring its availability to a broader spectrum of users.

Keywords: Ergonomic analyses. Motion capture. Game engine. Microsoft Kinect. Bike Fit.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Exemplos angulares de uma mesa para estudos	28
Figura 2 -	Homem Vitruviano	31
Figura 3 -	Representação dos planos perpendiculares	34
Figura 4 -	Flexão e Extensão	35
Figura 5 -	Abdução e Adução	36
Figura 6 -	Rotação	36
Figura 7 -	Articulação em dobradiça	37
Figura 8 -	Articulação em pivô	37
Figura 9 -	Articulação elipsóide	38
Figura 10 -	Articulação esferóide	39
Figura 11 -	Articulação plana	39
Figura 12 -	Articulação selar	40
Figura 13 -	Articulação condiloide	41
Figura 14 -	Coluna vertebral	42
Figura 15 -	Representação dos movimentos do punho: (A) Flexão, (B) Extensão,	44
Figura 16 -	Movimentos do cotovelo: (A) Flexão, (B) Pronação, (C) Supinação	45
Figura 17 -	Movimentos do cotovelo: (A) Flexão, (B) Extensão, (C) Abdução, (D) Adução, (E) Rotação medial, (F) Rotação lateral	46
Figura 18 -	Abdução horizontal e Adução horizontal	47
Figura 19 -	(A) Flexão, (B) Extensão, (C) Flexão lateral da cervical	47
Figura 20 -	Rotação unilateral da cervical	48
Figura 21 -	(A) Flexão, (B) Flexão lateral, (C) Extensão, (D) Rotação	48
Figura 22 -	(A) Flexão, (B) Extensão, (C) Abdução, (D) Adução, (E) Rotação medial, (F) Rotação lateral	49
Figura 23 -	(A) Flexão, (B) Extensão, (C) Rotação medial, (D) Rotação lateral	50
Figura 24 -	(A) Flexão, (B) Extensão, (C) Adução, (D) Abdução	51
Figura 25 -	Rotoscópio de Max Fleischer	52
Figura 26 -	ANIMAC de Lee Harrison III	53
Figura 27 -	“Sexy Robot” comercial de comida enlatada	54
Figura 28 -	Mat, o fantasma animação com captura de movimentos em tempo real	55
Figura 29 -	Kinect® 1.0	58
Figura 30 -	Articulações detectadas pelo Kinect®	59
Figura 31 -	JenikBosch template	60
Figura 32 -	Kiel Manikin	60
Figura 33 -	First Man	61
Figura 34 -	Sammy	62
Figura 35 -	Jack	63
Figura 36 -	Human Builder	64
Figura 37 -	RAMSIS	65

Figura 38 -	SANTOS	65
Figura 39 -	MADYMO	66
Figura 40 -	CASIMIR	67
Figura 41 -	AnyBody	68
Figura 42 -	Software BoB Biomechanics	69
Figura 43 -	HERIP	70
Figura 44 -	Proposta de nova mesa de trabalho com melhorias ergonômicas	71
Figura 45 -	Maze War	72
Figura 46 -	Driller	73
Figura 47 -	Unity Interface	75
Figura 48 -	Pesquisa de preferência nacional de game engines	76
Figura 49 -	Unreal Interface	77
Figura 50 -	Fausto Coppi	78
Figura 51 -	Jacques Anquetil	79
Figura 52 -	Greg Lemond Tour de France em 1989	79
Figura 53 -	Comprimento dos entrepernas do ciclista	80
Figura 54 -	Modo de aplicar método Greg Lemond	81
Figura 55 -	Centro de avaliações de Bike Fit com tecnologia Retül	85
Figura 56 -	Etapas da Design Science Research	89
Figura 57 -	Mapa mental	91
Figura 58 -	Busca por periódicos na base de dados SCOPUS	114
Figura 59 -	Busca por periódicos na base de dados PubMed	114
Figura 60 -	Busca por periódicos na base de dados IEEE Xplore	115
Figura 61 -	Busca por periódicos na base de dados Springer Link	115
Figura 62 -	Desenho do método do primeiro filtro de leitura	117
Figura 63 -	Escala de diferencial semântico	127
Figura 64 -	BoB Biomechanics Análise REBA	132
Figura 65 -	BoB Biomechanics Análise NIOSH	133
Figura 66 -	BoB Biomechanics Análise RULA	133
Figura 67 -	Movimentos dos punhos	137
Figura 68 -	Movimentos dos cotovelos	137
Figura 69 -	Movimentos dos ombros	138
Figura 70 -	Movimentos da coluna vertebral cervical	139
Figura 71 -	Movimentos da coluna vertebral lombar	139
Figura 72 -	Movimentos dos quadris	140
Figura 73 -	Movimentos dos joelhos	140
Figura 74 -	Movimentos dos tornozelos	141
Figura 75 -	Estudo inicial sobre Bike Fit	142
Figura 76 -	Ângulos ideais para as articulações dos cotovelos	146
Figura 77 -	Ângulos ideais para as articulações dos ombros	147
Figura 78 -	Ângulos ideais para as articulações dos quadris	148
Figura 79 -	Ângulos ideais dos joelhos em uma <i>Mountain Bike</i>	148
Figura 80 -	Ângulos ideais dos joelhos em uma <i>Road Bike</i>	149
Figura 81 -	Ângulos ideais dos joelhos em uma <i>Time Trial Bike</i>	150
Figura 82 -	Ângulos ideais dos joelhos em uma <i>Triathlon Bike</i>	150

Figura 83 -	Ângulos ideais para as articulações do tornozelo em uma <i>Mountain Bike</i>	151
Figura 84 -	Ângulos ideais para as articulações do tornozelo em uma <i>Road Bike</i>	152
Figura 85 -	Ângulos ideais para as articulações do tornozelo em uma <i>Triathlon Bike</i>	152
Figura 86 -	Ângulos ideais para as articulações do tornozelo em uma <i>Time Trial Bike</i>	153
Figura 87 -	Modelos “ <i>skeleton</i> ” na plataforma <i>Sketchfab.com</i>	154
Figura 88 -	Processo de “ <i>rigging</i> ” com animação “ <i>Tpose</i> ”	155
Figura 89 -	Mudanças das proporções corporais durante o crescimento	156
Figura 90 -	(A) Imagem de referência usada (B) Modelo final ErgoMotion (zero meses)	157
Figura 91 -	(A) Imagem de referência usada (B) Modelo final ErgoMotion (2 anos)	157
Figura 92 -	(A) Imagem de referência usada (B) Modelo final ErgoMotion (7 anos)	158
Figura 93 -	Processo de “ <i>rigging</i> ” do recém-nascido	158
Figura 94 -	Etapa inicial de calibração do <i>software</i> para o uso de dois <i>Kinects®</i>	161
Figura 95 -	Layout do estúdio utilizado nas gravações de cinesiologia	162
Figura 96 -	Pontos de calibração nas extremidades dos quadros	163
Figura 97 -	Nuvem de pontos formada no <i>iPi Mocap Studio</i>	164
Figura 98 -	Modelo esquelético em movimento no <i>iPi Mocap Studio</i>	165
Figura 99 -	Processo de captura de movimento em uma <i>Mountain Bike</i>	166
Figura 100 -	Visão geral do cenário ErgoMotion	169
Figura 101 -	Menu lateral das articulações e movimentos no ErgoMotion	171
Figura 102 -	Linha do tempo de movimento	171
Figura 103 -	Representação gráfica do menu do canto superior direito	173
Figura 104 -	Interface de seleção de modalidade no ErgoMotion	175
Figura 105 -	Explicação das bibliotecas existentes ao clicar no botão “?”	175
Figura 106 -	Categorias de análise disponíveis na biblioteca “ <i>Bike Fit</i> ” do ErgoMotion	176
Figura 107 -	Detalhes sobre o funcionamento do botão “?” no ErgoMotion <i>Bike Fit</i>	177
Figura 108 -	Tela com informação e inicialização das análises de <i>Bike Time Tria</i>	177
Figura 109 -	Tela com informação e inicialização das análises de <i>Mountain Bike</i>	178
Figura 110 -	Tela com informação e inicialização das análises de <i>Road Bike</i>	178
Figura 111 -	Tela com informação e inicialização das análises de <i>Bike Triathlon</i>	179
Figura 112 -	Informações angulares das análises de <i>Mountain Bike</i>	179
Figura 113 -	Interface do ErgoMotion após ativação do botão “Analisar <i>Road Bike</i> ”	180
Figura 114 -	Interface da biblioteca de cinesiologia com sprites dos movimentos	181
Figura 115 -	Guia explicativo das análises de cinesiologia e sistema de cores do <i>software</i>	182
Figura 116 -	Logotipo adaptativo do ErgoMotion desenvolvido para ícones compactos	183
Figura 117 -	Reinterpretação esquelética do “Homem Vitruviano” como identidade visual do ErgoMotion	184
Figura 118 -	Representação tipográfica dos logotipos do <i>software</i> ErgoMotion	184
Figura 119 -	Interface de parametrização de movimento no <i>Unity</i>	186
Figura 120 -	Editor de gradiente do ErgoMotion no <i>Unity</i>	187
Figura 121 -	Paleta cromática do “Ponto perfeito” para <i>Bike Fit</i> no ErgoMotion	189

Figura 122 - Fluxograma Estrutural do ErgoMotion	194
Figura 123 - Visão digital do canal ErgoMotion no <i>YouTube</i>	196
Figura 124 - Detalhamento do processo de captura de movimentos para ErgoMotion: da calibração à implementação	196
Figura 125 - ErgoMotion introdução à interface do <i>software</i>	197
Figura 126 - Explorando ErgoMotion análises biomecânicas e de cinesiologia	198
Figura 127 - ErgoMotion para análise ergonômica em bicicleta de competição (<i>Bike Fit</i>)	198
Figura 128 - Captura dos movimentos com <i>Kinect® 1</i> (extensão do ombro)	200
Figura 129 - Captura dos movimentos com <i>Kinect® 2</i> (extensão do ombro)	200
Figura 130 - Valores utilizados para abdução do punho no ErgoMotion	202
Figura 131 - Eixo do movimento e sentido do círculo do sinalizador de conforto	202
Figura 132 - Representação visual da abdução do punho no ErgoMotion	203
Figura 133 - Sequência da adução do punho e suas amplitudes no ErgoMotion	204
Figura 134 - Visualização da extensão do punho no ErgoMotion	205
Figura 135 - Visualização da flexão do punho no ErgoMotion	206
Figura 136 - Interpretação visual dos estágios de extensão do cotovelo no ErgoMotion	207
Figura 137 - Visualização dos estágios de flexão do cotovelo no ErgoMotion	208
Figura 138 - Demonstração visual da pronação do antebraço no ErgoMotion	209
Figura 139 - Visualização completa da supinação do antebraço no ErgoMotion	210
Figura 140 - Visualização dos estágios de abdução do ombro no ErgoMotion	211
Figura 141 - Interpretação do movimento de adução do braço no ErgoMotion, com predominância da cor verde/limão	211
Figura 142 - Representação detalhada da abdução horizontal do braço no ErgoMotion	212
Figura 143 - Visualização completa da adução horizontal do braço no ErgoMotion	213
Figura 144 - Ilustração completa da extensão do braço no ErgoMotion	214
Figura 145 - Visualização completa da flexão do braço no ErgoMotion	215
Figura 146 - Ilustração da rotação lateral do braço no ErgoMotion	216
Figura 147 - Visualização completa da rotação medial do braço no ErgoMotion	217
Figura 148 - Visualização do movimento de extensão cervical no ErgoMotion	218
Figura 149 - Análise da flexão cervical no ErgoMotion e identificação de erro na captura do movimento	219
Figura 150 - Visualização completa da flexão lateral cervical no ErgoMotion	220
Figura 151 - Análise da rotação unilateral no ErgoMotion	221
Figura 152 - Visualização parcial da extensão lombar no ErgoMotion	222
Figura 153 - Visualização parcial da flexão lombar no ErgoMotion	222
Figura 154 - Representação completa da flexão lateral lombar no ErgoMotion	223
Figura 155 - Visualização completa da rotação lombar no ErgoMotion	224
Figura 156 - Representação completa da abdução do quadril no ErgoMotion	225
Figura 157 - Visualização do movimento completo de adução do quadril no ErgoMotion	225
Figura 158 - Representação completa da extensão do quadril no ErgoMotion	226
Figura 159 - Representação total da flexão do quadril no ErgoMotion	227
Figura 160 - Visualização completa da rotação lateral do quadril no ErgoMotion	227
Figura 161 - Representação completa da rotação medial do quadril no ErgoMotion	228

Figura 162 -	Visualização detalhada da extensão do joelho no ErgoMotion, com variedade de cores	229
Figura 163 -	Ilustração da flexão do joelho no ErgoMotion, com todos os estágios de cores	229
Figura 164 -	Demonstração da rotação lateral do joelho no ErgoMotion, com espectro completo de cores	230
Figura 165 -	Demonstração da rotação medial do joelho no ErgoMotion, com espectro completo de cores	231
Figura 166 -	Representação completa da abdução do tornozelo no ErgoMotion	232
Figura 167 -	Análise do movimento de adução do tornozelo no ErgoMotion, com ausência da fase inicial	233
Figura 168 -	Visualização completa da extensão do tornozelo no ErgoMotion	234
Figura 169 -	Representação completa da flexão do tornozelo no ErgoMotion	235
Figura 170 -	Análise do cotovelo em posição <i>Time Trial</i> , com verificação por goniometria, no ErgoMotion	236
Figura 171 -	Codificação cromática de ângulos de cotovelo, em posição <i>Triathlon</i> , no ErgoMotion	237
Figura 172 -	Avaliação de ângulos de cotovelo, em posição <i>Mountain Bike</i> , validada por goniometria, no ErgoMotion	238
Figura 173 -	Avaliação de ângulos de cotovelo, em bicicleta <i>Road Bike</i> , com verificação por goniometria, no ErgoMotion	239
Figura 174 -	Avaliação de ângulos de ombro, em posição <i>Time Trial</i> , com goniometria, no ErgoMotion	240
Figura 175 -	Avaliação ergonômica dos ângulos de ombro, em posição <i>Triathlon</i> , no ErgoMotion	241
Figura 176 -	Avaliação de ângulos de ombro, em posição <i>Mountain Bike</i> , com verificação por goniometria, no ErgoMotion	242
Figura 177 -	Análise de ângulos de ombro em posição <i>Road Bike</i> , com verificação por goniometria, no ErgoMotion	243
Figura 178 -	Análise ergonômica da região lombar em posição <i>Time Trial</i> no ErgoMotion	244
Figura 179 -	Avaliação ergonômica da região lombar, em posição <i>Triathlon</i> , com verificação por goniometria, no ErgoMotion	245
Figura 180 -	Avaliação ergonômica da região lombar, em posição <i>Mountain Bike</i> , no ErgoMotion	246
Figura 181 -	Avaliação ergonômica da região lombar, em posição <i>Road Bike</i> , com verificação por goniometria, no ErgoMotion	247
Figura 182 -	Avaliação ergonômica da região do quadril, em posição <i>Time Trial</i> , no ErgoMotion	248
Figura 183 -	Avaliação ergonômica da região do quadril, em posição <i>Triathlon</i> , com verificação por goniometria, no ErgoMotion	249
Figura 184 -	Avaliação ergonômica da região do quadril, em posição <i>Mountain Bike</i> , com verificação por goniometria, no ErgoMotion	250
Figura 185 -	Avaliação ergonômica da região do quadril, em posição <i>Road Bike</i> , no ErgoMotion	251
Figura 186 -	Análise da flexão plantar do tornozelo nas modalidades <i>Time Trial</i> , <i>Triathlon</i> , <i>Mountain Bike</i> e <i>Road Bike</i>	252
Figura 187 -	Análise da dorsiflexão do tornozelo, no ciclismo, com sistema ErgoMotion	253

Figura 188 -	Análise da flexão do joelho em bicicleta <i>Time Trial</i> e <i>Triathlon</i> , no ErgoMotion	254
Figura 189 -	Análise da extensão do joelho em <i>Mountain Bike</i> e <i>Road Bike</i> , com goniometria, no ErgoMotion	255
Figura 190 -	Análise da flexão do joelho em <i>Time Trial</i> , <i>Triathlon</i> e <i>Mountain Bike</i> , no ErgoMotion	256
Figura 191 -	Análise da flexão do joelho, em <i>Road Bike</i> , no ErgoMotion	257
Figura 192 -	Visualização da experiência inicial com <i>Bike Fit</i>	258
Figura 193 -	Análise das dimensões da bicicleta <i>Road Bike</i> para 1m 88cm	259
Figura 194 -	Avaliação ergonômica, com ErgoMotion, em bicicleta <i>Road Bike</i> pequena, selim alto, com ciclista de 1m 88cm	260
Figura 195 -	Análise ergonômica em bicicleta <i>Road Bike</i> pequena, com selim baixo, no ErgoMotion	261
Figura 196 -	Captura de movimento em <i>Mountain Bike</i> com quadro pequeno	262
Figura 197 -	Análise ergonômica em bicicleta <i>Mountain Bike</i> aro 26, com selim alto, no ErgoMotion	263
Figura 198 -	Análise ergonômica de extensão do joelho e outras articulações, em bicicleta <i>Mountain Bike</i> , no ErgoMotion	265
Figura 199 -	Bicicleta ergométrica utilizada nas experiências	266
Figura 200 -	Verificação de extensão e flexão de joelhos e flexão da lombar, em uma <i>Road Bike</i>	267
Figura 201 -	Avaliação ergonômica de flexão do ombro, extensão do cotovelo e flexão do quadril em <i>Road Bike</i>	267
Figura 202 -	Análise comparativa dos ângulos de tornozelo com modalidades diversificadas de ciclismo	268
Figura 203 -	Análise integrada da extensão e flexão do joelho, em <i>Mountain Bike</i> , <i>Time Trial</i> e <i>Triathlon</i>	268
Figura 204 -	Avaliação da flexão lombar em bicicleta <i>Time Trial</i> : análise postural do ator	269
Figura 205 -	Análise ergonômica em <i>Mountain Bike</i> : flexão de ombro, extensão de cotovelo e flexão de quadril	269
Figura 206 -	Avaliação da flexão lombar em posição <i>Time Trial</i> : demonstração do ângulo fechado	270
Figura 207 -	Avaliação de postura em bicicleta <i>Time Trial</i> e <i>Triathlon</i> : foco em cotovelo, quadril e lombar	270
Figura 208 -	Análise ergonômica de <i>Triathlon</i> : enfoque nos ângulos de ombro e quadril	271
Figura 209 -	Simulação de <i>Time Trial</i>	271
Figura 210 -	Simulação de <i>Bike Triathlon</i>	272
Figura 211 -	Simulação de <i>Mountain Bike</i>	273
Figura 212 -	Simulação de <i>Road Bike</i>	273
Figura 213 -	Simulação ergonômica de bicicleta <i>Triathlon</i> : avaliação detalhada de movimentos e posturas no software ErgoMotion	274
Figura 214 -	Avaliação ergonômica em simulação de bicicleta <i>Time Trial</i> com bicicleta ergométrica, no ErgoMotion	275
Figura 215 -	Métodos de pontuação RULA: análise de ângulos e representação <i>Voxel</i> em manequim virtual	335

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Ângulos articulares recomendados pela <i>Retül</i>	87
Quadro 2 -	Identificação de artefatos para avaliação de postura e movimentos humanos	93
Quadro 3 -	Identificação de <i>softwares</i> modelos humanos digitais	96
Quadro 4 -	Artefatos propostos para a captura de movimentos (<i>hardware</i>)	98
Quadro 5 -	Artefatos identificados para a captura de movimentos usando o <i>Microsoft Kinect®</i> (<i>software</i>)	100
Quadro 6 -	Comparação entre <i>Unity 3D</i> e <i>Unreal Engine</i>	102
Quadro 7 -	Especificações do <i>software</i> ErgoMotion	128

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA	19
1.2. DELIMITAÇÃO DO TEMA	22
1.3. PROBLEMA DA PESQUISA	23
1.4. HIPÓTESE	23
1.5. OBJETIVO GERAL	23
1.6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
1.7 JUSTIFICATIVA	24
1.8. ESTRUTURA DA TESE	26
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	27
2.1. ERGONOMIA NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS	27
2.2. AVALIAÇÃO DE POSTURAS E MOVIMENTOS HUMANOS	30
2.3. O ESTUDO DOS MOVIMENTOS HUMANOS	30
2.4. MOVIMENTOS DAS ARTICULAÇÕES	33
2.5. AMPLITUDES DE MOVIMENTOS PARA O ERGOMOTION	43
2.6. CAPTURA DE MOVIMENTOS	51
2.7. TIPOS DE CAPTURA DE MOVIMENTOS	56
2.8. MODELOS HUMANOS DIGITAIS	59
2.9. MOTOR DE JOGOS	71
2.10. ERGONOMIA EM BICICLETAS DE COMPETIÇÃO	78
3. METODOLOGIA	88
3.1. IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA	90
3.2. CONSCIENTIZAÇÃO DO PROBLEMA	90
3.3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	92
3.4. IDENTIFICAÇÃO DOS ARTEFATOS E CONFIGURAÇÃO DAS CLASSES DE PROBLEMAS	92
3.5. PROPOSIÇÃO DE ARTEFATOS PARA RESOLVER O PROBLEMA ESPECÍFICO	103
3.6. PROJETO DO ARTEFATO SELECIONADO	104
3.7. DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO	105
3.8. AVALIAÇÃO DO ARTEFATO	106
3.9. EXPLICITAÇÃO DAS APRENDIZAGENS	107
3.10. CONCLUSÕES	107
3.11. GENERALIZAÇÃO PARA UMA CLASSE DE PROBLEMAS	108
3.12. COMUNICAÇÃO DOS RESULTADOS	110

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA	112
4.1. ENTRADA	112
4.2. PRIMEIRO FILTRO DE LEITURA	116
4.3. SEGUNDO FILTRO DE LEITURA	118
4.4. TERCEIRO FILTRO DE LEITURA	118
4.5. CONTRIBUIÇÕES E LACUNAS ANALISADAS NA RBS	118
5. PROJETO DO ARTEFATO ERGOMOTION	121
5.1. ESCOPO DO PROJETO	121
5.2. IDENTIFICAÇÃO DOS USUÁRIOS	122
5.3. REQUISITOS DO PROJETO	123
5.3.1. Requisitos Funcionais	124
5.3.2. Requisitos Não-Funcionais	125
5.3.3. Requisitos de Dados	126
5.3.4. Requisitos de Interação	126
5.3.5. Limitações e Restrições	126
5.3.6. Requisitos de Validação e Teste	126
5.4. ESCALA DO DIFERENCIAL SEMÂNTICO	127
5.5. ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO	128
6. DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO	131
6.1. DESENVOLVIMENTO DA BIBLIOTECA DE CINESIOLOGIA	131
6.2. DESENVOLVIMENTO DA BIBLIOTECA DE <i>BIKE FIT</i>	141
6.3. DESENVOLVIMENTO DE MODELOS HUMANOS ESQUELÉTICOS E O PROCESSO DE “ <i>RIGGING</i> ”	153
6.4. CAPTURA DE MOVIMENTOS DE CINESIOLOGIA	159
6.5. CAPTURA DE MOVIMENTOS <i>BIKE FIT</i>	166
6.6. MODELAGEM DO CENÁRIO	167
6.7. DESENVOLVIMENTO DA INTERFACE DO ERGOMOTION	168
6.8. DESENVOLVIMENTO DOS LOGOS	182
6.9. REPRESENTAÇÃO CROMÁTICA E INTERPRETAÇÃO VISUAL NO ERGOMOTION	185
6.10. DESENVOLVIMENTO DE <i>SCRIPTS</i> EM C# PARA O ERGOMOTION	189
6.11. FLUXOGRAMA ESTRUTURAL DO ERGOMOTION	192
6.12. CULTURA PARTICIPATIVA DA INTERNET	195

7. AVALIAÇÃO DO ARTEFATO	199
7.1. CINESIOLOGIA	201
7.2. <i>BIKE FIT</i>	235
7.3. <i>BIKE FIT</i> – EXPERIÊNCIAS COM BICICLETAS DE COMPETIÇÃO	258
7.3.1. <i>Bike Fit</i> – Experiências com bicicletas de competição em bicicleta ergométrica	265
8. EXPLICITAÇÕES DAS APRENDIZAGENS	276
9. CONCLUSÕES	280
REFERÊNCIAS	283
APÊNDICE A – PRIMEIRO FILTRO DE LEITURA	298
APÊNDICE B – SEGUNDO FILTRO DE LEITURA	333

1.INTRODUÇÃO

São apresentados neste capítulo os seguintes tópicos: contextualização do tema, delimitação do tema, problema de pesquisa, hipótese, objetivo geral, objetivos específicos, justificativa e estrutura da tese.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

Desde os primórdios da humanidade, houve curiosidade em compreender a interação entre os seres humanos e suas tecnologias. Civilizações antigas, como as civilizações greco-romana até os estudos detalhados de Leonardo da Vinci sobre a anatomia humana no período Renascentista, tentaram otimizar essa relação. Contudo, foi somente com a Revolução Industrial, diante das crescentes preocupações com saúde e segurança no trabalho, que a ergonomia emergiu como uma disciplina interdisciplinar fundamental, que se dedica à melhoria da interface entre as atividades humanas e os sistemas em que elas se inserem (SILVA; PASCHOARELLI, 2010).

Entre a Renascença e a Revolução Industrial, a humanidade experimentou um período de transformações sem precedentes. Durante esses séculos, o progresso científico e tecnológico foi acelerado, com investigações tornando-se mais sistematizadas e as invenções moldando radicalmente os meios de produção. Conforme as civilizações se desenvolveram, sua habilidade de representação gráfica avançava, fazendo com que os desenhos se aproximassem progressivamente do realismo.

Registros históricos indicam os primeiros desenhos técnicos por volta do Renascimento, com destaque para Giuliano de Sangalo em 1490, que usava planta e elevação em seus desenhos, como registrado na Livraria do Vaticano. No entanto, um avanço significativo ocorreu no século XVII, quando o matemático e desenhista francês Gaspar Monge desenvolveu a Geometria Descritiva (GD). Esse sistema, que permitia representações tridimensionais precisas em superfícies planas e estimulou os projetos gráficos no início da Revolução Industrial no final do século XVIII. Monge, através da GD, ofereceu ferramentas gráficas para solucionar problemas tridimensionais complexos, estabelecendo os fundamentos do Desenho Técnico e

revolucionando os campos da Engenharia, Arquitetura e Design (CECCARELLI, 2010).

Com a Revolução Industrial, a sociedade enfrentou desafios inéditos em relação à interação do ser humano com seus ambientes de trabalho, moradia e equipamentos, especialmente em áreas urbanizadas e mecanizadas. A herança da Geometria Descritiva pavimentou o caminho para os avanços do século XX. Foi neste período, com o advento da tecnologia da informação e computação gráfica, que ferramentas como, simulações ergonômicas em ambientes virtuais, começaram a emergir. Capitalizando sobre séculos de desenvolvimento em representação gráfica, essas simulações começaram a empregar Modelos Humanos Digitais (MHDs) para criar representações humanoides detalhadas, oferecendo uma visão inovadora da interação humano-tecnologia.

Desde a concepção do primeiro MHD pela *Boeing Corporation*® na década de 60, intitulado "*first man*", muitos progressos foram alcançados. Atualmente, existem *softwares* sofisticados no mercado que possibilitam análises minuciosas das interações entre humanos, produtos e ambientes (IIDA, 2005; FEYEN *et al.* 2000; BLANCHONETTE, 2010). Estas ferramentas digitais complementam e enriquecem as metodologias ergonômicas tradicionais, permitindo a criação de equipamentos mais alinhados com as necessidades humanas.

No contexto das simulações ergonômicas virtuais, destaca-se a pesquisa conduzida por Brendler (2017), que resultou na criação do HERIP (Humano Ergonômico Interativo Paramétrico). Desenvolvido em integração com o *software* Blender®, o HERIP é uma ferramenta voltada para a prototipagem virtual, com ênfase em avaliações ergonômicas e análise antropométrica. O trabalho de Brendler, realizado juntamente com o laboratório de *Virtual Design* da UFRGS, evidencia um compromisso com a acessibilidade dos usuários. No entanto, reconhece-se que, durante a época da pesquisa de Brendler, os MHDs apresentavam limitações, principalmente na avaliação de riscos de lesões devido a movimentos que excedem as zonas as amplitudes articulares, preocupação esta já mencionada por FEYEN *et al.* (2000).

No entanto, a evolução da tecnologia, especialmente a captura de movimentos, permitiu que análises fossem estendidas também na análise de protótipos físicos. Estes, ao serem avaliados com o auxílio da captura de movimentos, proporcionam uma perspectiva mais tangível e precisa, especialmente para produtos que possuem

regulagens em seus parâmetros. Tendo em conta a antropometria e, sobretudo, conhecendo as amplitudes de cada articulação humana e os ângulos ideais de trabalho para cada situação específica, é possível obter uma análise ergonômica mais acurada. Para compreender esses movimentos humanos e suprir as limitações dos MHDs, como apontado por Feyen e Brendler, este estudo se dedica à interpretação dos movimentos humanos, baseando-se nos princípios da cinesiologia e na avaliação das amplitudes articulares, através da goniometria.

Diferentemente da grande maioria das pesquisas utilizando MHDs, que enfatizam a prototipagem virtual como resposta aos desafios ergonômicos, esta pesquisa destaca a necessidade de uma abordagem híbrida. Esta combina elementos do mundo virtual com a experiência prática dos seres humanos e suas tecnologias no mundo real. Ao integrar dados de captura de movimentos de usuários reais e protótipos físicos às simulações virtuais, é possível potencializar a eficácia ergonômica no design de produtos, ambientes e atividades humanas.

Na esfera do design, a prototipagem assume uma função primordial no processo de validação de soluções ergonômicas. A incorporação de tecnologias de captura de movimento, que convertem a cinética humana em dados computacionais, constitui um avanço significativo nesta área. Ao integrar simulação virtual com prototipagem física, os designers são habilitados a obter uma compreensão mais aprofundada das interações e respostas dos usuários frente a um determinado design. Essa abordagem não apenas maximiza a eficiência em termos de tempo e recursos, mas também garante que os produtos sejam precisamente ajustados às exigências e comportamentos dos usuários.

A adoção de uma proposta híbrida oferece aos profissionais de design uma perspectiva mais detalhada das interações e respostas dos usuários em relação a um design específico. Esta metodologia não apenas otimiza a eficiência em termos de tempo e recursos, mas também assegura que os produtos sejam adequadamente ajustados às exigências e comportamentos dos consumidores. No escopo deste estudo, prioriza-se a análise cinética humana, fundamentando-se nos princípios da cinesiologia e avaliando amplitudes articulares por meio da goniometria. A sinergia dessas ciências, quando combinadas com a captura de movimentos e a utilização de motores de jogos, tem o potencial de oferecer uma experiência mais intuitiva ao usuário. Notavelmente, esse método apresenta-se como uma alternativa menos invasiva para os participantes dos processos de avaliação ergonômica, visto que

dispensa a abordagem tradicional que envolve o uso manual de goniômetros e fitas métricas. A escolha recaiu sobre sistemas ópticos sem marcadores para a captura e simulação de movimentos humanos. É relevante mencionar que tais sensores, inicialmente projetados para videogames, tornaram-se economicamente atrativos devido à redução de custos associada à sua descontinuidade no setor de jogos.

A implementação de um motor de jogo revela-se essencial neste domínio de estudo, dado sua capacidade intrínseca de responder a estímulos em tempo real, além de possuir características modeláveis e escaláveis. Define-se um *software* modelável como aquele suscetível a adaptações conforme requisitos específicos, ao passo que a escalabilidade de um *software* se refere à sua aptidão para expandir e atender a demandas incrementais mantendo seu desempenho e eficiência inalterados. Sob esta perspectiva, o refinamento dos Modelos Humanos Digitais destinados às análises ergonômicas com o uso da captura de movimentos sem marcadores ostenta o potencial de ser um divisor de águas em múltiplos campos que se debruçam sobre a cinética humana, desde o âmbito esportivo até as ciências da saúde.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Este trabalho se propõe a explorar, especificamente, o universo da simulação computacional de movimentos humanos aplicada à cinesiologia, ergonomia e ao *bike fit*. As seguintes delimitações foram estabelecidas:

- **Foco tecnológico:** O estudo se concentra no desenvolvimento e avaliação de um *software* que utiliza sistemas ópticos sem marcadores (*markless*) de baixo custo. Esse *software* permite a captura e exportação de movimentos humanos para análises ergonômicas.
- **Aplicação específica:** A pesquisa se direciona principalmente às demandas de ergonomia. Essa delimitação foi estabelecida tendo em vista a crescente necessidade de soluções técnicas de baixo custo para esta área.
- **Visualização e análise:** A ferramenta desenvolvida oferece representações gráficas de movimentos humanos, que evoluem em tonalidade conforme o grau de

amplitude. Tal funcionalidade objetiva tornar a análise mais intuitiva, sobretudo no contexto de zonas de conforto e variações de amplitude.

- **Usuários-alvo:** A ferramenta é projetada para ser acessível e de fácil compreensão, visando atender a diversos profissionais, conforme detalhado no tópico 5.2.

Portanto, o trabalho não se aprofundará em outras técnicas de captura de movimento ou em aplicações que não se enquadrem no contexto dos movimentos da cinesiologia com amplitudes citadas em manuais de goniometria e das bicicletas de competição. O objetivo principal é apresentar uma solução técnica, prática e de baixo custo para as demandas específicas desse nicho.

1.3 PROBLEMA DA PESQUISA

Como pode ser realizada a integração da prototipagem física com ferramentas virtuais no mapeamento e análise dos ângulos de movimento humano para fins de avaliação ergonômica no design de produtos?

1.4 HIPÓTESE

A integração de um motor de jogos com um sistema de captura de movimento pode realizar análises ergonômicas interagindo com produtos reais. Isso permite mensurar ângulos e analisar ergonomicamente esses produtos com base em conceitos como goniometria e cinesiologia, ou a conformidade dos valores com as referências da literatura para o ângulo ideal de uso de um produto.

1.5 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um *software* em língua portuguesa, voltado à análise e simulação de movimentos humanos, empregando a tecnologia de sistemas ópticos de captura de movimento sem a necessidade de marcadores.

1.6 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- **Explorar as aplicações contemporâneas da ergonomia com tecnologias avançadas:** Este objetivo concentra-se na identificação e compreensão da integração das inovações tecnológicas nas práticas ergonômicas modernas, destacando sua importância e efeitos. Espera-se alcançar este objetivo mediante a realização de uma Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS), que proporcionará uma análise detalhada e abrangente das tendências atuais e avanços no campo da ergonomia.
- **Investigar a utilização de modelos humanos digitais (MHDs) em simulações ergonômicas:** Este objetivo visa examinar como os MHDs são empregados em ambientes virtuais para aprimorar as análises ergonômicas, identificando áreas que necessitam de melhorias e inovações.
- **Testar e validar o *software* em cenários reais:** Este objetivo se dedica à realização de testes práticos com o *software*, envolvendo usuários reais e produtos em condições operacionais autênticas. A intenção é avaliar a eficácia, precisão e aplicabilidade do *software* em situações cotidianas, proporcionando uma validação concreta de sua utilidade e confiabilidade no mundo real.

1.7 JUSTIFICATIVA

Historicamente, a fabricação em massa e o avanço tecnológico, frequentemente, negligenciaram aspectos cruciais como conforto, segurança e eficácia dos produtos. Conforme destacado por Lobach (2000) e Iida (2005), a ausência de abordagens ergonômicas e antropométricas adequadas na fase de design resultou em uma gama de problemas, desde uso inadequado até acidentes ocupacionais.

Esta pesquisa visa responder a essas lacunas históricas, através do desenvolvimento de um *software* para interpretar movimentos capturados. Este *software*, integrando Modelos Humanos Digitais (MHDs), tem o objetivo de realizar avaliações ergonômicas para minimizar desconfortos e riscos associados ao uso inadequado de produtos. Essa abordagem é crucial no contexto atual, marcado por uma demanda crescente por produtos e ambientes projetados com foco no bem-estar humano e na sustentabilidade ambiental.

O *software* contará com duas bibliotecas principais: uma dedicada à cinesiologia e outra ao *Bike Fit*. A biblioteca de cinesiologia permitirá a quantificação e tradução dos movimentos humanos em um sistema de seis cores progressivas, enquanto a biblioteca de *Bike Fit*, conforme salientado por Burt (2022), oferecerá soluções específicas para o ajuste de bicicletas de competição.

Além de atender às necessidades de profissionais e usuários, o projeto promove a mobilidade sustentável. As bicicletas, em contraste com veículos motorizados, não geram poluição, contribuindo para a redução da emissão de carbono e a melhoria da qualidade do ar. O *software*, portanto, beneficia, direta e indiretamente, a saúde e o conforto dos usuários, apoiando um meio de transporte ecologicamente responsável.

A estrutura modular e a programação orientada a objetos do *software* oferecem potencial significativo para expansão e aprimoramento contínuos, adaptando-se a várias aplicações ergonômicas. Este recurso torna-o uma ferramenta valiosa para um amplo espectro de profissionais, incluindo ergonomistas, fisioterapeutas, educadores físicos, pesquisadores de biomecânica, profissionais de saúde e segurança no trabalho, treinadores de performance esportiva, terapeutas ocupacionais e designers de produto.

Assim, este *software*, não só contribui para o avanço da ergonomia, mas também se estabelece como uma ferramenta multidisciplinar, impactando positivamente diversas áreas relacionadas à saúde, ao bem-estar e à performance humana. Sua capacidade de adaptação e aprimoramento contínuos torna-o um recurso para facilitar a interação humana com produtos e ambientes de forma mais segura, confortável e eficaz.

Adicionalmente, esta pesquisa, não só preenche lacunas históricas na ergonomia e antropometria, mas também destaca a importância de uma abordagem híbrida no design e na avaliação de produtos. Esta abordagem combina simulações no mundo virtual com experiências práticas e tangíveis no mundo real. Ao integrar dados de captura de movimento de usuários reais e protótipos físicos em ambientes virtuais, a pesquisa busca aprimorar significativamente o entendimento e a aplicação da ergonomia em produtos, ambientes e atividades humanas.

Além disso, um aspecto notável desse projeto é o seu alto valor intrínseco em termos de custo-benefício. Foram utilizados dois dispositivos *Kinect*® V1, originalmente desenvolvidos para o console *Xbox360*®, a pesquisa demonstra como

a tecnologia de videogames pode ser reaproveitada de maneira eficiente e econômica para fins científicos e práticos. No contexto de 2023, cada unidade do *Kinect® V1* custou aproximadamente 90 reais, um valor acessível considerando a tecnologia envolvida. Este aspecto reforça o potencial do projeto de ser replicado e adaptado em diferentes contextos, abrindo caminho para inovações futuras no campo da ergonomia.

1.8 ESTRUTURA DA TESE

A presente pesquisa é composta por dez capítulos. O Capítulo 1, (Introdução), estabelece o contexto, a relevância e os objetivos da pesquisa. No Capítulo 2, (Fundamentação Teórica), são apresentados os conceitos e teorias que embasam o desenvolvimento do *software* como a Cinesiologia e a Goniometria, além de conter os conceitos para análises ergonômicas em bicicletas de competição. O Capítulo 3, (Metodologia), descreve a abordagem da *Design Science Research*, metodologia adotada nesta tese.

A revisão da literatura existente sobre o tema é apresentada no Capítulo 4, (Revisão Bibliográfica Sistemática), oferecendo um panorama completo das contribuições e lacunas no campo. O Capítulo 5, (Projeto do Artefato ErgoMotion), detalha a concepção e os princípios de design do *software* ErgoMotion. No Capítulo 6 (Desenvolvimento do artefato), é abordado mais profundamente o processo de desenvolvimento do artefato, explorando as etapas de programação, integração de tecnologias e funcionalidades implementadas.

No foco do Capítulo 7 (Avaliação do artefato), são apresentados os procedimentos e resultados das análises ergonômicas com as bibliotecas de Cinesiologia e de *Bike Fit*. No Capítulo 8 (Explicitações das aprendizagens), é fornecido as explicações das aprendizagens adquiridas por meio de pequenos tutoriais submetidos na plataforma YouTube.

O Capítulo 9 (Conclusões), sintetiza os principais resultados, destaca contribuições significativas e aponta possíveis direções para pesquisas subsequentes e finalmente, o Capítulo 10 (Generalização dos problemas), aborda a extensão das soluções do ErgoMotion para uma variedade de contextos, destacando sua versatilidade e aplicabilidade prática.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, são apresentados diversos temas relacionados à pesquisa, os quais foram encontrados na literatura. Esses temas abordam uma variedade de assuntos, incluindo ergonomia no desenvolvimento de produtos, as avaliações de posturas e movimentos humanos existentes, os estudos dos movimentos humanos, movimento das articulações, amplitude dos movimentos para o ErgoMotion, Captura de Movimentos, os tipos de Captura de Movimento, o funcionamento de Motores de Jogos e, por fim, a aplicação da ergonomia em bicicletas de competição.

2.1 ERGONOMIA NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

Childe (1975), sustenta que a espécie humana não é intrinsecamente adaptável a qualquer ambiente físico. Em virtude disso, a necessidade de sobrevivência e a vulnerabilidade inerente do ser humano em relação à natureza impulsionaram o desenvolvimento de equipamentos extracorpóreos, como ferramentas, roupas e abrigos. Essa imperiosa necessidade de superar as limitações humanas emergiu como um dos principais catalisadores para o advento da utilização e confecção de ferramentas, que serviram como alicerces na evolução da ergonomia.

Vestígios datados da antiguidade indicam os primeiros passos da ergonomia. Filósofos gregos, num esforço de aprimorar a eficiência na produção de seus artefatos, buscavam constantemente meios mais eficazes de produzi-los (SILVA; PASCHOARELLI, 2010). Embora os registros dessa época sejam limitados, há indícios claros de que os estudos ergonômicos ganharam relevância com a proximidade da Primeira Revolução Industrial, no século XVII.

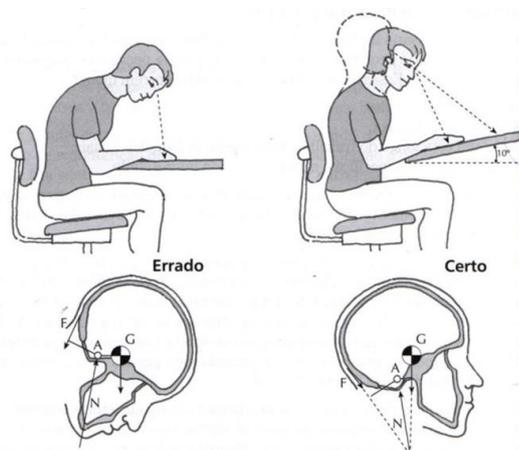
As dimensões e o ritmo do trabalho desse período começaram a impelir a criação de novas tecnologias, visando acelerar os processos produtivos. Tal desenvolvimento provavelmente influenciou tanto a qualidade das tarefas realizadas quanto os métodos empregados para executar movimentos com a menor carga de esforço possível (SILVA; PASCHOARELLI, 2010).

Entretanto, existem relatos históricos que a ergonomia somente adquiriu a formalidade como disciplina científica e aplicada ao design de produtos no contexto da Segunda Guerra Mundial. A alta incidência de acidentes durante o uso de determinados produtos levou equipes multidisciplinares de médicos, engenheiros e psicólogos a unirem forças, a fim de repensar o desenho desses itens. O objetivo

central era aprimorar a adequação desses produtos ao ser humano, contemplando, tanto a percepção sensorial, quanto a capacidade fisiológica de esforço (GOMES FILHO, 2010; PANERO; ZELNICK, 2002).

Segundo De Wall (1991), pesquisas laboratoriais demonstraram que inclinar tampos em um ângulo de 10° confere um benefício substancial para atividades de leitura e escrita. Essa inclinação resulta numa redução de cerca de 9° no ângulo do corpo (conforme ilustrado na Figura 1), proporcionando uma significativa melhoria no conforto durante a execução dessas tarefas. Essa constatação oferece uma orientação valiosa no que se refere ao ângulo ideal pelo qual um produto pode otimizar a realização das atividades de leitura e escrita, embasando-se em evidências empíricas provenientes de experimentos.

Figura 1 – Exemplos angulares de uma mesa para estudos.



Fonte: IIDA (2005, p.168).

Um aspecto essencial da ergonomia no desenvolvimento de produtos é o reconhecimento de que cada objeto possui características únicas que devem ser avaliadas em relação às suas funções e usos específicos. Conforme ressaltado por Tilley e Dreyfuss (2005), os parâmetros antropométricos aplicados no desenvolvimento de produtos estão intrinsecamente relacionados às funções específicas dos produtos, aos percentis característicos da população-alvo e aos limites e amplitudes de movimento que garantem o conforto articular. Isso implica que os Modelos Humanos Digitais não podem ser padronizados, mas sim ajustados conforme as características e exigências de cada produto. A aplicação desses

conhecimentos específicos sobre o funcionamento do produto assegura uma análise detalhada e adequada, resultando em produtos que atendam de forma otimizada às necessidades e conforto dos usuários.

As questões ergonômicas relacionadas a amplitudes de movimento desempenham um papel fundamental no desenvolvimento de produtos ergonomicamente eficazes. Quando o movimento excede determinados ângulos de amplitude, isso pode resultar em desconforto muscular, articular ou tendíneo, podendo inclusive ocasionar dores ou lesões (KAPANDJI, 2000; WHITINNG, ZERNICKE, 2009).

Além disso, a ergonomia no desenvolvimento de produtos também abrange a acessibilidade e a facilidade de alcance dos elementos do produto pelo usuário. Por exemplo, nos pedais de aceleração e freio de um carro, é crucial que o usuário consiga alcançá-los sem esforços excessivos (GOMES FILHO, 2010). Essa abordagem incide diretamente nos requisitos de segurança e conforto, garantindo uma interação fluida e eficiente entre o usuário e o produto.

Em resumo, a ergonomia no desenvolvimento de produtos transcende os séculos e continua a ser uma disciplina essencial para o desenvolvimento de artefatos que supram as necessidades humanas. Conhecer as características individuais de cada objeto e entender suas interações com os usuários é fundamental para garantir produtos que ofereçam não apenas desempenho, mas também conforto e bem-estar. O *bike fit*, por exemplo, é um exemplo claro de como a ergonomia pode ser aplicada de maneira específica para otimizar o uso de um produto.

Ao ajustar corretamente uma bicicleta à anatomia e biomecânica específicas de um ciclista, é possível melhorar tanto o desempenho quanto o conforto durante o pedal. Portanto, a ergonomia no desenvolvimento de produtos, não se trata apenas de aplicar princípios gerais, mas sim de compreender profundamente as nuances de cada produto e sua interação com o usuário para criar soluções verdadeiramente eficazes e bem-adaptadas.

2.2 AVALIAÇÃO DE POSTURAS E MOVIMENTOS HUMANOS

No contexto do desenvolvimento humano, a ergonomia desempenha um papel central na busca por ambientes de trabalho e produtos que promovam o bem-estar e a eficiência. Para alcançar esse objetivo, é fundamental compreender as posturas e movimentos humanos, visando moldar um ambiente que minimize os riscos de distúrbios musculoesqueléticos e otimize o desempenho das atividades cotidianas. Nesse sentido, diversas análises ergonômicas se destacam como ferramentas cruciais para uma análise aprofundada dessas interações, como descrito no tópico 3.4 (IDENTIFICAÇÃO DOS ARTEFATOS E CONFIGURAÇÃO DAS CLASSES DE PROBLEMAS).

2.3 O ESTUDO DOS MOVIMENTOS HUMANOS

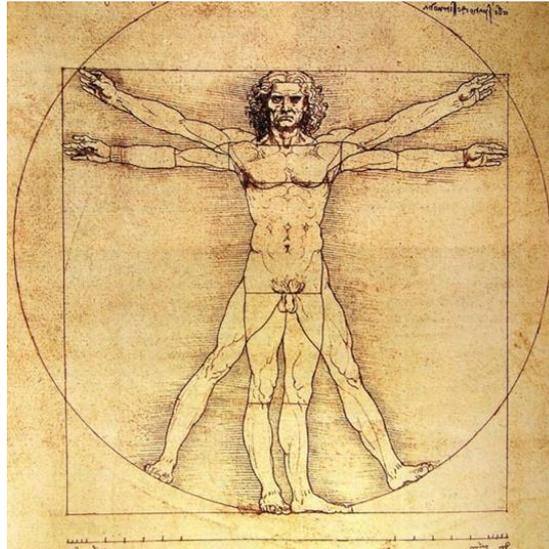
O anseio por analisar e compreender os movimentos humanos remonta a tempos antigos. Mesmo nos estudos clássicos, como os de Aristóteles, evidencia-se um interesse nesse campo, datado no século III a.C (ATWATER, 1980). No entanto, foi há mais de quinhentos anos que a arte e a ciência se encontram de maneira magnífica. Leonardo da Vinci, por meio do icônico Homem Vitruviano (Figura 2), procurou descrever as medidas do corpo humano, embasando-se nos conceitos apresentados na obra “De Architectura” do arquiteto romano, Marcus Vitruvius Pollio. Essa representação simboliza o ideal de beleza e harmonia nas proporções do corpo humano.

Para concretizar essa visão, Leonardo da Vinci realizou meticulosas medições manuais das proporções e as combinou em duas poses humanas distintas (THOMAS, 2020), criando um dos desenhos do corpo humano mais icônicos do mundo. Este trabalho pioneiro se estabeleceu como um precursor essencial para os campos da cinesiologia¹, antropometria² e ergonomia, que buscam compreender a relação intrínseca entre o corpo humano e suas atividades.

¹ Ciência dos movimentos do corpo, que abrange basicamente áreas como anatomia, fisiologia e mecânica (THOMPSON; FLOYD, 2016).

² A antropometria trata das medidas físicas do corpo humano e suas variáveis (IIDA, 2005).

Figura 2 – Homem Vitruviano.



Fonte: *WIKIMEDIA COMMONS*, 2023. Disponível em:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d0/Homem_Vitruviano_-_Da_Vinci.jpg

A cinesiologia é o estudo de várias disciplinas que englobam o movimento do corpo humano. Seu objetivo é analisar as forças que agem sobre o corpo humano e manipular tais forças em procedimentos. Resumidamente, a cinesiologia pode ser definida como o estudo dos princípios de anatomia (estruturas ativas e passivas), fisiologia e mecânica em relação aos movimentos do corpo humano (THOMPSON; FLOYD, 2016).

No entanto, vale ressaltar que o corpo humano não é uma estrutura homogênea; ele apresenta variações em termos de ossos e formas que exercem influência direta sobre a amplitude dos movimentos. Além disso, a cinesiologia transcende essas análises mecânicas, adentrando no domínio da cinemática³ e cinética⁴, compreendendo não apenas a descrição dos movimentos, mas também as forças subjacentes que dão suporte e limitam o espectro de movimentos. Em outras palavras, a cinesiologia fornece uma base vital para o entendimento do corpo humano em ação, tornando-se uma ferramenta crucial para profissionais que buscam otimizar a performance, prevenir lesões e promover a saúde através do movimento.

³ Cinemática, segundo Barbosa (2015), consiste em uma caracterização do movimento, sem utilização de referência às forças envolvidas. Muitas vezes, a análise é feita com base em vídeo, utilizando sistemas de análise de movimento em 3D, de alta precisão. Com o avanço da tecnologia, existem diversos *softwares* comerciais que podem ser utilizados para análise cinemática.

⁴ Cinética, segundo Barbosa (2015), é a área de estudo responsável pelo exame das forças que agem sobre um sistema, seja ele o corpo humano ou um objeto, e visa analisá-las, elucidando suas causas e efeitos.

Além do estudo amplo proporcionado pela cinesiologia, a goniometria emerge como uma importante aliada na análise detalhada dos movimentos humanos. A goniometria é uma técnica de medição que se concentra especificamente na mensuração dos ângulos articulares das articulações do corpo. Essa abordagem quantitativa possibilita uma avaliação precisa das amplitudes de movimento em diferentes articulações, revelando informações cruciais sobre a flexibilidade e a capacidade funcional de uma pessoa. Amélia Pascal Marques (2003), desempenhou um papel significativo ao desenvolver o livro “Manual de Goniometria”, que oferece orientações práticas para a correta aplicação dessa técnica. A goniometria, portanto, complementa a cinesiologia, proporcionando uma perspectiva mais específica e detalhada sobre os ângulos articulares, o que é essencial para a compreensão completa dos movimentos humanos e para o desenvolvimento de estratégias de reabilitação, treinamento físico e otimização de atividades diárias.

Já a ergonomia se destaca como uma disciplina pertencente à categoria das ciências humanas aplicadas, cujo propósito central é a otimização da interação harmoniosa entre seres humanos, tecnologia e ambiente. Enquanto a cinesiologia e a goniometria são ciências de cunho mais estritamente analítico, com alta precisão, focadas nos aspectos físicos do movimento, a ergonomia aborda uma gama mais ampla de considerações. Além dos aspectos biomecânicos, a ergonomia também incorpora percepções cognitivas dos usuários, compreendendo a complexidade de como os indivíduos interagem com produtos e espaços.

Diferentemente das ciências exatas mencionadas, a ergonomia engloba questões de conforto, eficiência e segurança no design de produtos e ambientes. Sua abordagem holística busca soluções que se alinhem às necessidades e habilidades humanas, contribuindo para a promoção do bem-estar e melhoria da qualidade de vida. Desempenhando um papel de interlocutora entre os conhecimentos analíticos da cinesiologia e da goniometria e sua aplicação prática, a ergonomia desempenha um papel crucial na concepção de ambientes e produtos que atendam de maneira eficaz e amigável às exigências dos usuários, assegurando a harmonia entre o corpo humano e o entorno construído.

Ao contrário de muitas outras disciplinas cujas origens podem estar perdidas no tempo, a ergonomia pode ser datada oficialmente, remontando a 12 de julho de 1949. Nesse dia, na Inglaterra, um grupo pioneiro de cientistas e pesquisadores se reuniu para discutir e formalizar esse novo campo interdisciplinar de aplicação

científica. A segunda reunião desse grupo, realizada em 16 de fevereiro de 1950, resultou na proposição do termo "ergonomia", uma junção dos vocábulos gregos "ergon", que significa trabalho; e "nomos", que se traduz como regras ou leis naturais (MURRELL, 1965). Essa data simbólica marcou o início de um campo de estudo que se tornou vital para moldar ambientes e produtos com foco na adaptação e bem-estar humano.

2.4 MOVIMENTOS DAS ARTICULAÇÕES

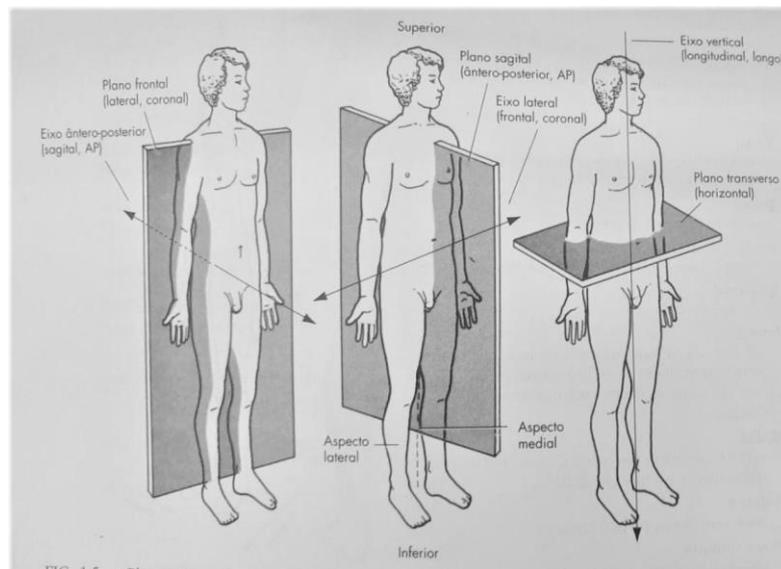
Existem numerosas articulações distribuídas pelo corpo humano, cada uma dotada de uma incrível capacidade de executar uma diversidade de movimentos distintos. A capacidade de uma articulação de se movimentar livremente sem restrições é conhecida como amplitude de movimento (THOMPSON; FLOYD, 2016). Essa característica intrínseca do sistema musculoesquelético atesta a complexidade e versatilidade da anatomia humana. Através dessa capacidade, o corpo humano é capacitado a realizar uma ampla variedade de atividades, desde tarefas rotineiras até aquelas mais especializadas e complexas. O estudo aprofundado da amplitude de movimento desempenha um papel vital tanto na prática clínica quanto na investigação científica, oferecendo percepções valiosas sobre o funcionamento do corpo e a otimização de suas interações com o ambiente.

Existem três tipos de articulações no corpo humano: sinartrose, anfiartrose e diartrose. Uma articulação sinartrose fibrosa é uma união imóvel de tecido conectivo, como a sutura coronal do crânio, e não tem movimento relativo. Uma articulação anfiartrose cartilaginosa, como a articulação entre corpos vertebrais e discos intervertebrais, permite mobilidade limitada. Uma articulação diartrodial, como o joelho e o ombro, é caracterizada por um grande grau de movimento, em apoio ao movimento do corpo e à locomoção. Em condições normais, uma articulação diartrodial é um sistema de suporte de carga incrivelmente eficiente, capaz de fornecer desempenho praticamente sem atrito e com pouco desgaste durante toda a vida do indivíduo (KIM *et al.*, 2003).

As articulações selecionadas para a elaboração do ErgoMotion são aquelas categorizadas como diartroses, uma vez que permitem a mobilidade do corpo humano e podem oferecer parâmetros essenciais para medições de ângulos articulares relevantes no desenvolvimento de produtos ou ambientes ergonômicos.

Segundo Thompson e Floyd (2016), existem três planos específicos de movimentos (Figura 3), cada um com suas características distintas. O primeiro deles é o plano sagital, também conhecido como anteroposterior. O segundo plano é o plano frontal, também chamado de lateral ou coronal. O terceiro e último plano é o plano transverso, também conhecido como plano horizontal. Isso ressalta a complexidade e a variedade de movimentos possíveis nas articulações diartrodiais, bem como a importância de compreender suas características para criar soluções ergonômicas eficazes.

Figura 3 – Representação dos planos perpendiculares.



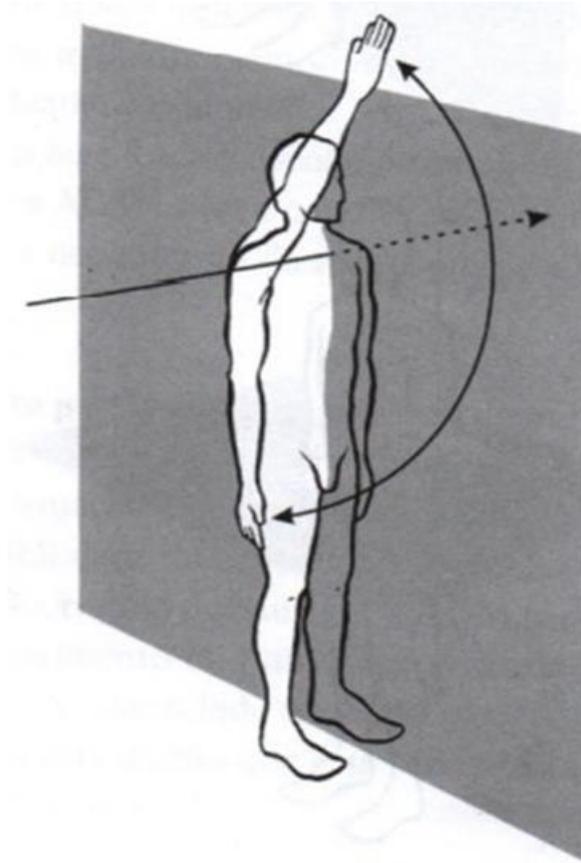
Fonte: THOMPSON E FLOYD, 2016, p.6.

O movimento das articulações está diretamente ligado ao número de eixos presentes e, conseqüentemente, à geometria específica de cada articulação. Algumas articulações permitem somente movimentos de flexão e extensão; outras proporcionam uma maior diversidade de movimentos, incluindo abdução, adução e rotação (THOMPSON; FLOYD, 2016). Essa variedade de movimentos articulares demonstra a complexidade anatômica e funcional do sistema musculoesquelético humano.

De acordo com as explanações de Isabel de Camargo Sacco e Clarice Tanaka (2008), no livro “Cinesiologia e biomecânica dos complexos articulares”, é possível condensar em seis movimentos primordiais a gama de deslocamentos realizados pelo corpo humano. Essas ações fundamentais são delineadas da seguinte forma: Flexão

e Extensão (Figura 4): Estes termos estão relacionados aos movimentos de um segmento do corpo que ocorrem no plano sagital, em torno do eixo latero lateral. Flexão denota o movimento de aproximação dos segmentos, enquanto extensão engloba o movimento de afastamento. Por exemplo, dobrar o antebraço em direção ao braço é uma ilustração de flexão, enquanto esticar o antebraço para a frente constitui um exemplo de extensão.

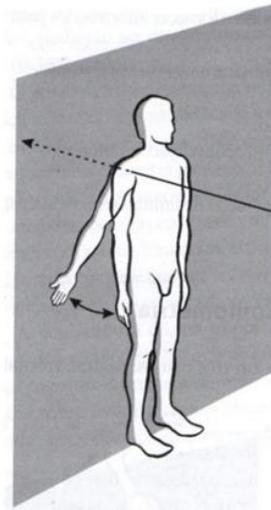
Figura 4 – Flexão e Extensão.



Fonte: MARQUES, 2003, p.3.

Abdução e Adução (Figura 5): Tais movimentos transcorrem no plano frontal, o qual divide o corpo em partes frontal e traseira. Abdução consiste no afastamento de um segmento do corpo em relação à linha média, como elevar o braço para o lado. Por sua vez, adução abrange a aproximação de um segmento em relação à linha média, como trazer o braço de volta ao lado do corpo.

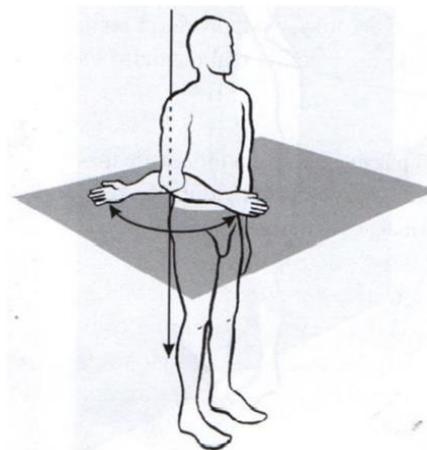
Figura 5 – Abdução e Adução.



Fonte: MARQUES, 2008, p.4.

Rotação Medial e Rotação Lateral (Figura 6): Esses movimentos ocorrem no plano transversal, responsável por dividir o corpo em partes superior e inferior. Rotação medial engloba a ação em que uma parte do corpo gira para dentro, em direção à linha média. Já a rotação lateral se refere ao oposto, no qual a parte do corpo gira para fora, se afastando da linha média.

Figura 6 – Rotação.

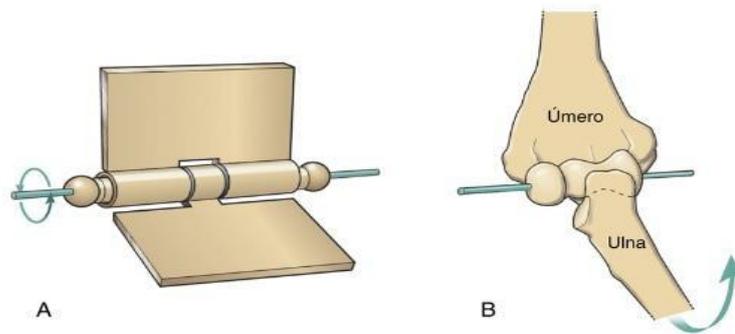


Fonte: MARQUES, 2003, p.4.

Podemos fazer analogias mecânicas com as articulações do corpo humano, como por exemplo, quando exploramos os movimentos dos cotovelos e dos joelhos. Esses movimentos, que se assemelham ao funcionamento de uma dobradiça (Figura

7), estão restritos à flexão e extensão, lembrando a forma como uma porta se move para frente e para trás. Essa simplicidade de movimento destas articulações oferece estabilidade e força em partes específicas do corpo, embora a similaridade mecânica seja menos completa, as articulações interfalângicas dos dedos também são classificadas como articulações em dobradiça (NEUMANN; 2022).

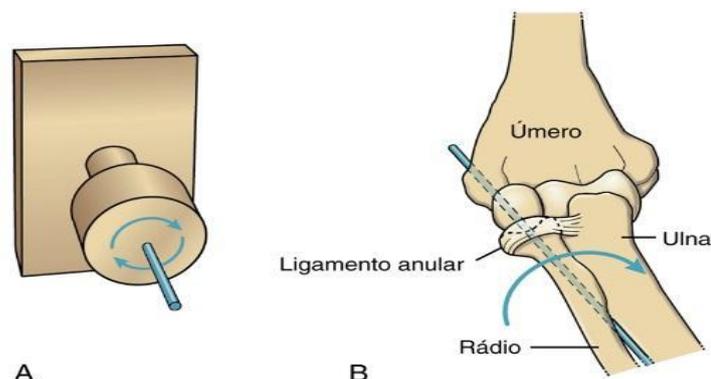
Figura 7 – Articulação em dobradiça.



Fonte: NEUMANN, 2022, p.30.

Uma articulação em pivô é caracterizada por possuir um pino central envolto por um cilindro de maiores dimensões. Ao contrário das articulações em dobradiça, nas quais a porção móvel realiza movimentos em relação ao eixo de rotação, nas articulações em pivô a parte móvel está alinhada paralelamente ao próprio eixo de rotação. Esse arranjo mecânico confere à articulação em pivô um movimento angular principal de rotação, semelhante à ação de girar uma maçaneta em torno de um eixo central, conforme exemplificado na Figura 8. Exemplos práticos de articulação em pivô incluem a articulação umerorradial, (Ilustrada na Figura 8 B) (NEUMANN; 2022).

Figura 8 - Articulação em pivô.

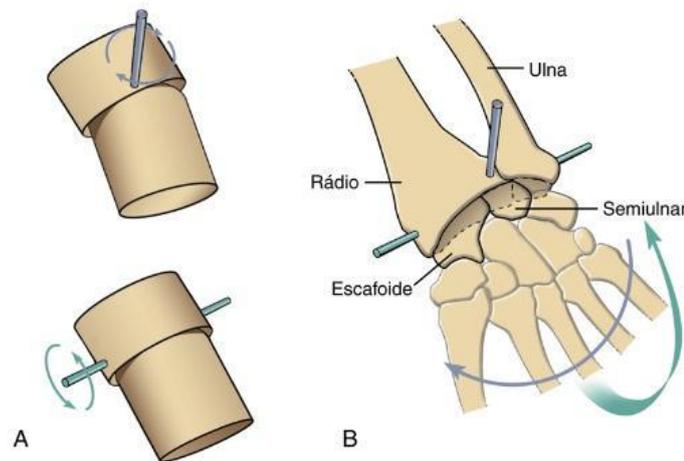


Fonte: NEUMANN, 2022, p.31.

Uma analogia mecânica que pode ser feita com a articulação elipsóide é a de um *joystick* ou alavanca de controle, como aqueles usados em videogames. Assim como na articulação elipsóide, onde um componente com uma superfície convexa se encaixa em uma superfície côncava, o *joystick* possui um cabo que se move em diferentes direções, permitindo movimentos em múltiplos eixos.

Uma articulação elipsóide é constituída por um componente com uma superfície convexa alongada em uma dimensão que se encaixa em uma superfície côncava alongada no segundo componente (Figura 9). Essa configuração elíptica das superfícies impede a rotação entre os dois componentes, porém possibilita movimentos biaxiais, normalmente descritos como flexão-extensão e abdução-adução. Um exemplo clássico de articulação elipsóide é a articulação radiocárpica (Figura 9 B). O componente convexo da articulação, composto pelos ossos do carpo, limita, significativamente, a rotação dentro da concavidade correspondente, que corresponde à extremidade distal do rádio (NEUMANN; 2022).

Figura 9 - Articulação elipsóide.

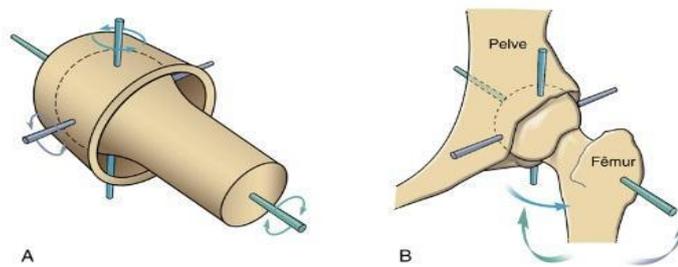


Fonte: NEUMANN, 2022, p.31.

Uma analogia simples para a articulação esferóide é imaginar uma bola de sinuca encaixada em uma xícara. A bola pode girar em todas as direções na xícara, representando os movimentos nos três planos da articulação. A simetria das formas permite que a bola gire suavemente, assim como a articulação esferóide permite rotações (Figura 10). Esse tipo de articulação é caracterizado por uma superfície

convexa esférica encaixada em um soquete em formato de xícara, permitindo movimentos nos três planos. Ao contrário da articulação elipsóide, a simetria das curvas das superfícies permite rotação sem deslocamento. Exemplos no corpo humano incluem o ombro e o quadril (NEUMANN; 2022).

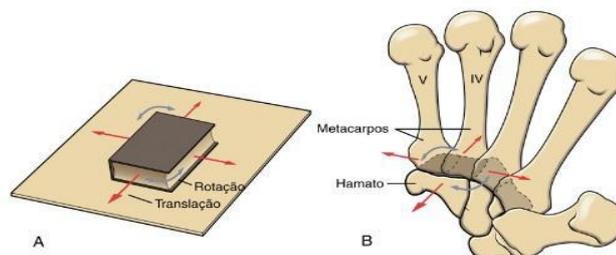
Figura 10 - Articulação esferóide.



Fonte: NEUMANN, 2022, p.31.

Uma articulação plana resulta da união de duas superfícies planas ou ligeiramente curvas. Nesse tipo de articulação, os movimentos envolvem deslizamento e alguma rotação entre os componentes, de maneira similar a um livro pode deslizar ou girar sobre uma superfície plana (Figura 11). Devido à ausência de um eixo de rotação definido, as articulações planas não são geralmente categorizadas em termos de graus de liberdade. Nas articulações carpo metacarpianas dos dedos II a V (Figura 11B) e em várias articulações inter carpianas e Inter tarsianas, esse tipo de articulação é comumente encontrado. A estabilização ou limitação dos movimentos entre os ossos é proporcionada pela tensão nos músculos ou ligamentos (NEUMANN; 2022).

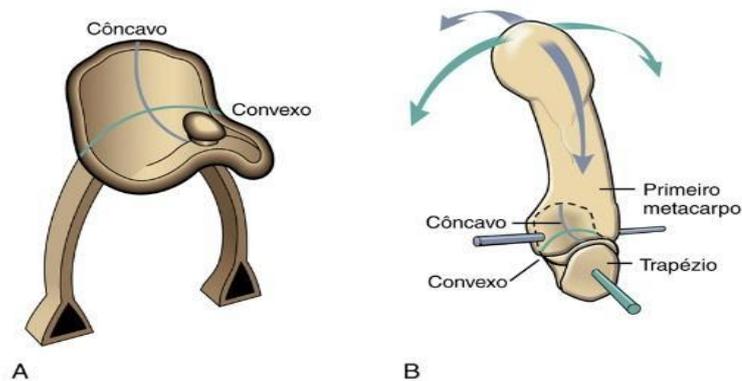
Figura 11 - Articulação Plana.



Fonte: NEUMANN, 2022, p.32.

Cada elemento de uma articulação selar apresenta duas superfícies distintas: uma delas é côncava, enquanto a outra é convexa. Essas superfícies estão dispostas em ângulos quase perpendiculares entre si e possuem curvaturas recíprocas. A analogia de uma sela de montaria e um cavaleiro ilustra de maneira eficaz a estrutura de uma articulação selar (Figura 12). A sela exibe uma superfície côncava na direção frontal para traseira, abrangendo da parte frontal à posterior da sela. Em sua amplitude lateral, a sela é convexa, se estendendo de um estribo na parte traseira do cavalo até o outro estribo. Essa configuração se harmoniza com as curvaturas convexas e côncavas do cavaleiro, criando um encaixe recíproco. Um exemplo notável de articulação selar é a articulação carpo metacarpiana do polegar (Figura 12B). A interconexão inerente a essa articulação possibilita movimentos abrangentes em dois planos, ao mesmo tempo que limita a rotação entre o trapézio e o metacarpo I (NEUMANN; 2022).

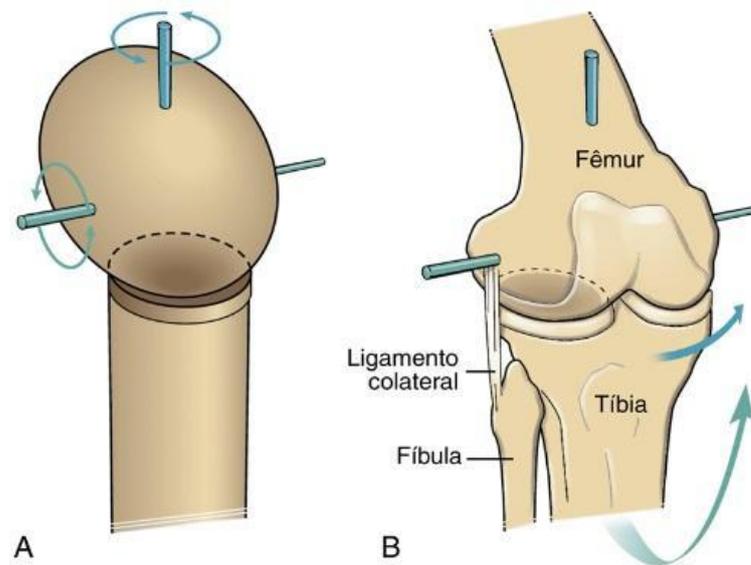
Figura 12 - Articulação selar.



Fonte: NEUMANN, 2022, p.32.

Uma analogia mecânica para a articulação condiloide é a ação de abrir e fechar um livro. Assim como abrir um livro envolve movimentos em direções diferentes das suas partes, a articulação condiloide permite movimentos em duas direções distintas. Comparada à articulação esferoide, a articulação condiloide é semelhante, mas o componente côncavo é mais raso (Figura 13). Ela ocorre em pares, como nas articulações do joelho (Figura 13 B) e a atlanto-occipital, que é a articulação entre os côndilos occipitais e a primeira vértebra cervical. Um exemplo adicional é a articulação metacarpofalângea dos dedos. A origem da palavra "côndilo" remete à ideia de "articulação dos dedos da mão" (NEUMANN; 2022).

Figura 13 - Articulação condiloide.

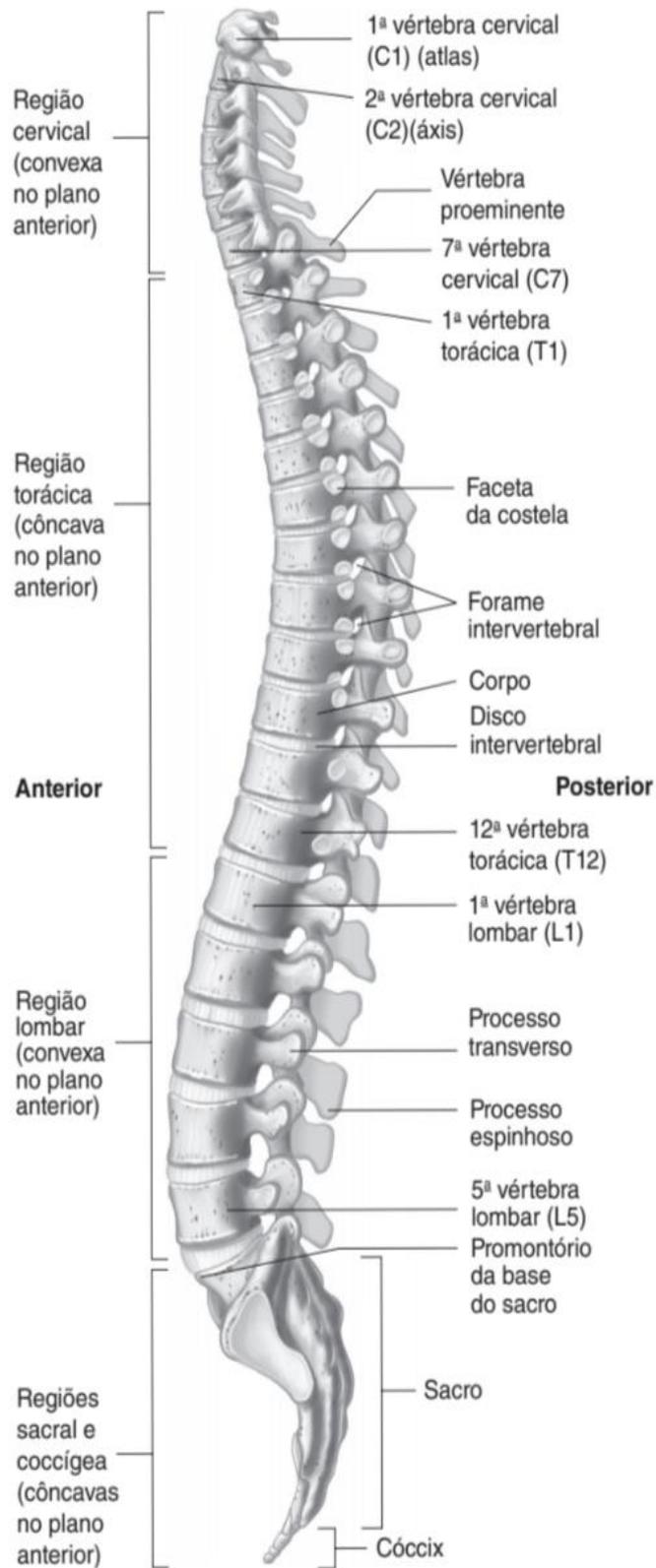


Fonte: NEUMANN, 2022, p.33.

A estrutura altamente complexa da coluna vertebral (conforme apresentada na Figura 14) é composta por um total de 33 vértebras, das quais 24 são móveis e 9 estão fundidas. Essas vértebras estão organizadas em segmentos distintos, a saber: 7 vértebras cervicais (localizadas na região do pescoço), 12 vértebras torácicas e 5 vértebras lombares. Além disso, a coluna vertebral inclui o sacro, que faz parte da base da coluna e é formado por cinco vértebras fundidas, e o cóccix, composto por quatro vértebras fundidas que se encontram na porção posterior do cingulo (THOMPSON; FLOYD, 2016).

No entanto, é relevante ressaltar que, embora o sensor *Kinect*® V. 1 possibilite a captura dos movimentos, esta pesquisa não conseguiu identificar informações precisas nas fontes literárias disponíveis acerca das amplitudes de movimento das vértebras torácicas. Nesse contexto, merece destaque a ênfase atribuída aos movimentos da coluna vertebral cervical e lombar.

Figura 14 - Coluna vertebral.



Fonte: THOMPSON E FLOYD, 2016, p.328.

2.5 AMPLITUDES DE MOVIMENTOS PARA O ERGOMOTION

A goniometria, uma disciplina que se insere no contexto das ciências da saúde, desempenha um papel fundamental na avaliação dos movimentos articulares humanos. Com origens que remontam à Grécia Antiga, o termo "goniometria" deriva das palavras gregas "gônia" (ângulo) e "metron" (medida), enfatizando a sua função essencial de mensurar os ângulos articulares. Ao longo dos séculos, a goniometria evoluiu de um método rudimentar para uma técnica altamente precisa, permitindo a quantificação objetiva dos movimentos das articulações.

Nos dias atuais, a goniometria desempenha um papel vital em diversas áreas, incluindo a reabilitação física, a pesquisa científica e, mais recentemente, na concepção de tecnologias interativas e ergonômicas. Ela proporciona uma abordagem quantitativa e sistemática para avaliar a amplitude de movimento das articulações, auxiliando na detecção de limitações, assimetrias e disfunções articulares. Essa técnica, não apenas fornece informações cruciais para profissionais de saúde, mas também oferece uma base sólida para o desenvolvimento de soluções tecnológicas que promovam a saúde, o conforto e a eficácia nas atividades diárias (MARQUES, 2003).

Neste projeto, a ênfase está na valorização dos movimentos capturados pelo dispositivo *Microsoft Kinect® V1*. Apesar das limitações inerentes à captação dos movimentos dos dedos das mãos e dos dedos dos pés pelo dispositivo da Microsoft®, foi possível explorar uma ampla variedade de movimentos que podem ser benéficos para análises ergonômicas de produtos. Para atingir esse objetivo, baseamo-nos nas amplitudes de movimento descritas na literatura especializada em goniometria. Identificamos as articulações que correspondem às possibilidades de captura dos *softwares* e *hardwares* adotados, abrangendo as articulações dos punhos, cotovelos, ombros, coluna vertebral cervical, coluna vertebral lombar, quadris, joelhos e tornozelos.

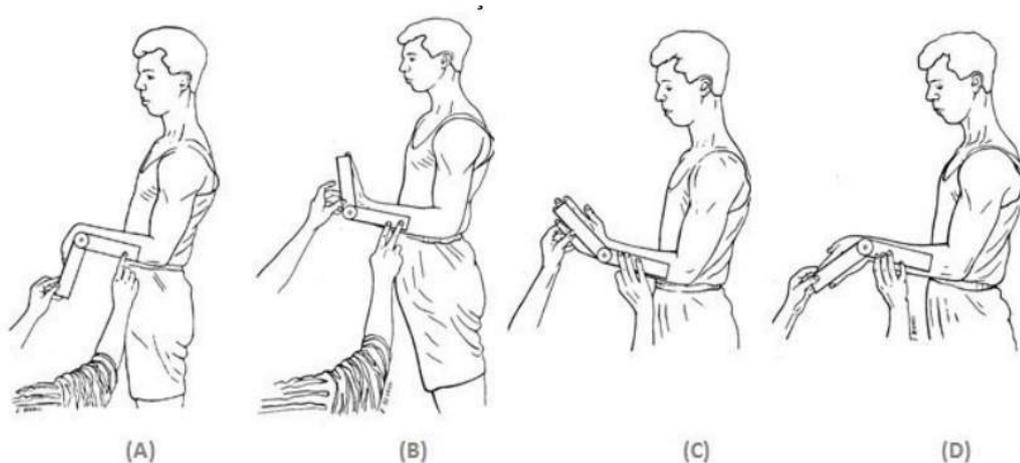
Com o propósito de categorizar esses movimentos, eles foram divididos em seis classificações distintas: verde-lima (indicando uma posição neutra e o início do movimento), seguindo para o verde médio, amarelo, laranja claro, laranja escuro e finalmente o vermelho (indicando a amplitude máxima e o término do movimento). A seguir, fornecemos informações detalhadas sobre os movimentos presentes na

biblioteca de cinesiologia do *software* ErgoMotion, os quais foram extraídos do Manual de Goniometria de Amélia Pascal Marques (2003) e em alguns casos específicos, movimentos e amplitudes indicados por Thompson e Floyd (2016), no livro “Manual de cinesiologia estrutural”.

De acordo com Marques (2003), a articulação do punho apresenta uma série de movimentos, incluindo extensão, flexão, abdução e adução da mão, conforme ilustrado na Figura 15.

- O movimento de flexão da mão permite um alcance de 0 a 90 graus.
- Já o movimento de extensão da mão abrange uma amplitude de 0 a 70 graus.
- A abdução da mão, também conhecida como desvio radial, ocorre em um intervalo de 0 a 20 graus.
- Por sua vez, o movimento de adução da mão, ou desvio ulnar, compreende um alcance de 0 a 45 graus.

Figura 15 - Representação dos Movimentos do Punho: (A) Flexão, (B) Extensão, (C) Abdução e (D) Adução.



Fonte: MARQUES, 2003, p. 27-30.

A articulação do cotovelo (Figura 16), desempenha um papel crucial, proporcionando a flexibilidade e versatilidade necessárias para uma variedade de atividades diárias. As amplitudes dos movimentos do cotovelo são (MARQUES, 2003):

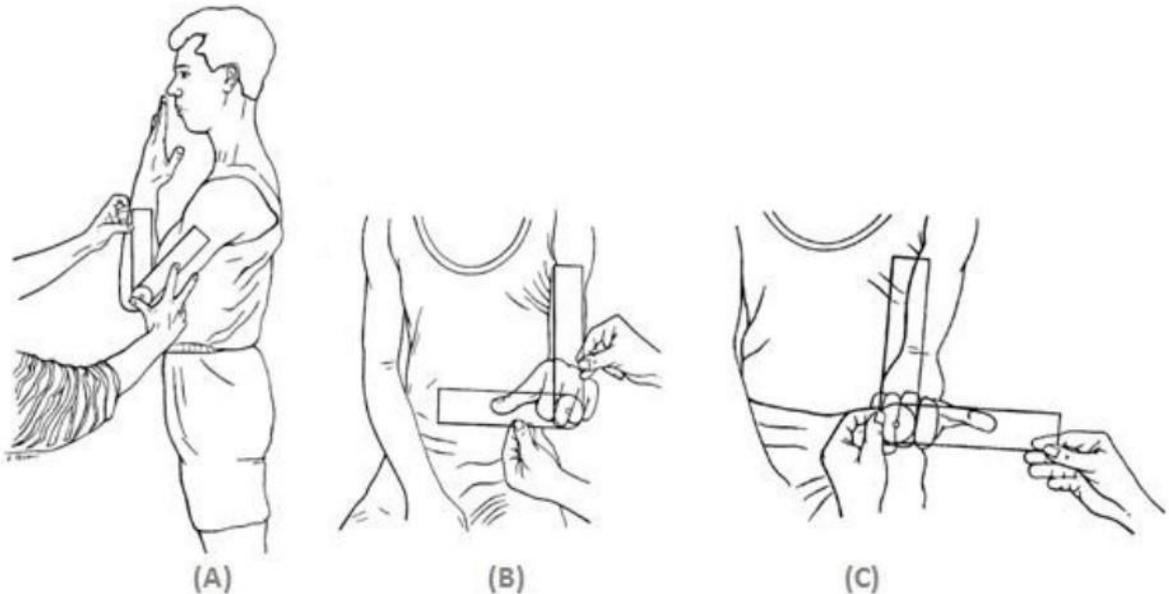
Movimento de flexão e extensão do antebraço:

- O movimento de extensão é considerado o retorno da flexão, abrangendo uma amplitude de 145 a 0 graus.

Movimento de pronação e supinação do antebraço:

- A pronação do antebraço abrange uma amplitude de 0 a 90 graus.
- A supinação do antebraço também possui uma amplitude de 0 a 90 graus.

Figura 16 - Movimentos do cotovelo: (A) Flexão, (B) Pronação e (C) Supinação.



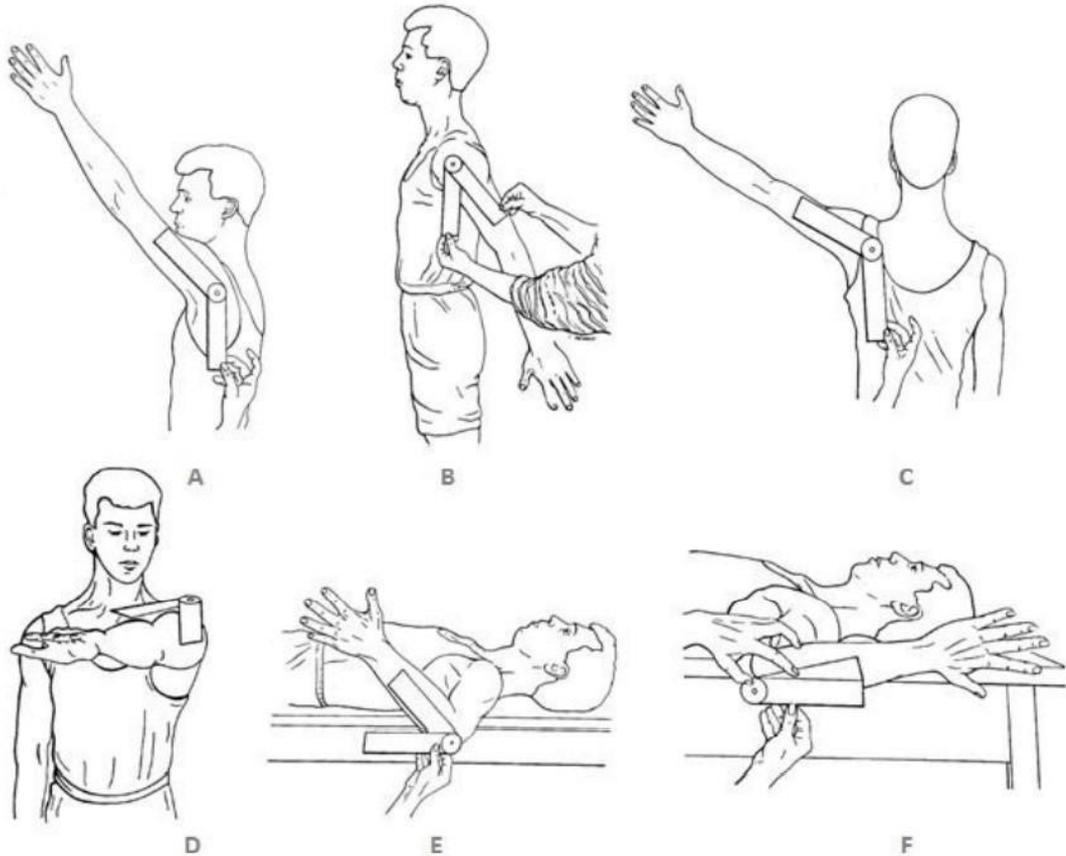
Fonte: MARQUES, 2003, p. 24-26

A articulação do ombro (Figura 17), é altamente móvel e possibilita uma ampla gama de movimentos (MARQUES, 2003). Dentre eles, temos:

- Movimento de flexão do braço: Amplitude de 0 – 180 graus. O braço é levado para a frente, em direção ao corpo.
- Movimento de extensão do braço: Amplitude de 0 – 45 graus. O braço é movido para trás, afastando-se do corpo.
- Movimento de abdução horizontal do braço: Amplitude de 0 – 30 graus. O braço é movido para fora, afastando-se da linha média do corpo.
- Movimento de adução horizontal do braço: Amplitude de 0 – 140 graus. O braço é movido para dentro, em direção à linha média do corpo.
- Movimento de abdução do braço: Amplitude de 0 – 180 graus. O braço é elevado para longe do corpo, em direção à cabeça.
- Movimento de adução do braço: Amplitude de 0 – 40 graus. O braço é abaixado de volta ao lado do corpo.
- Movimento de rotação medial do braço: Amplitude de 0 – 90 graus. O braço é girado para dentro, trazendo a mão em direção ao corpo.

- Movimento de rotação lateral do braço: Amplitude de 0 – 90 graus. O braço é girado para fora, afastando a mão do corpo.

Figura 17 - Movimentos do cotovelo: (A) Flexão, (B) Extensão, (C) Abdução, (D) Adução, (E) Rotação Medial e (F) Rotação Lateral.



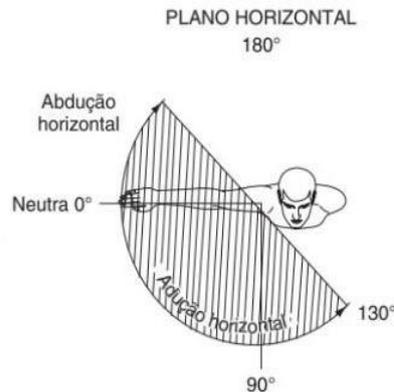
Fonte: MARQUES, 2003, p. 18-23.

Além dos movimentos anteriormente descritos, o *software* ErgoMotion também incorpora alguns movimentos do ombro conforme sugerido por Thompson e Floyd (2016) (Figura 18):

- Movimento de adução horizontal do braço a 45 graus: Nesse movimento, o braço é movido para dentro, em direção à linha média do corpo, até um ângulo de 45 graus.
- Movimento de adução horizontal do braço a 135 graus: Nessa variação, o braço é movido para dentro até um ângulo mais amplo de 135 graus em relação à linha média do corpo.

A inclusão desses movimentos adicionais amplia a capacidade do ErgoMotion de avaliar com maior precisão a amplitude de movimento do ombro, proporcionando uma análise mais abrangente das possibilidades de movimentação dessa articulação.

Figura 18 - Abdução horizontal e Adução horizontal.

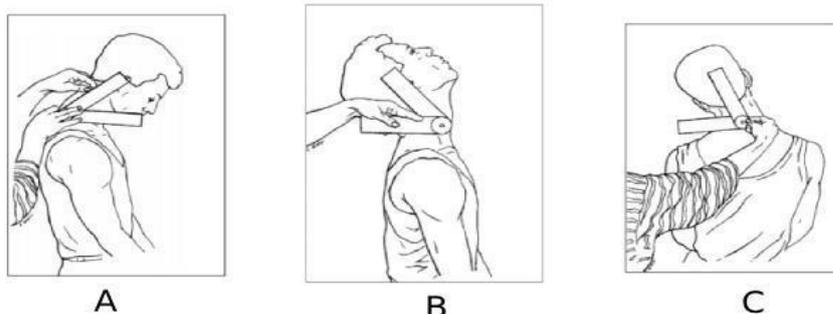


Fonte: THOMPSON E FLOYD, 2016, p.117.

A articulação do pescoço (Figuras 19 e 20), também conhecida como cervical, por ser a parte cervical da coluna vertebral, que se divide em três partes: cervical, torácica e lombar. A coluna vertebral cervical apresenta os seguintes movimentos:

- Movimento de flexão da região cervical: 0 – 65 graus.
- Movimento de extensão da região cervical (inclinação para trás do pescoço): 0 – 50 graus.
- Movimento de flexão lateral da região cervical (movimentação para a direita ou esquerda com o pescoço): 0 – 40 graus.
- Movimento de rotação unilateral (torção para direita ou esquerda do pescoço): 0 – 55 graus.

Figura 19 - (A) Flexão, (B) Extensão e (C) Flexão Lateral da cervical.



Fonte: MARQUES, 2003, p. 46-48.

Figura 20 - Rotação unilateral da cervical.

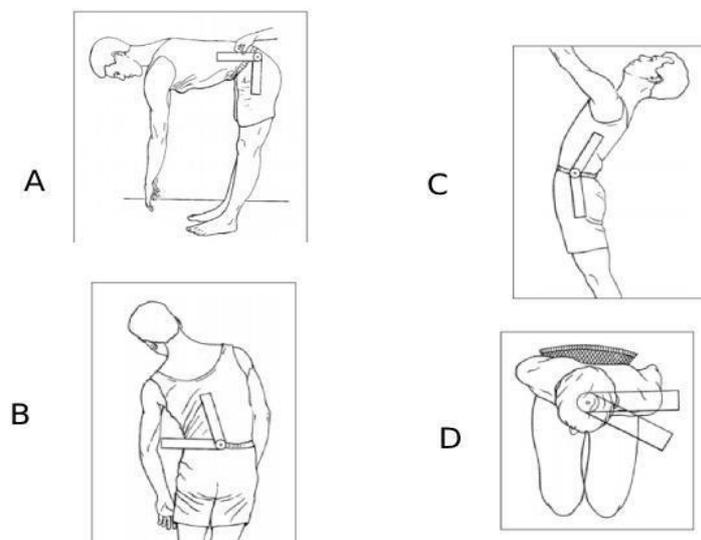


Fonte: THOMPSON E FLOYD, 2016, p.334.

A articulação da coluna vertebral lombar (Figura 21), é capaz de realizar os seguintes movimentos (MARQUES, 2003):

- Movimento de flexão da coluna lombar ocorre no plano sagital: 0 – 95 graus.
- A extensão é descrita como um movimento para trás que excede a posição vertical: 0 – 35 graus.
- Flexão lateral (inclinação lateral): 0 – 40 graus.
- Rotação espinal (esquerda e direita): movimento giratório da espinha no plano horizontal: 0 – 35 graus.

Figura 21 - (A) Flexão, (B) Flexão Lateral, (C) Extensão, (D) Rotação.

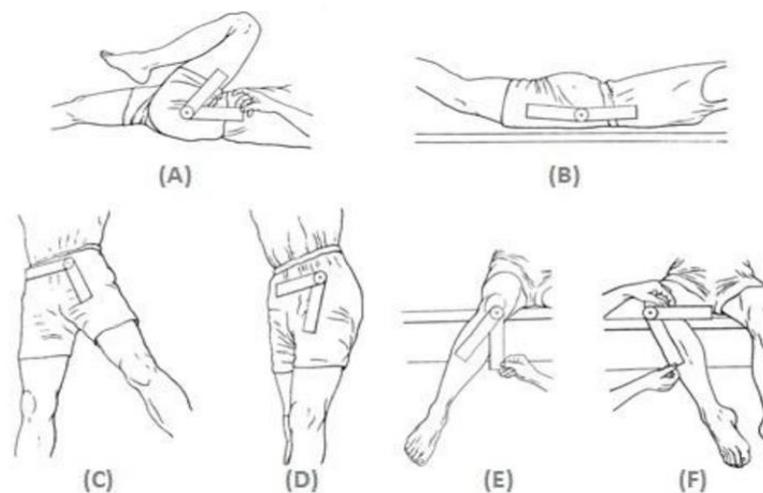


Fonte: MARQUES, 2003, p. 60-63.

Os movimentos dos quadris (Figura 22), são articulações fundamentais no corpo humano, que abrangem uma ampla gama de ações. Essas articulações permitem movimentos como flexão, extensão, abdução, adução, rotação medial e rotação lateral. A coordenação desses movimentos é essencial para a estabilidade, locomoção e postura adequada do corpo. Segundo Marques (2003), os quadris fazem os seguintes movimentos:

- Movimento de flexão da coxa: A amplitude de movimento varia de 0 a 125 graus.
- Movimento de extensão da coxa: A amplitude de movimento varia de 0 a 10 graus.
- Movimento de abdução da coxa: A amplitude de movimento varia de 0 a 45 graus.
- Movimento de adução da coxa: A amplitude de movimento varia de 0 a 15 graus.
- Movimento de rotação medial da coxa: A amplitude de movimento varia de 0 a 45 grau
- Movimento de rotação lateral da coxa: A amplitude de movimento varia de 0 a 45 graus.

Figura 22 - (A) Flexão, (B) Extensão, (C) Abdução, (D) Adução, (E) Rotação Medial e (F) Rotação Lateral.



Fonte: MARQUES, 2003, p. 34-39.

Os joelhos são complexas articulações que desempenham um papel essencial na locomoção e sustentação do corpo. Seus principais movimentos incluem a flexão, que envolve a dobra do joelho; e a extensão, que estende completamente a perna. Além disso, os joelhos permitem movimentos de rotação, contribuindo para a adaptação em terrenos irregulares. A coordenação precisa desses movimentos é crucial para assegurar mobilidade eficaz e suporte estável. Conforme destacado por Thompson e Floyd (2016), que fornecem minuciosas descrições sobre os movimentos e amplitudes dos joelhos, ilustrados na (Figura 23).

- Extensão do joelho: amplitude de movimento de 0 a 180 graus, podendo haver hiperextensão de até 10 graus.
- Flexão do joelho: amplitude de movimento de 0 a 150 graus.
- Rotação medial do joelho (com flexão de cerca de 30 graus ou mais): aproximadamente 30 graus.
- Rotação lateral do joelho (com flexão de cerca de 30 graus ou mais): até 45 graus.

Figura 23 - (A) Flexão, (B) Extensão, (C) Rotação Medial, (D) Rotação Lateral.



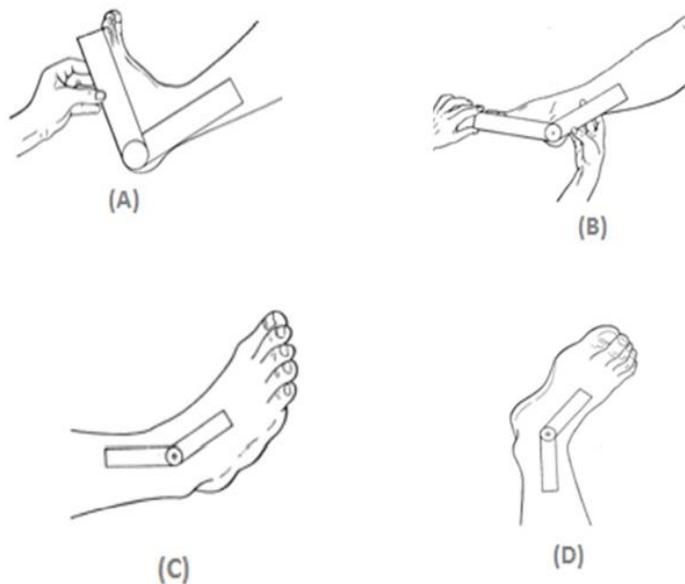
Fonte: THOMPSON E FLOYD, 2016, p.277.

A articulação do tornozelo, também referida como articulação talocrural, engloba os seguintes movimentos, conforme relatado por Marques (2003), e demonstrado na Figura 24:

- Movimento de flexão, também conhecido como Dorsiflexão do pé (articulação do tornozelo): 0 – 20 graus.

- Movimento de extensão ou flexão plantar do pé (articulação do tornozelo): 0 – 45 graus.
- Movimento de adução, ou inversão do pé (articulação do tornozelo): 0 – 40 graus.
- Movimento de abdução, ou eversão do pé (articulação do tornozelo): 0 – 20 graus.

Figura 24 - (A) Flexão, (B) Extensão, (C) Adução, (D) Abdução.

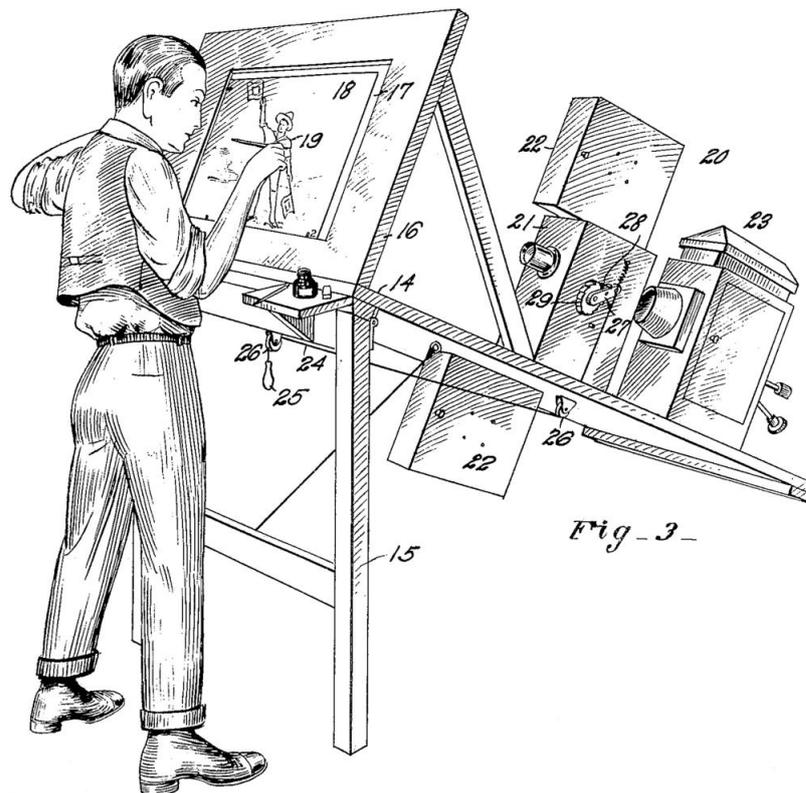


Fonte: MARQUES, 2003, p. 41-44.

2.6 CAPTURA DE MOVIMENTOS

A técnica de captura de movimentos é diretamente derivada da rotoscopia, uma técnica pioneira na animação tradicional. Nesse método, uma sequência de filmagem é transformada em uma animação dinâmica por meio da sobreposição de desenhos meticulosamente criados sobre as imagens capturadas. O conceito de rotoscopia (Figura 25), foi introduzido em 1915 por Max Fleischer, um renomado animador responsável por personagens icônicos como *Betty Boop* e *Popeye*. Essa abordagem artística pavimentou o caminho para as sofisticadas técnicas modernas de captura de movimentos, demonstrando seu impacto duradouro na indústria (MENACHE, 2011).

Figura 25 - Rotoscópio de Max Fleischer.



Fonte: WIKIMEDIA COMMONS, 2023. Disponível em:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/71/US_patent_1242674_figure_3.png.

O termo *Motion Capture* (MoCap), também conhecido como *^Captura de Movimento^*, descreve uma técnica avançada que envolve a captura e registro dos movimentos de seres humanos, animais e objetos inanimados. Esses movimentos são então traduzidos em dados tridimensionais, proporcionando uma representação detalhada das ações físicas (KITAGAWA, 2008).

Lee Harrison III foi um visionário na era da animação por computador, deixando sua marca no desenvolvimento dessa tecnologia. Nos primórdios dos anos 1960, ele, não apenas criou animações com circuitos analógicos e tubos de raios catódicos, mas também introduziu a inovadora ideia de usar um macacão equipado com potenciômetros para capturar movimentos corporais. Esse pioneirismo levou à criação do ANIMAC (Figura 26), um sistema que permitia a animação em tempo real de figuras 2D por meio da captação dos movimentos do usuário. Através do uso dos potenciômetros no macacão, Harrison conseguia traduzir os movimentos do corpo

para as animações em uma tela, antecipando conceitos que hoje conhecemos como captura de movimento. Seus esforços resultaram em uma série de curtas-metragens que exploraram as possibilidades desse sistema revolucionário (CARLSON, 2017).

Figura 26 - ANIMAC de Lee Harrison III.



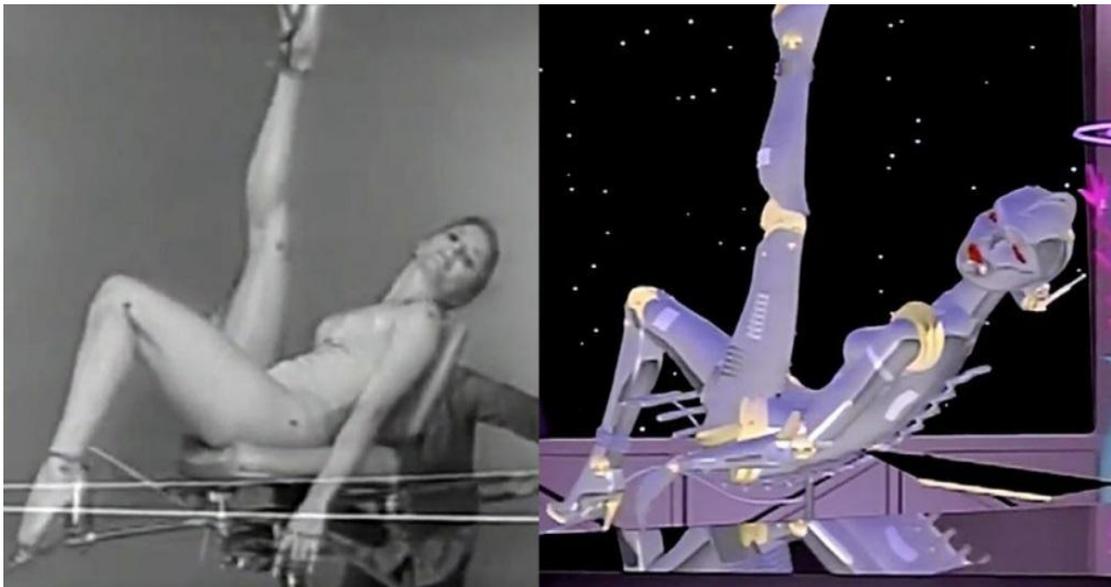
Fonte: *WIKIMEDIA COMMONS*, 2023. Disponível em:
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/20/Animac.png>.

A captura de movimentos tem encontrado aplicação em uma diversidade de setores, demonstrando sua relevância em diferentes campos. Áreas como publicidade e marketing, entretenimento, saúde, ciências humanas aplicadas, esportes e muitas outras têm se beneficiado dessa técnica versátil.

A técnica de MoCap foi introduzida no contexto comercial quando foi utilizada pela primeira vez em um anúncio encomendado pela associação dos principais

produtores de alimentos enlatados nos Estados Unidos. O resultado foi a animação "*Brilliance*" ou "*Sexy Robot*" (Figura 26), criada por Robert Abel and Associates e dirigida por Randy Roberts, e televisionada no intervalo do *super bowl* (final da principal liga de futebol americano dos Estados Unidos) em 1985. Essa inovação inicial, embora impressionante, levou um tempo para se consolidar na área da comunicação. Foi somente no final dos anos 90 que a técnica ganhou força, à medida e as tecnologias se tornaram mais eficientes e acessíveis, permitindo um uso mais disseminado e impactante em campanhas publicitárias e outras formas de comunicação (RAHUL, 2018).

Figura 27 - “Sexy Robot” comercial de comida enlatada.



Fonte: YOUTUBE, 2023. Disponível em: <https://youtu.be/4NpPeA-x6as>.

Na esfera do entretenimento, a trajetória do desenvolvimento da tecnologia de captura de movimentos ganha forma entre o final dos anos 1980 e o início dos anos 1990. Nesse contexto, um marco ocorreu em 1991, na França, quando um grupo de talentosos artistas gráficos do *Medialab* concebeu a primeira animação em tempo real por meio da captura de movimentos, desenvolvida para o Canal +.

Conhecida como "*Mat, le fantôme*" (Mat, o fantasma), (Figura 28), foi uma animação pioneira que assumia a forma de uma espécie de "marionete digital", operada por meio de uma luva equipada com sensores. Essa luva habilmente controlava as expressões faciais do personagem, enquanto um pedal permitia a modificação instantânea das cores do modelo tridimensional, criando uma experiência interativa única (FREEDMAN, 2012).

Figura 28 - Mat, o fantasma - animação com captura de movimentos em tempo real.



Fonte: *MEDIALAB*, PÁGINA DO FACEBOOK®, 2023. Disponível em: <https://www.facebook.com/profile.php?id=100057375283464>.

A captura de movimentos desempenha um papel vital na área da saúde, especialmente na biomecânica, ao proporcionar uma compreensão minuciosa dos movimentos humanos e seus princípios físicos. Essa abordagem considera cuidadosamente as características anatômicas e fisiológicas do corpo humano, o que contribui para uma visão abrangente e precisa (AMADIO & SERRÃO, 2011). Além disso, essa tecnologia se estende à Tecnologia Assistiva⁵, permitindo o desenvolvimento de projetos de produtos embasados na análise de parâmetros biomecânicos. Essa abordagem visa aprimorar a funcionalidade para pessoas com algum tipo de limitações, resultando em soluções mais eficazes e adaptadas (VARNIER *et al*, 2019).

No contexto esportivo, a captura de movimentos assume um papel de destaque ao analisar minuciosamente o desempenho dos atletas. Ao fornecer informações detalhadas sobre os movimentos, essa tecnologia se torna uma ferramenta valiosa para impulsionar uma melhoria contínua no rendimento atlético (RAHUL, 2018).

⁵ Tecnologia Assistiva (TA) é um termo ainda novo, utilizado para identificar todo o arsenal de recursos e serviços que contribuem para proporcionar ou ampliar habilidades funcionais de pessoas com deficiência e, consequentemente, promover vida independente e inclusão. (BERSCH & TONOLLI, 2006).

2.7 TIPOS DE CAPTURA DE MOVIMENTOS

A gama de métodos de captura de movimento compreende cinco abordagens principais, cada uma diretamente associada aos tipos de sensores empregados: eletromecânica, magnética, óptica, sem marcadores e inercial, cada uma dessas abordagens possui suas próprias vantagens e limitações específicas na captura de movimentos, o que, por sua vez, orienta a seleção dos procedimentos ideais para a obtenção dos dados (DOS SANTOS, 2014).

Sistemas Eletromecânicos: Os sistemas eletromecânicos, em particular os sistemas analógicos, utilizam verdadeiros exoesqueletos ligados à pessoa. Esses exoesqueletos coletam informações por meio de sensores e, por meio de cabos, transmitem os dados de posição para um computador, que posteriormente reconstrói os movimentos registrados.

Sistemas Magnéticos: Segundo Silva (1998), os sistemas magnéticos de captura se destacam por sua eficiência no processamento de dados capturados. Nesse formato, um conjunto de receptores é posicionado nas articulações do intérprete, conhecidas como "pontos-chave". Esses receptores monitoram a posição e orientação dos pontos-chave em relação a uma antena transmissora, que emite um pulso de sinal. É importante notar que cada receptor requer um cabo para se conectar à antena.

Sistemas Ópticos: Os sistemas ópticos são amplamente empregados, atualmente, em campos como medicina esportiva e entretenimento, incluindo filmes e jogos eletrônicos. Esses sistemas de captura óptica fazem uso de marcadores ópticos, também chamados de refletores. Normalmente, esses refletores são esferas revestidas de material reflexivo. Tais esferas são estrategicamente colocadas nos pontos-chave do intérprete, como juntas e articulações, para permitir a captação dos movimentos essenciais.

Sistemas Sem Marcadores (*Markerless*): A tecnologia sem marcadores (*Markerless*) emprega o conceito de 'mapa de profundidade', que representa uma superfície nivelada reconstruída por meio de técnicas ópticas. Esse método não corresponde estritamente a um modelo 3D clássico, mas sim a objetos em forma de *Voxel*, que são uma combinação entre *pixels* e vetores. Isso se assemelha a uma matriz de cubos coloridos posicionados no espaço. Quando aplicado ao corpo, essa

estrutura volumétrica aproximada é usada para extrair uma configuração do esqueleto virtual.

Por fim, a captura inercial é fundamentada em sensores que registram a aceleração, velocidade angular e orientação do corpo. Essa abordagem encontra aplicação em dispositivos portáteis e *wearables* que incorporam giroscópios e acelerômetros, proporcionando mobilidade e simplicidade de uso para uma variedade de situações e atividades.

Em síntese, a seleção do método de captura de movimento está intrinsecamente ligada às demandas individuais de cada aplicação, considerando cuidadosamente as vantagens e desafios inerentes a cada abordagem específica.

As tecnologias de Captura de Movimento são diversas. Neste contexto, é essencial compreender as diferentes opções disponíveis para a captura de movimentos, abrangendo desde dispositivos como o *Microsoft Kinect®* e *Azure Kinect®* e o *PlayStation Eye®* até sistemas confiáveis como o *Vicon®* e *Xsens®*. Cada uma dessas tecnologias oferece abordagens únicas, que vão desde o rastreamento óptico e inercial até o uso de marcadores e a análise de profundidade. Essa variedade de opções destaca a importância de selecionar a tecnologia mais adequada para cada aplicação específica, considerando a precisão, confiabilidade e adaptabilidade necessárias para capturar e interpretar movimentos de forma eficaz e eficiente.

Azure Kinect®: O *Azure Kinect®* se destaca como um kit de desenvolvimento avançado para a computação espacial. Equipado com modelos de fala e visão computacional de última geração, bem como sensores de IA sofisticados, esse sistema é integrado a poderosos SDKs, que se conectam aos serviços cognitivos do *Azure*. Empresas de setores variados, como fabricação, varejo, saúde e mídia, utilizam o *Azure Kinect®* para otimizar a segurança operacional, elevar o desempenho, melhorar os resultados e aprimorar a experiência do cliente. (MICROSOFT®, 2022)

PlayStation Eye®: O *PlayStation Eye®*, sucessor do *EyeToy* para *PlayStation 2*, é uma câmera digital para *PlayStation 3*. Lançado em diferentes datas ao redor do mundo em 2007, essa câmera oferece funcionalidades notáveis para a captura de movimentos. (WIKIPÉDIA, 2022)

Sistema Vicon®: Renomado por sua avançada tecnologia de captura de movimento, o *Sistema Vicon®* utiliza abordagem óptica e envolve o uso de macacões

com marcadores passivos. Ao rastrear a movimentação desses marcadores, o sistema permite uma captação precisa e detalhada.

Sistema Xsens®: A Xsens® oferece uma combinação de *softwares* e *hardwares* para captura de movimento. O *software* associado é usado para registrar, monitorar e revisar o movimento, fornecendo confiabilidade e adaptabilidade para capturas em diversos ambientes. O sistema Xsens® é baseado em tecnologia vestível inercial. (XSENS®, 2022)

Sistemas Eletromecânicos: Em sistemas eletromecânicos, diversos *hardwares* podem ser empregados, incluindo acelerômetros para medir a taxa de variação de posição e giroscópios para medir a velocidade angular de objetos em torno de um eixo. (RODRIGUES, 2018)

Microsoft Kinect®: O sensor *Kinect®* é notável por gerar dados que representam as coordenadas de pontos específicos do corpo humano, a uma taxa de amostragem de 30Hz. Com capacidades avançadas, a versão 2.0 do *Kinect®* pode identificar até 6 pessoas simultaneamente, com 25 articulações para cada uma. (SCOPPA *et al.*, 2013)

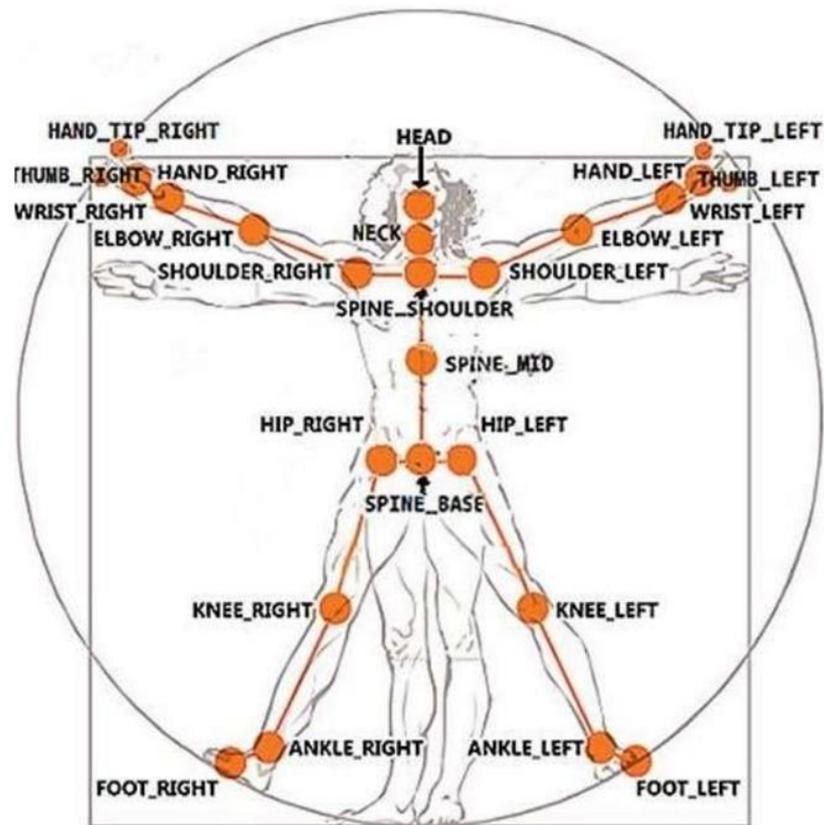
O sensor Kinect® 1.0 (ver Figura 29) destaca-se por suas câmeras RGB e infravermelho, microfone com reconhecimento de voz e sensor motorizado para rastreamento preciso de movimentos. Seu alcance varia de 1,2 m a 3,5 m, reconhecendo até 6 pessoas simultaneamente e permitindo a participação de jogadores ativos. Ele captura movimentos de 20 articulações principais (ver Figura 30). A escolha deste hardware para o estudo foi motivada principalmente por sua acessibilidade financeira (MICROSOFT®, 2022).

Figura 29 - Kinect 1.0.



Fonte: MICROSOFT®, 2023.

Figura 30 - Articulações detectadas pelo Kinect®

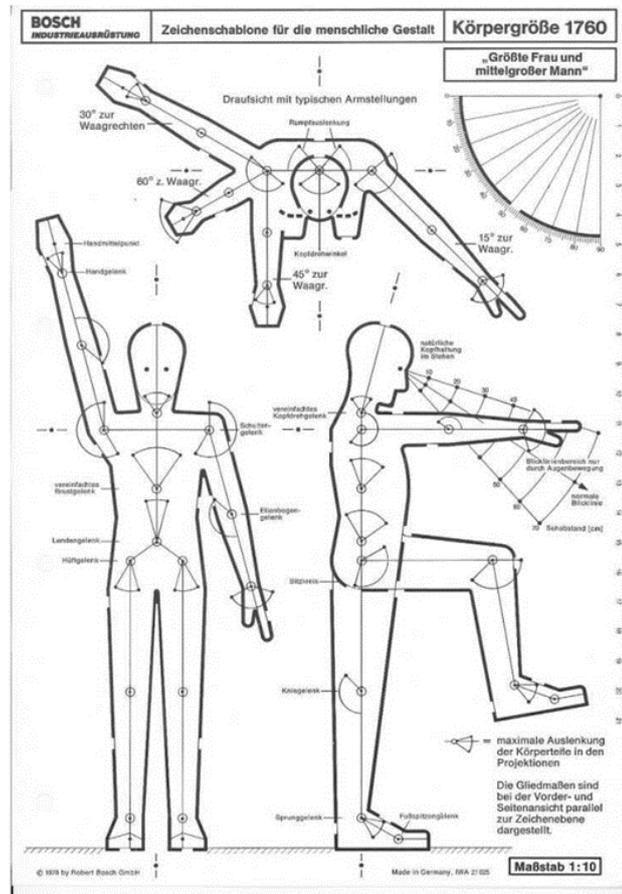


Fonte: MICROSOFT®, 2023.

2.8 MODELOS HUMANOS DIGITAIS

Com a ascensão da revolução industrial, emergiu a necessidade de explorar a ergonomia como um componente crucial no desenvolvimento de produtos. Mühlstedt (2016), destaca a presença de modelos humanos representativos utilizados pela fabricante de automóveis BMW® já em 1920, bem como o emprego dessas representações semelhantes para a disposição interna de um dirigível em 1928. Contudo, foi somente entre as décadas de 1960 e 1980 que empresas passaram a criar *templates* dimensionais baseados na anatomia humana para guiar o design de produtos. Um exemplo notável foi a iniciativa da empresa alemã Bosch® (Figura 31) neste âmbito (BUBB, 2019).

Figura 31 - Jenik-Bosch template.



Fonte: GUNTHER; SCATAGLINI, 2019, p.24.

Na Alemanha, Jürgens, Helbig e Kopka (1975), desenvolveram um boneco articulado 2D em material transparente e produzido em diferentes percentis, tanto no modelo masculino quanto no feminino. O modelo foi batizado de “Kiel Manikin” (Figura 32), (BUBB, 2019).

Figura 32 – Kiel Manikin.

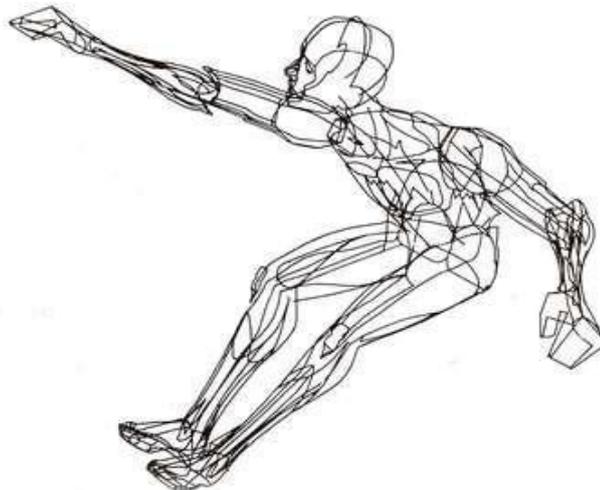


Fonte: GUNTHER; SCATAGLINI, 2019, p.25.

Com o crescente protagonismo dos computadores, surgiu o interesse em criar modelos tridimensionais. A primeira menção significativa ao uso de MHDs tridimensionais para fins de projeto remonta ao final dos anos de 1960, impulsionado pela *American Air and Space Research* para análise ergonômica de ambientes voltados para astronautas. Quase simultaneamente, a indústria aeronáutica desenvolveu um MHD chamado "*First Man*" (Figura 33), concebido em 1964 por William A. Fetter, diretor de arte da *The Boeing Company*® em Seattle, Washington. Fetter supervisionou a criação de um programa de computador que possibilitou a geração das primeiras imagens tridimensionais do corpo humano através de gráficos computacionais.

Por meio desse programa, Fetter e sua equipe produziram o primeiro modelo de computador de uma figura humana, que recebeu o nome "*First Man*" ou "*Boeing Man*". Embora os desenhos em *wireframe* (desenho aramado), de Fetter possam ser considerados para fins comerciais, apresentavam um padrão estético elevado. O MHD foi utilizado para avaliar a adequação do *layout* das cabines de aeronaves, sendo composto por um homem com percentil 50, uma medida antropométrica com referência ao homem médio americano e militar. O emprego desse MHD foi uma abordagem inovadora para examinar a adaptabilidade das disposições das cabines de aeronaves (SCATAGLINI; PAUL, 2019).

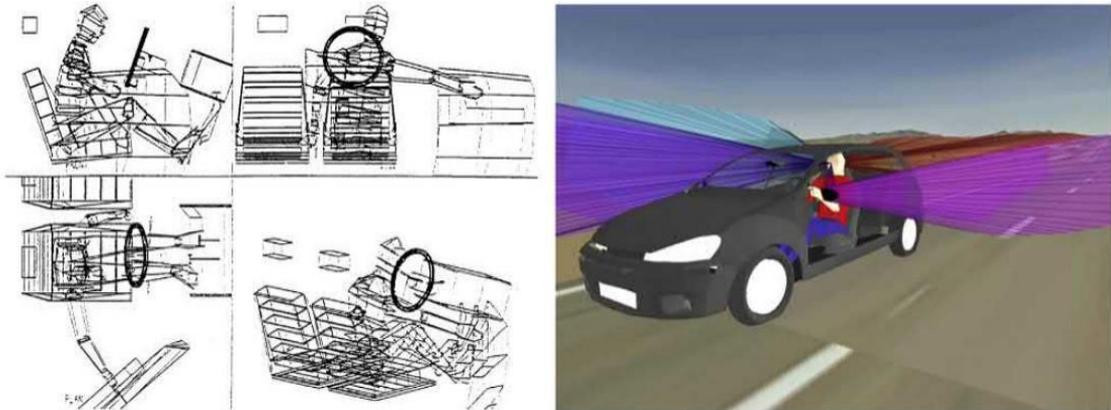
Figura 33 – *First Man*.



Fonte: GUNTHER, SCATAGLINI, 2019, p.26.

Na universidade de Nottingham, Bonney, Evershed, & Roberts (1969), desenvolveram o SAMMY (Figura 34), na figura esquerda, o modelo original de 1969. Na direita, o modelo de 2019, um MHD poligonal com 21 membros e 17 articulações, desenvolvido continuamente e disponível atualmente (BUBB, 2019).

Figura 34 – SAMMY.



Fonte: GUNTHER, SCATAGLINI, 2019, p.26.

O *software* JACK (Figura 35) foi originalmente desenvolvido sob a liderança da NASA® em colaboração com a Universidade da Pensilvânia no Centro de Modelagem e Simulação Humana, durante meados da década de 1980. Inicialmente chamado de TEMPUS, o JACK foi concebido para planejar o trabalho durante a montagem da Estação Espacial Internacional atual. Seu propósito era elucidar questões como a maneira mais eficaz para um astronauta alcançar e fixar objetos, além de analisar a visão do astronauta em relação aos trajes espaciais. O sistema, baseado em princípios de robótica, realiza processos dinâmicos quase em tempo real, oferecendo visualizações de alta qualidade. Ao longo dos anos, o JACK também encontrou aplicações em análises de aeronaves militares e outros veículos. O JACK utiliza dados antropométricos do banco de dados Ansur e possui uma versão feminina denominada de JILL, que complementa as funcionalidades do JACK. Uma característica notável é sua coluna vertebral móvel e articulações que reproduzem condições naturais de limitações de movimento. Existe um módulo que permite o posicionamento do MHD dentro do interior de um veículo usando cinemática inversa⁶. Ele também oferece uma

⁶ A cinemática inversa é uma ferramenta frequentemente empregada por artistas de 3D. É, em geral, mais fácil para um artista expressar a aparência espacial desejada do que manipular diretamente

análise da visibilidade do motorista. Diversas funções de análise já estão integradas ao modelo humano, permitindo simulações de posturas e movimentos guiados por força, viabilizando cálculos de tarefas complexas. O MHD JACK possui uma interface aberta e interativa. Por esse motivo, o JACK é especialmente atrativo para instituições científicas, muitas vezes levando as inovações diretamente aos produtos e processos de produção (BUBB, 2019).

Figura 35 – JACK.



Fonte: GUNTHER, SCATAGLINI, 2019, p.28.

O *software Safework/Human Builder* (Figura 36), teve sua origem nos anos 1980 no Canadá, na *École Polytechnique Montreal*. Sua primeira iteração foi desenvolvida para computadores pessoais e englobava módulos direcionados à antropometria, movimento e modelagem do ambiente (SEIDL, 1997). Mais tarde, a empresa francesa *Dassault Systèmes* adquiriu o *Safework* e o incorporou ao sistema CAD CATIA. Hoje, esse modelo humano é conhecido como *Human Builder* e está disponível nas plataformas Enovia e Delmia. O *Human Builder* é enriquecido com dados antropométricos de diversas nações, como França, Estados Unidos, Canadá e Japão. Ao utilizar o desvio padrão presente nessas tabelas, é possível estimar uma relação correlativa entre as dimensões individuais do corpo, proporcionando uma representação razoavelmente precisa das proporções humanas. Além disso, a limitação natural dos ângulos das articulações é levada em consideração, e posturas predefinidas são empregadas. A funcionalidade do aplicativo pode ser expandida

ângulos nas juntas. Por exemplo, a cinemática inversa permite que um artista manipule uma mão em 3D de um modelo humano, a posição e a orientação desejadas; assim como, deixar que um algoritmo selecione os ângulos apropriados de punho, cotovelo e ombro. (ZACCA *et al.*, 2020).

através da adição de módulos complementares. Também se destacam ferramentas para análises de postura estática, movimentação de carga, empurrar e puxar, e o uso do método RULA (*Rapid Upper Limb Assessment* - Avaliação Rápida dos Membros Superiores). O *Human Builder* permite até mesmo otimizações automáticas da postura. Possui a capacidade de simulação das tarefas humanas viabilizando a análise de ações realizadas em processos de trabalho, garantindo aspectos ergonômicos, de saúde e segurança, como subir escadas e criar trajetórias de movimento (BUBB, 2019).

Figura 36 – Human Builder.



Fonte: GUNTHER, SCATAGLINI, 2019, p.29.

O software RAMSIS (Figura 37), foi originalmente criado entre 1987 e 1994 em colaboração com a indústria automotiva alemã, a *Tecmath AG*®, a Universidade Católica de Eichstätt-Ingolstadt e o Instituto de Ergonomia da Universidade Técnica de Munique. Este MHD é amplamente utilizado na indústria automobilística. Seu principal objetivo é simular a interação entre os ocupantes de um veículo e o ambiente circundante. Ao combinar informações detalhadas sobre anatomia e proporções humanas com simulações de movimento realistas, o RAMSIS pode prever posturas, reações a impactos e conforto em diferentes configurações de veículos, permitindo a avaliação da ergonomia, segurança e conforto durante a fase de projeto e desenvolvimento de veículos. Além do setor automobilístico, o modelo também encontra aplicação em outros campos, como design de motocicletas, aeronaves e maquinaria industrial. A distribuição e o desenvolvimento contínuo do RAMSIS são atualmente supervisionados pela *Human Solutions GmbH*, sediada em Kaiserslautern (BUBB, 2019).

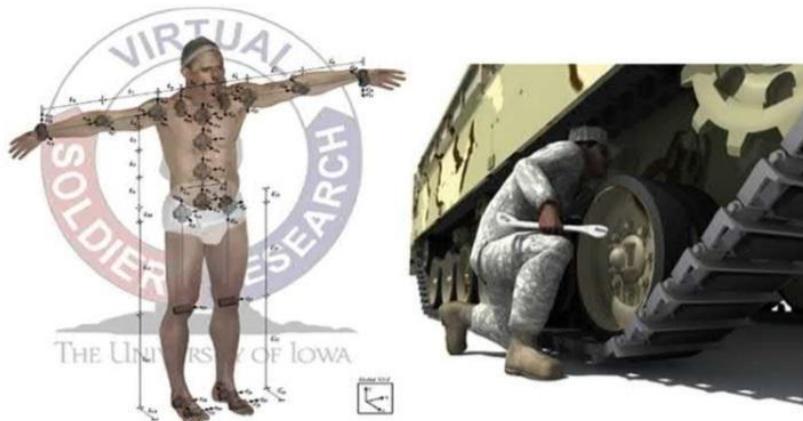
Figura 37 – RAMSIS.



Fonte: *Human Solutions*. Disponível em: <https://www.human-solutions.com/>.

O MHD SANTOS (Figura 38), representa um desenvolvimento relativamente recente e, até o momento, não está disponível como *software* comercial. Ele tem suas raízes no programa de pesquisa do projeto “Soldado Virtual” da Universidade de Iowa. A principal direção desse programa é a simulação de um soldado para avaliar sistemas, componentes e produtos na área militar (BUBB, 2019).

Figura 38 – SANTOS.

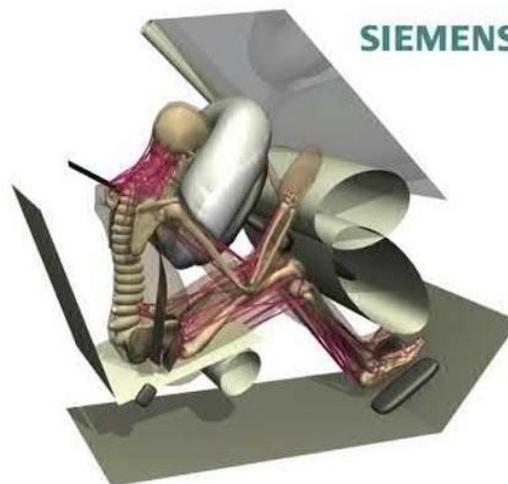


Fonte: GUNTHER, SCATAGLINI, 2019, p.30.

O *software* MADYMO (Figura 39) é um modelo biomecânico de origem holandesa que ganhou destaque como uma ferramenta de simulação líder na área de segurança veicular. Desenvolvido pela TNO (Organização de Pesquisa Científica Aplicada) na Holanda, o MADYMO foi criado inicialmente para simular os efeitos de acidentes de trânsito nos ocupantes de veículos. Sua abordagem abrange desde simulações de colisões frontais até impactos laterais e traseiros, permitindo uma

análise abrangente das forças e movimentos envolvidos durante um acidente. O MADYMO incorpora detalhadas informações sobre a anatomia humana, incluindo osso, músculo, pele e outros tecidos, permitindo a modelagem realista do comportamento do corpo humano, sob diferentes condições de impacto. Uma característica marcante é sua capacidade de simular a biomecânica do corpo humano, levando em consideração a resposta passiva do corpo a forças externas. Isso é crucial para avaliar como os ocupantes do veículo podem ser afetados em diferentes cenários de acidente. Além disso, o MADYMO é utilizado na análise de impactos em outras áreas, como esportes e segurança pessoal, contribuindo para um melhor entendimento dos efeitos das forças de impacto no corpo humano. Sua integração com outras ferramentas de simulação e design o torna uma parte essencial do processo de desenvolvimento de veículos e sistemas de segurança, proporcionando *insights* valiosos que ajudam a melhorar a segurança dos ocupantes e reduzir o risco de lesões em acidentes automobilísticos (BUBB, 2019).

Figura 39 – MADYMO.

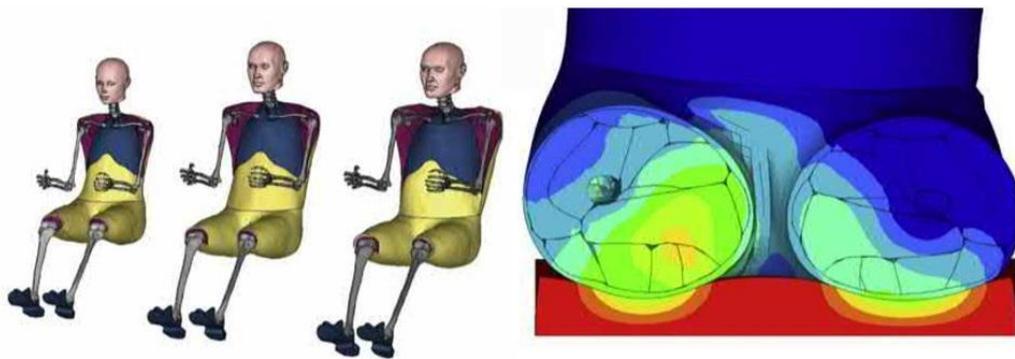


Fonte: GUNTHER, SCATAGLINI, 2019, p.33.

O sistema CASIMIR (Figura 40), foi originalmente desenvolvido com o objetivo de calcular a distribuição de pressão entre o assento e o corpo em estágios iniciais de desenvolvimento. Criado pela empresa *Wölfel und Partner*®, o CASIMIR representa um avanço significativo na modelagem biomecânica de humanos. Sua abordagem abrangente incorpora a anatomia completa da pessoa sentada, incluindo todos os tecidos moles das coxas, nádegas e costas, em um modelo de elementos finitos. Os músculos abdominais e das costas são representados por elementos de

mola/amortecedor não lineares e dependentes de frequência. Além disso, o CASIMIR otimiza a atividade muscular com o objetivo de minimizar a energia a ser aplicada pelo corpo, considerando um cenário específico. Esse modelo avançado também permite a análise do conforto sentido pelo indivíduo durante a postura, proporcionando uma compreensão abrangente da interação assento-corpo. A implementação e a evolução contínua do CASIMIR são supervisionadas pela empresa *Wölfel und Partner*®, representando um recurso valioso para avaliações de design de assentos e análises biomecânicas (BUBB, 2019).

Figura 40 – CASIMIR.

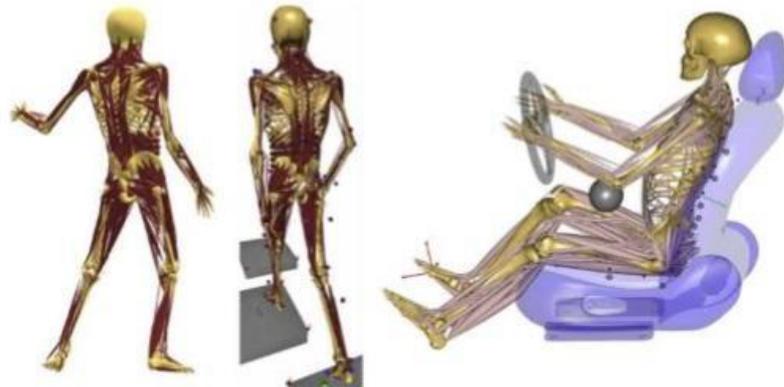


Fonte: GUNTHER, SCATAGLINI, 2019, p.33.

O *software AnyBody* (Figura 41), é um modelo musculoesquelético biomecânico avançado desenvolvido pela Universidade de Aalborg, na Dinamarca, que desempenha um papel fundamental na análise da interação entre o corpo humano e seu ambiente. Criado com foco na modelagem precisa dos músculos e suas conexões com o esqueleto, o *AnyBody* oferece uma abordagem detalhada da biomecânica humana. Sua proposta é entender como os músculos, articulações e estruturas corporais interagem durante movimentos específicos, permitindo uma previsão das forças envolvidas e das respostas do corpo a diferentes estímulos. O *AnyBody* se destaca por sua capacidade de simular movimentos complexos com alta precisão, levando em consideração os princípios biomecânicos e as características individuais. Por meio do uso de modelos matemáticos e técnicas de otimização, o *software* pode analisar as forças musculares necessárias para realizar uma determinada ação, bem como as tensões nos ossos, articulações e outras estruturas corporais. Essas informações são cruciais para avaliar o impacto de atividades

específicas no corpo humano, auxiliando no design de intervenções terapêuticas, equipamentos de reabilitação e até mesmo no aprimoramento de desempenho em atividades esportivas. O MHD é amplamente utilizado em diversas áreas, incluindo medicina esportiva, pesquisa ergonômica, design de próteses e órteses, além de avaliações de movimentos ocupacionais. Sua integração com dados antropométricos e outras informações específicas do indivíduo permite uma análise personalizada das respostas biomecânicas, tornando-o uma ferramenta valiosa para profissionais da área médica e científica. Ao combinar uma modelagem precisa com a capacidade de análise em profundidade, o *AnyBody* contribui para uma compreensão mais abrangente do corpo humano em movimento e suas implicações para a saúde, bem-estar e desempenho humano (BUBB, 2019).

Figura 41 – AnyBody.



Fonte: GUNTHER, SCATAGLINI, 2019, p.34.

O *software* BoB *Biomechanics* (Figura 42), foi desenvolvido pela Universidade de Coventry, no Reino Unido, pelos pesquisadores James Shippen e Barbara May (2016). Este *software* é um pacote de análise biomecânica escrito em MATLAB M-code, projetado para realizar análises de dinâmica inversa. Utilizando métodos de otimização, ele resolve as forças musculares envolvidas, resultando em imagens gráficas sofisticadas e saídas de vídeo detalhadas. O BoB *Biomechanics* é oferecido em quatro versões distintas: BoB/*Research*, voltado para análises biomecânicas; BoB/*Teaching*, destinado ao ensino da biomecânica; BoB/*Ergo*, focado em análises ergonômicas; e o BoB/*EMG*, desenvolvido para análises de eletromiografia.

Esse *software* possui um modelo musculoesquelético humano digital, abrangendo cerca de 600 unidades musculares, incluindo os principais músculos

responsáveis pela locomoção no corpo humano. Uma das capacidades notáveis do *BoB Biomechanics* é sua habilidade de calcular as forças musculares aplicadas durante uma atividade específica, proporcionando uma visão detalhada da biomecânica envolvida (SHIPPEN, MAY, 2016).

Figura 42 – Software BoB Biomechanics.



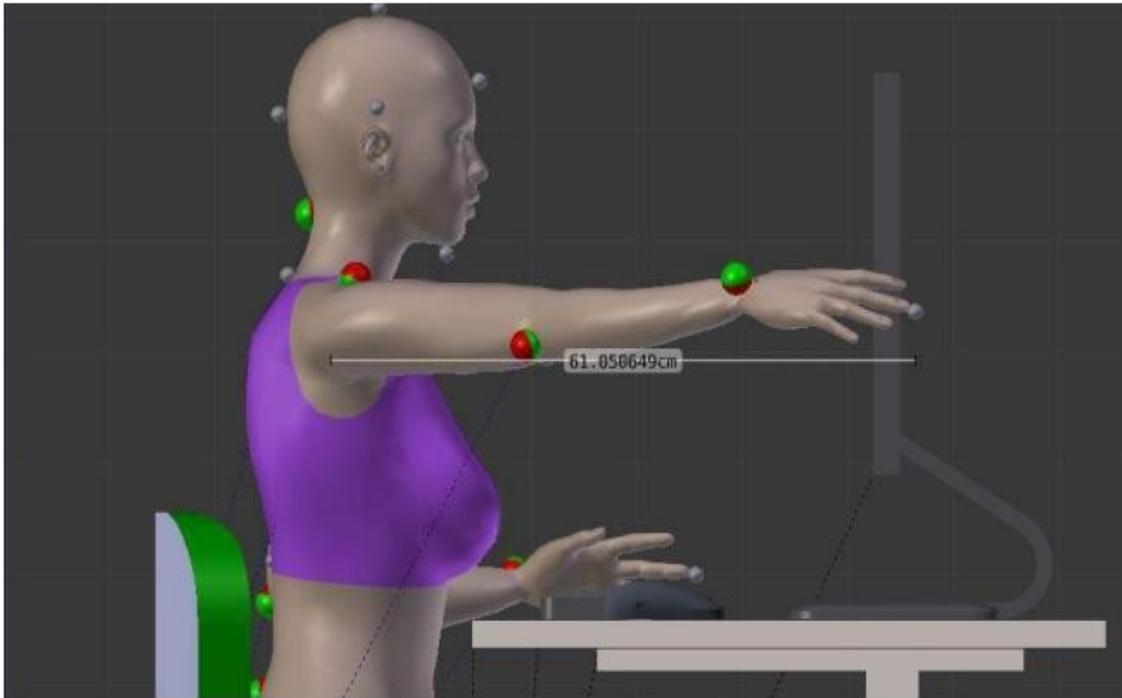
Fonte: BOB *BIOMECHANICS*, 2022. Disponível em: <https://www.bob-biomechanics.com/>.

No ano de 2017, foi desenvolvido o MHD denominado HERIP pelos pesquisadores do Laboratório de Design Virtual (VID) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sendo a tese de doutorado da pesquisadora Clariana Fischer Brendler (2017). O objetivo primordial desse MHD era conduzir análises ergonômicas em um ambiente virtual, visando contribuir para o desenvolvimento de produtos. Uma das principais motivações para a criação desse MHD, conforme indicado pelos autores, reside nas limitações das variáveis antropométricas presentes em *softwares* correlatos. A maioria dos MHDs gratuitos oferecem apenas os percentis 5%, 50% e 95% para as estruturas masculinas e femininas. Além disso, a pesquisa abordou a falta de informações em literatura especializada sobre os valores das variáveis antropométricas relacionadas aos parâmetros antropométricos dinâmicos.

A análise ergonômica foi enfatizada na pesquisa, devido aos possíveis efeitos negativos do uso inadequado de produtos, como fadiga muscular, dor, lesões e até acidentes, resultantes de dimensionamentos incorretos. Para abordar essas questões, o MHD permitiu a parametrização de várias variáveis do corpo humano e conduziu

simulações de análises ergonômicas antropométricas baseadas nas posições reais do corpo humano feitas por captura de movimento. Ele também empregou cores para indicar se o HERIP estava adotando uma postura ergonômica confortável ou não durante a utilização do produto (Figura 43) (BRENDLER; TEIXEIRA, 2017).

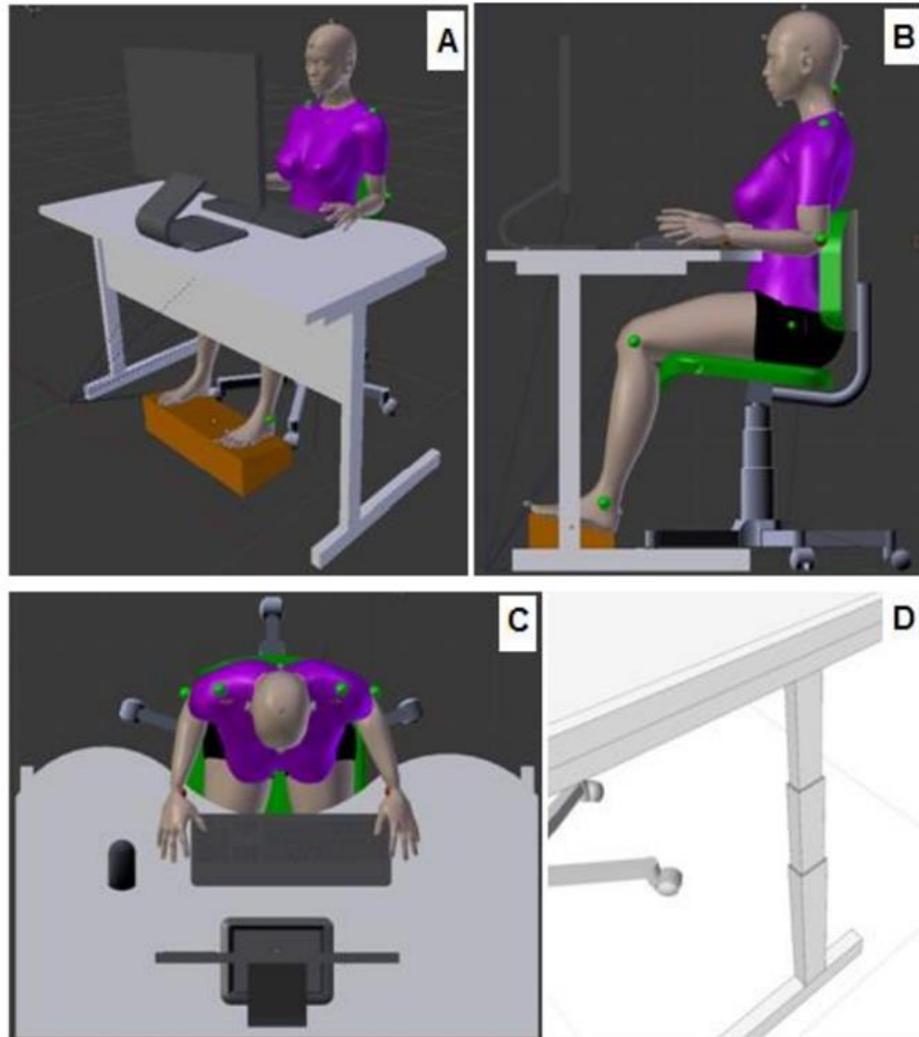
Figura 43 – HERIP.



Fonte: BRENDLER, 2017.

A pesquisa verificou se os ângulos articulares do corpo permaneciam dentro da zona de conforto e do alcance do usuário. O participante executou tarefas pré-determinadas, e as atividades realizadas permitiram avaliar se o dimensionamento do produto era adequado para o usuário, posteriormente, uma proposta de novo design para a estação de trabalho foi apresentada, utilizando os parâmetros de projeto obtidos na análise ergonômica. O novo design da estação de trabalho foi modelado em 3D e, novamente, foi conduzida uma simulação virtual do uso do produto pelo MHD. Esse processo permitiu comprovar, por meio das cores nos marcadores de conforto, que o dimensionamento do novo produto estava correto. A representação virtual da nova mesa de trabalho pode ser vista na Figura 44 (BRENDLER; TEIXEIRA, 2017).

Figura 44 – Proposta de nova mesa de trabalho com melhorias ergonômicas.



Fonte: BRENDLER, 2017.

2.9 MOTOR DE JOGOS

As origens das *game engines* remontam a momentos cruciais na história dos jogos eletrônicos. Enquanto a definição precisa da primeira *game engine* é complexa, pode-se argumentar que o mecanismo de jogo para "*Maze War*" (Figura 45), desenvolvido por Steve Colley, Howard Palmer e Greg Thompson no laboratório de pesquisa da Xerox PARC durante a década de 1970, representa uma das primeiras aparições do que se tornaria uma *game engine*. Embora o termo "*game engine*" não fosse comum naquela época, esse mecanismo fornecia as funcionalidades essenciais para o desenvolvimento de jogos (THOMPSON, 2021).

Figura 45 – Maze War.



Fonte: WIKIMEDIA COMMONS, 2023. Disponível em:
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Maze_War_Replica_\(30245192436\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Maze_War_Replica_(30245192436).jpg).

À medida que a indústria avançava, as *game engines* evoluíam. A *Freescape Engine*, desenvolvida pela *Incentive Software* em 1986, pode ser considerada também uma das pioneiras, tendo aplicação em jogos de tiro em primeira pessoa. O motor *Freescape* foi um motor gráfico revolucionário. Ele foi projetado para criar ambientes 3D imersivos e foi usado em vários videogames notáveis da época. O motor *Freescape* foi inovador porque permitiu aos jogadores explorarem ambientes tridimensionais em uma perspectiva de primeira pessoa em tempo real, o que foi um avanço significativo nos jogos da época.

O motor de jogos criou uma sensação de profundidade e imersão com sua perspectiva tridimensional. Um dos jogos mais icônicos a utilizar o motor *Freescape* foi *Driller*, podemos observar a interface do jogo na Figura 46, lançado em 1987. Em *Driller*, os jogadores navegam por um complexo subterrâneo, resolvendo quebra-cabeças e desvendando o enredo intrigante do jogo. O sucesso do *Driller* levou ao desenvolvimento de vários outros jogos utilizando o motor *Freescape*. O motor *Freescape* teve um impacto significativo na indústria de jogos e influenciou o desenvolvimento de futuros motores e jogos 3D. Sua abordagem pioneira aos gráficos 3D em tempo real e à jogabilidade em primeira pessoa preparou o terreno para a evolução do gênero (WIKIPEDIA, 2024).

Figura 46 – Driller.



Fonte: YOUTUBE, 2023. Disponível em: <https://youtu.be/V1vRXrzmsnc?si=HBH3f6C1WU-OW4wZ>

Atualmente, a indústria de jogos digitais tem experimentado um crescimento exponencial, motivado por avanços tecnológicos e pela contínua demanda por experiências de entretenimento interativas. Nesse contexto dinâmico, as *game engines* se destacam como ferramentas cruciais para a criação e desenvolvimento de jogos de alta qualidade. Uma *game engine*, é um conjunto integrado de recursos e ferramentas que simplifica o processo de criação de jogos digitais. Conforme destacado por Andrade (2015), esse conjunto desempenha um papel central na construção de mundos virtuais, atuando como um motor que dá vida às visões dos desenvolvedores. Ela abrange uma ampla gama de funcionalidades, desde a renderização de gráficos até a simulação de física, fornecendo um alicerce tecnológico para o desenvolvimento de inúmeros aplicativos seja no desenvolvimento de games para o entretenimento ou um "jogo sério" - tradução literal do inglês "*serious game*", um jogo/simulador com fins educacionais ou profissionais.

Na essência das *game engines* estão funcionalidades cruciais que viabilizam a criação de jogos e *softwares* envolventes e interativos. A renderização em 2D ou 3D são elementos fundamentais, permitindo a simulação de ambientes virtuais. Além disso, essas *engines* processam eventos em tempo real, garantindo uma experiência fluida. O motor de física emerge como uma característica distintiva, simulando interações realistas entre objetos e ambientes para conferir autenticidade às ações do

jogo e criar uma sensação de presença. Por sua vez, as animações proporcionam dinamismo aos personagens e cenários, enquanto o gerenciamento de memória otimiza o desempenho geral do jogo (ANDRADE, 2015).

Os motores de jogos têm se estabelecido como plataformas digitais amplamente adotadas para a criação de jogos em diversas mídias, de computadores a consoles e aplicativos 3D. Eles se apoiam em módulos e funcionalidades pré-existentes para agilizar o processo de desenvolvimento, sendo usados, não só no entretenimento, mas também em áreas como educação, treinamento e simulações (AGUILAR, 2017).

A principal finalidade de um motor de jogos é simplificar a criação de elementos digitais, oferecendo um ambiente de edição integrado, intuitivo e de fácil utilização. Isso permite a geração e manipulação dos recursos que constituem os mundos dos jogos virtuais. Além disso, uma *game engine* disponibiliza uma ampla gama de ferramentas para otimizar o jogo em várias plataformas, compatíveis com várias linguagens de programação. Um aspecto relevante é o sistema de animação, que possibilita a adaptação de animações para diferentes sequências, mantendo a cinemática inversa e a física das colisões intactas (AGUILAR, 2017).

No cenário contemporâneo da indústria de jogos digitais, duas *game engines* se destacam como as mais populares e amplamente adotadas pelos desenvolvedores: a *Unity* e a *Unreal Engine*. Com um histórico notável de criação e desenvolvimento de jogos de alta qualidade, essas duas *engines* se tornaram pilares da produção de entretenimento interativo. A *Unity* oferece uma abordagem acessível para desenvolvedores de todos os níveis de habilidade, proporcionando uma plataforma versátil e flexível para a criação de jogos em 2D e 3D.

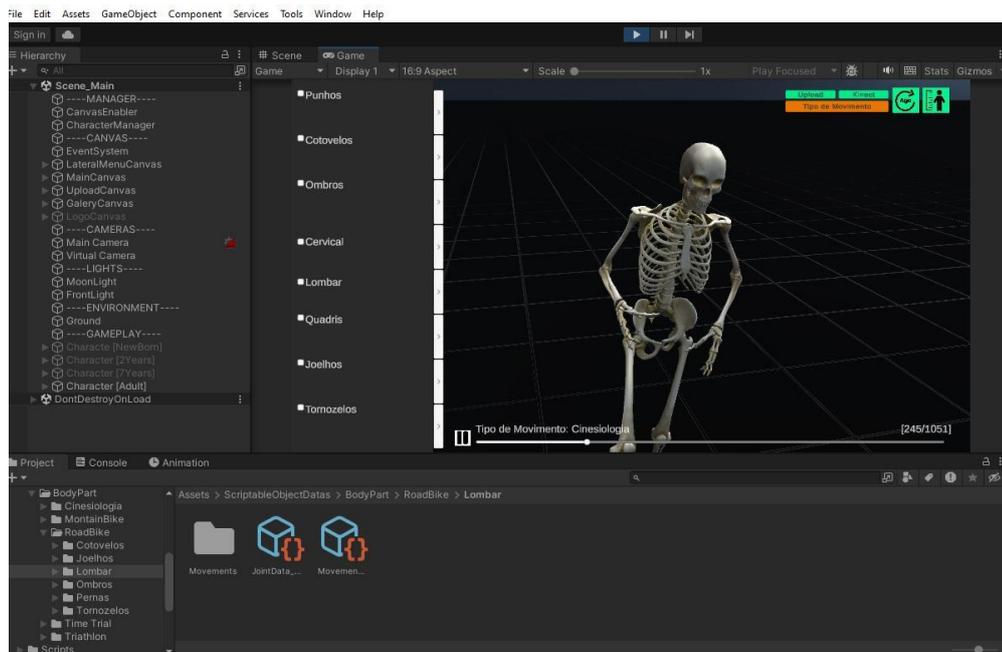
Por outro lado, a *Unreal Engine*, desenvolvida pela *Epic Games*, se destaca por sua capacidade de produzir visuais deslumbrantes e realistas, tornando-a uma escolha popular para jogos que buscam um alto grau de fidelidade visual. Ambas as *engines* possuem comunidades ativas, suporte robusto e uma infinidade de recursos que contribuem para sua popularidade e uso difundido entre os desenvolvedores de jogos.

A *Unity Technologies* é uma proeminente desenvolvedora de *software* de jogos eletrônicos, com sede em San Francisco, Califórnia. Sua história remonta a 2004, quando foi fundada na Dinamarca sob o nome de "*Over the Edge Entertainment*" (OTEE). No entanto, foi em 2007 que a empresa passou por uma mudança crucial,

ressignificando a imagem da empresa como *Unity Technologies*. Desde então, a *Unity* se tornou uma força líder na indústria de desenvolvimento de jogos, oferecendo uma plataforma versátil e poderosa para a criação de experiências interativas de alta qualidade.

Com sua abordagem inovadora e a capacidade de exportar para uma ampla variedade de plataformas, incluindo dispositivos móveis, consoles e navegadores, a *Unity* continua a moldar o cenário dos jogos eletrônicos e a capacitar desenvolvedores em todo o mundo. A *Unity Technologies* revolucionou a forma como os jogos eletrônicos são desenvolvidos e distribuídos. A empresa se destaca por sua poderosa *game engine*, que permite aos desenvolvedores criarem uma ampla gama de jogos, desde simples aplicativos móveis até experiências de realidade virtual, realidade aumentada e jogos de grande escala. A plataforma *Unity* oferece uma combinação de recursos avançados, como renderização em 2D e 3D, física realista, animações sofisticadas e suporte para diferentes dispositivos e plataformas, podemos ver a interface do motor de jogos *Unity* na Figura 47 (UNITY, 2023).

Figura 47 – Unity Interface.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

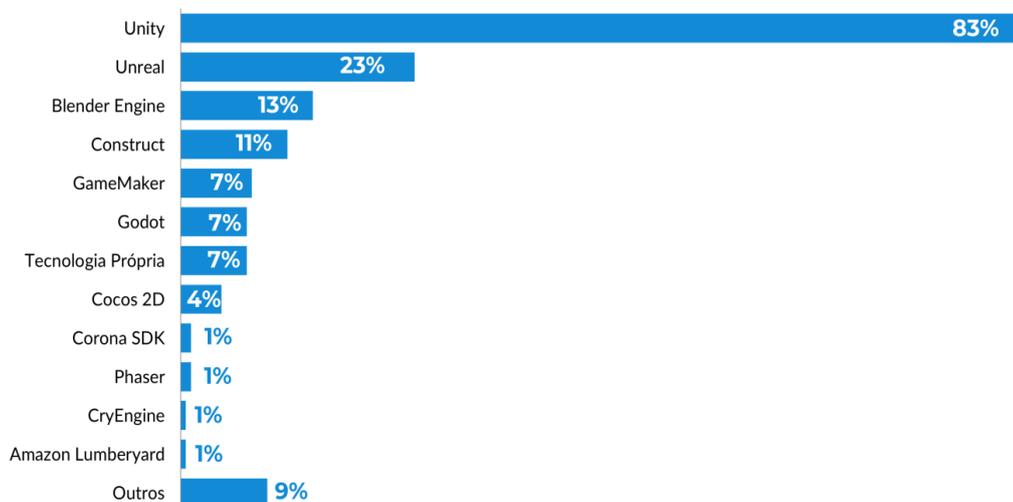
Uma das maiores vantagens da *Unity* é a sua capacidade de exportar jogos para múltiplas plataformas com relativa facilidade. Isso significa que os

desenvolvedores podem criar um jogo uma vez e implantá-lo em várias plataformas, como *Windows, macOS, iOS, Android*, consoles de videogame e até navegadores da *web* (UNITY, 2023). Essa flexibilidade é essencial em um mercado de jogos diversificado, permitindo que os desenvolvedores alcancem uma audiência ampla e variada.

Além de seu poderoso mecanismo de jogo, a *Unity* oferece uma variedade de ferramentas e recursos adicionais para melhorar o processo de desenvolvimento. Isso inclui um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) com recursos de edição visual, depuração em tempo real e suporte a linguagens de programação como *C#* e *UnityScript*. A *Asset Store* da *Unity* é um mercado *online* onde os desenvolvedores podem adquirir ativos pré-fabricados, como modelos 3D, texturas, efeitos sonoros e *scripts*, acelerando ainda mais o processo de criação de jogos.

A comunidade de desenvolvedores da *Unity* é extensa e ativa, oferecendo suporte mútuo, compartilhamento de conhecimento e solução de problemas. Além disso, a empresa oferece ampla documentação, tutoriais e cursos *online* para ajudar os desenvolvedores a dominarem a plataforma (UNITY, 2023). Adicionalmente, uma pesquisa sobre a capacidade de produção da indústria brasileira de *games*, realizada em 2022, mostrou que a grande maioria das empresas que trabalham com games no Brasil utilizam a plataforma *Unity* para desenvolver seus jogos (Figura 48).

Figura 48 - Pesquisa de preferência nacional de *game engines*.

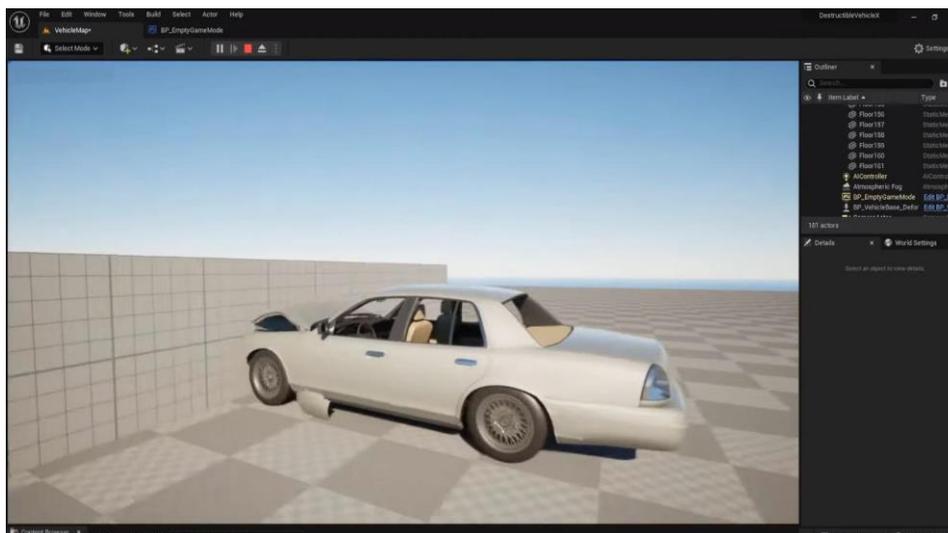


Fonte: *HOMO LUDENS RESEARCH AND CONSULTING*, 2022. Indústria Brasileira de Games. Disponível em: <https://www.abragames.org/uploads/5/6/8/0/56805537/abragames-pt.pdf>.

Já a *Unreal Engine* é um motor de jogo desenvolvido pela *Epic Games*, uma renomada empresa de desenvolvimento de jogos e *software* de entretenimento. Fundada em 1991 por Tim Sweeney, a *Epic Games* começou sua jornada como uma pequena empresa de desenvolvimento de jogos, criando títulos como "ZZT" e "*Jill of the Jungle*". No entanto, foi com o lançamento do jogo "*Unreal*" em 1998 que a empresa começou a ganhar destaque na indústria de jogos. O sucesso do jogo "*Unreal*" serviu como base para a criação da *Unreal Engine*, uma tecnologia que foi inicialmente desenvolvida para impulsionar os jogos da *Epic Games*.

A primeira versão da *Unreal Engine* foi lançada em 1998 e rapidamente se destacou por seus gráficos impressionantes e recursos avançados de renderização 3D. Ao longo dos anos, a *Epic Games* continuou a aprimorar e expandir a *Unreal Engine*, introduzindo novos recursos e melhorias significativas em cada versão (UNREAL, 2023). Podemos visualizar na Figura 49 a interface do *software* proveniente de um tutorial do *site* da *Unreal*, que ensina como desenvolver a física para causar danos em colisões de carro.

Figura 49 – Unreal Interface.



Fonte: UNREAL ENGINE, 2023. Disponível em: <https://dev.epicgames.com/community/learning/tutorials/OvrG/destructible-vehicle-tutorial-unreal-engine-5>.

A *Epic Games* também adotou uma abordagem inovadora em relação aos modelos de negócios, oferecendo uma versão gratuita da *Unreal Engine* para uso pessoal e cobrando *royalties* apenas quando um jogo desenvolvido na *engine* alcança

um determinado nível de sucesso comercial. Além de seu sucesso na indústria de jogos, a *Epic Games* também é conhecida por suas incursões em outras áreas de entretenimento, como a criação da *Epic Games Store*, uma plataforma de distribuição digital de jogos, e por seu envolvimento no desenvolvimento de tecnologia de ponta, incluindo realidade virtual e realidade aumentada (UNREAL, 2023).

2.10. ERGONOMIA EM BICICLETAS DE COMPETIÇÃO

O ciclismo proporciona uma ampla gama de benefícios à saúde, que vão, desde o aprimoramento da saúde cardiovascular e fortalecimento muscular, até o estímulo da coordenação motora, equilíbrio e agilidade. Esta atividade é verdadeiramente inclusiva, adaptando-se a pessoas de todas as faixas etárias e níveis de aptidão física (BATTY; LEE, 2004).

No livro "*Bike Fit: Otimize a posição da sua bicicleta para alto desempenho e prevenção de lesões*," de Phil Burt (2022), a história do *Bike Fit* é apresentada de forma concisa. A origem dessa prática remonta às figuras icônicas como Fausto Coppi (Figura 50), uma estrela do ciclismo italiano nas décadas de 1940 e 1950. Coppi, notoriamente, ajustava o selim a uma posição mais baixa do que o guidão, um paradigma inovador na época.

Figura 50 – Fausto Coppi.



Fonte: BURT, 2022, p. 16

A década de 1950 testemunhou a ascensão de Jacques Anquetil (Figura 51), que adotou uma postura menos angulada nos joelhos em comparação aos ciclistas contemporâneos, porém essa posição singularmente aerodinâmica não passou despercebida, inspirando emulação de diversos ciclistas de sua época (BURT, 2022).

Figura 51 – Jacques Anquetil



Fonte: BURT, 2022, p. 17.

Apesar dos ciclistas se esforçarem para refinar suas posturas, foi apenas em 1972 que o primeiro manual de ajuste de bicicletas foi lançado pelo Comitê Olímpico Italiano. Este manual, que se baseou na análise de ciclistas profissionais do sexo masculino com mais de 20 anos e que haviam alcançado sucesso competitivo, delineou as características comuns destes atletas. Comumente conhecido como a “Bíblia do Ciclismo Italiano”, esse registro tornou-se um guia para ciclistas e entusiastas. No entanto, a fórmula que mais tarde se tornaria vinculada a Greg LeMond (Figura 52), o primeiro norte-americano a vencer o *Tour de France*, foi na verdade, desenvolvida pelo lendário diretor esportivo da equipe Renault-Gitane, Cyrille Guimard (BURT, 2022).

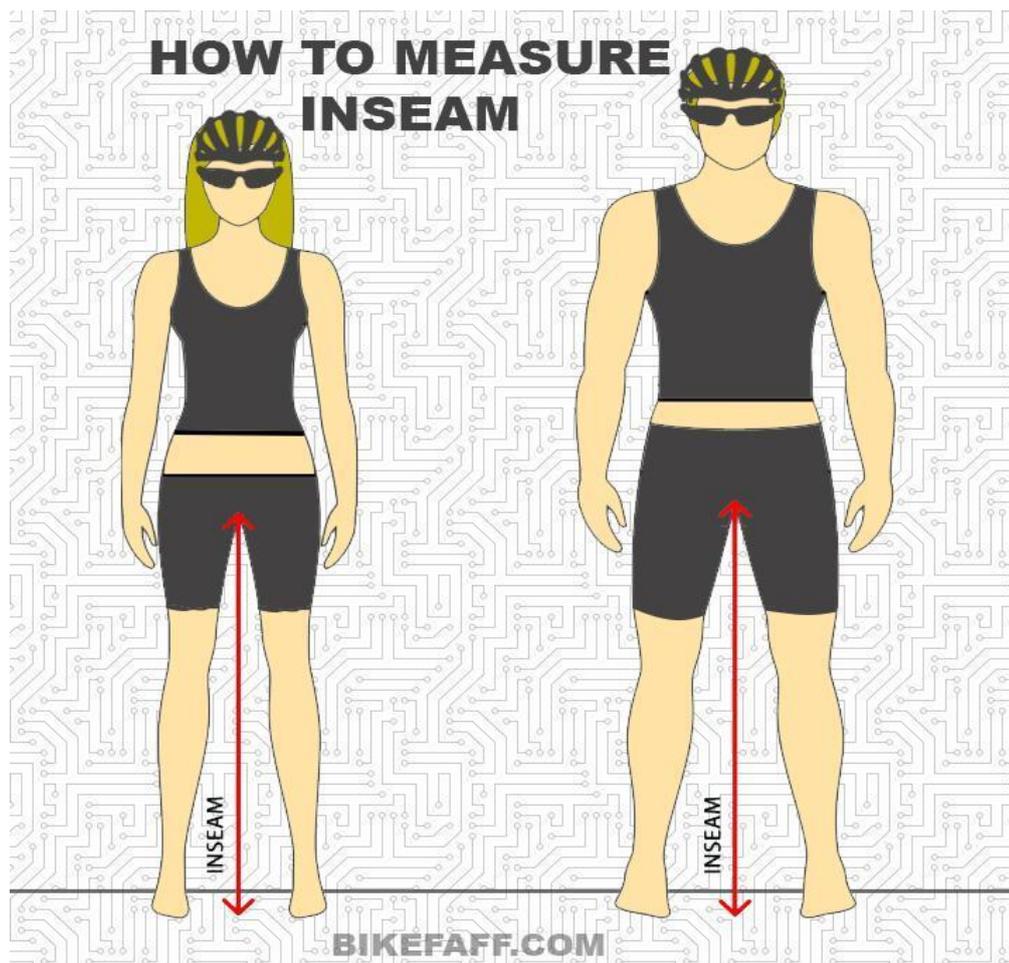
Figura 52 – Greg LeMond - *Tour de France* em 1989.



Fonte: WIKIMEDIA COMMONS, 2023. Disponível em:
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/10/Greg_LeMond_1989_Tour_de_France_stage_21_TT_%28tight_square_crop%29.jpg.

A fórmula Greg LeMond materializa uma abordagem pragmática para estabelecer a altura ideal do selim da bicicleta. Constituindo uma estimativa simplificada, essa fórmula representa um recurso inicial para determinar a altura inicial do selim em relação ao "comprimento dos entrepernas do ciclista" (tradução de "*the rider's inseam length*" tradução livre). Esse comprimento, apresentado na Figura 53, é a distância desde a parte inferior da virilha até a extremidade inferior do tornozelo.

Figura 53 – Comprimento dos entrepernas do ciclista.



Fonte: BIKEFAFF, 2023, Disponível em: <https://bikefaff.com/crank-length-calculator/>.

O método de Greg LeMond oferece uma abordagem precisa para determinar a altura ideal do selim em relação ao ciclista. De acordo com esse método, a altura do selim é calculada multiplicando o comprimento dos entrepernas do ciclista por 0,883, o que equivale a cerca de 96% da extensão total da perna. Para ilustrar, considerando um comprimento entrepernas de 91 cm, o cálculo seria: $91 \times 0,883 = 80,353$ cm. Portanto, um modo prático de aplicar essa medida é ajustar o selim de forma que a

altura máxima do selim esteja alinhada com essa medida, medida a partir do centro do pedivela. Podemos conferir a aplicação do método na Figura 54. Esse ajuste personalizado proporciona uma abordagem tangível para otimizar o posicionamento do ciclista na bicicleta.

Figura 54 – Modo de aplicar Método Greg LeMond.



Fonte: ROAD.CC., 2023. Disponível em: <https://road.cc/content/feature/how-set-your-saddle-height-166709>.

É importante destacar que essa fórmula é uma diretriz geral e pode não ser precisa para todos os ciclistas, devido às diferenças individuais na anatomia, flexibilidade e preferências pessoais.

Atualmente, o processo de medições ergonômicas em bicicletas de competição mudou bastante. É notável a versatilidade das bicicletas, oferecendo uma variedade de formas de prática. Entre essas opções, encontramos modalidades como o *mountain bike* (adequado para terrenos montanhosos), corridas contrarrelógio, ciclismo de estrada (*road bike*, conhecida como bicicleta *speed*, ou bicicleta de estrada no Brasil), bicicletas projetadas para triatlo (envolvendo natação, ciclismo e corrida), BMX (ideal para pistas de terra e manobras) e outras, inclusive para o simples prazer de pedalar em passeios tranquilos com bicicletas de lazer. Cada modalidade requer bicicletas e equipamentos específicos, tornando a escolha adequada essencial de acordo com os objetivos de cada praticante.

Para assegurar uma postura adequada durante a pedalada, é altamente recomendável a realização de um estudo ergonômico que envolva o ciclista e sua bicicleta, amplamente conhecido como *Bike Fit*. Este conjunto de técnicas examina a biomecânica, tanto do ciclista quanto da bicicleta, permitindo ajustes personalizados com base em fatores como altura, peso, flexibilidade e outros elementos essenciais, com o objetivo de proporcionar, não apenas um maior conforto, mas também uma eficiência otimizada na pedalada.

Portanto, ao adentrar no universo do ciclismo, seja como iniciante ou buscando aprimoramento, torna-se essencial contemplar a modalidade desejada, selecionar criteriosamente a bicicleta e os equipamentos adequados, e conduzir um minucioso *Bike Fit*, visando a prevenção de lesões e a manutenção da postura correta. Profissionais altamente especializados, incluindo fisioterapeutas, educadores físicos e mecânicos de bicicletas têm a expertise necessária para conduzir o *Bike Fit* (BURT, 2022).

A importância do *Bike Fit* para a prática do ciclismo é amplamente reconhecida na comunidade científica. Diversos estudos têm investigado seus efeitos, tanto na prevenção de lesões, quanto no aprimoramento do desempenho dos ciclistas. Por exemplo, uma pesquisa realizada por Faria *et al.* (2017), e publicada no "*Journal of Science and Cycling*" constatou que o *Bike Fit* tem a capacidade de reduzir, significativamente, a incidência de lesões em ciclistas, destacando-se, especialmente, na região lombar e dos joelhos. Além disso, outro estudo conduzido pelo "*Journal of Strength and Conditioning Research*" revelou que a realização do *Bike Fit* pode acarretar melhorias notáveis no desempenho dos ciclistas em competições de longa duração, como o triatlo (BERRY *et al.*, 2018).

As lesões mais frequentemente observadas entre os praticantes de ciclismo, de acordo com uma revisão sistemática conduzida por Oser S. e Oser T., em 2013, abrangem uma variedade de condições relacionadas à prática desse esporte.

Essas incluem a tendinopatia de Aquiles⁷, a síndrome do compartimento externo crônico⁸, síndrome da banda iliotibial⁹, a fascite plantar¹⁰, a síndrome da dor patelofemoral¹¹, a neuropatia pudenda¹² e a neuropatia de compressão ulnar¹³.

Para evitar a ocorrência dessas lesões, é altamente recomendado que um profissional realize uma análise conhecida como *Bike Fit*. Essa avaliação pode empregar ferramentas simples, como o goniômetro e a fita métrica. O goniômetro mensura os ângulos das articulações, enquanto a fita métrica quantifica distâncias entre as articulações do corpo. Dado que essas ferramentas são manuais, é crucial

⁷ Tendinopatia de Aquiles: é caracterizada por uma lesão aguda que provoca uma sensação repentina de impacto na parte de trás do calcanhar. Essa condição pode ser atribuída a um ajuste inadequado da bicicleta, seguido pelo uso excessivo em uma posição não regular na bicicleta. Para minimizar essa ocorrência, é recomendado ajustar a altura da sela adequadamente e utilizar sapatos que alinhem corretamente o pé no pedal, de acordo com sua rotação e posição (OTER. S; OTER T., 2013).

⁸ Síndrome do compartimento externo crônico: manifesta-se por uma dor maçante ou sensação de queimação na região do compartimento da perna afetada (anterior, posterior profundo, posterior superficial ou lateral). Essa condição resulta da diminuição do fluxo sanguíneo devido à pressão aumentada durante a pedalada. Para tratar essa situação, é aconselhável realizar alongamentos antes do exercício e buscar orientação ortopédica (OTER. S; OTER T., 2013).

⁹ Síndrome da banda iliotibial: muitas vezes dificulta a localização precisa da dor, embora os pacientes frequentemente indiquem que a dor abrange toda a lateral da coxa e do joelho. Isso se origina de microtraumas na banda iliotibial, um tecido fibroso localizado na região lateral externa da perna. Para mitigar esse desconforto, é indicado ajustar a altura da sela de forma apropriada e posicionar corretamente o pé no pedal (OTER. S; OTER T., 2013).

¹⁰ Fascite plantar: provoca dor na região posterior do calcanhar e normalmente se desenvolve gradualmente. A inadequação do ajuste da sela da bicicleta é uma das causas dessa condição. Recomenda-se ajustar a altura da sela e, adicionalmente, reduzir o ritmo da atividade e incorporar exercícios para fortalecimento do calcanhar (OTER. S; OTER T., 2013).

¹¹ Síndrome de dor patelofemoral: se manifesta como uma dor intensa na parte frontal do joelho durante a pedalada, acompanhada de desconforto ao subir ou descer escadas e dor prolongada quando o joelho está flexionado. Essa condição pode ser atribuída à várias causas, mas a hipótese predominante sugere aumento do estresse nas articulações patelofemorais (parte posterior do joelho) e desgaste posterior da cartilagem articular. Para prevenir essa situação, é aconselhável ajustar a altura da sela e a posição do pé no pedal, o que afeta a posição do ciclista durante o exercício (OTER. S; OTER T., 2013).

¹² Neuropatia pudenda: se caracteriza por dormência e formigamento na região perineal. Essa condição surge devido à compressão do nervo pudendo pela sela. Os ajustes recomendados para a bicicleta incluem redução da altura e inclinação da sela, além do uso de uma sela mais larga para homens ou com uma abertura na área média para mulheres, a fim de proporcionar maior conforto (OTER. S; OTER T., 2013).

¹³ Neuropatia de compressão ulnar: se manifesta por dor nos dedos quarto e quinto, acompanhada de fraqueza na mão. O excesso de pressão exercida no guidão e a vibração excessiva contribuem para essa condição. Para minimizar esse desconforto, recomenda-se alternar, frequentemente, a posição da mão no guidão, aumentar o preenchimento do guidão e utilizar luvas acolchoadas (OTER. S; OTER T., 2013).

possuir experiência na manipulação e um conhecimento técnico dos modelos de avaliação, a fim de evitar erros decorrentes de imprecisões humanas. Apesar do baixo custo dessas ferramentas, suas principais desvantagens compreendem o tempo necessário para efetuar cada medição (SWART *et al.*, 2019).

No entanto, existem também *softwares* que realizam essas medições por meio de técnicas de captura de movimento. Um dos mais reconhecidos é o *Retül*, um *software* de ajuste de bicicletas que utiliza informações biomecânicas para auxiliar ciclistas na obtenção de uma posição mais eficiente e confortável na bicicleta. Esse *software* é capaz de capturar a cinemática tanto da bicicleta quanto do ciclista, em tempo real. Além disso, ele é capaz de conduzir análises minuciosas de partes específicas do corpo, como: cotovelos, ombros, joelhos, coluna vertebral lombar, tornozelos e quadril, visando estabelecer a configuração ideal da bicicleta para o ciclista.

De acordo com o estudo realizado por Schmitz *et al.* (2016), o *Retül* é uma ferramenta de grande utilidade para a análise do ajuste da bicicleta. Os autores afirmam que: "o *Retül* pode contribuir para a melhoria da eficiência da pedalada, a redução do risco de lesões e o aumento do conforto do ciclista, fatores que podem culminar em um aprimoramento no desempenho geral" (SCHMITZ *et al.*, 2016, p. 322).

O estudo de Schmitz *et al.* (2016) ainda destaca que o *Retül* emprega um sistema de captura de movimento que utiliza seis câmeras dispostas ao redor do ciclista, para capturar imagens tridimensionais. Essas câmeras são coordenadas para capturar as imagens, simultaneamente, possibilitando uma análise precisa da cinemática do ciclista e da bicicleta. Além desses recursos, o *Retül* também incorpora sensores de pressão, que medem a distribuição do peso do ciclista sobre a bicicleta. Esses sensores são colocados nas sapatilhas do ciclista e no selim da bicicleta, permitindo uma análise detalhada da biomecânica do ciclista. Esse sistema de sensores proporciona uma medição da pressão nos pontos de contato entre o ciclista e a bicicleta (Figura 55).

Figura 55 – Centro de avaliações de *Bike Fit* com tecnologia *Retül*.



Fonte: RETÜL, 2023. Disponível em: <https://www.retul.com/>.

Com base nas explicações de Burt (2022), as etapas inerentes ao processo de ajuste de bicicletas, através do sistema *Retül*, delineiam um procedimento meticuloso e orientado pela precisão. A etapa inicial, intitulada "Coleta de Dados Iniciais", dá início a essa abordagem, onde o ciclista é colocado em sua bicicleta, a qual se encontra equipada com sensores de movimento e posicionamento, estabelecendo, desse modo, uma conexão sensível com o sistema.

A progressão desse processo se desdobra na fase de "Análise em Tempo Real". Conforme o ciclista se engaja na atividade de pedalagem, o *Retül* demonstra sua funcionalidade em adquirir, em tempo real, informações minuciosas relacionadas à postura do ciclista, movimentação das articulações, ângulos associados aos membros, flexão do quadril, bem como a posição dos pés. Os dados meticulosamente coletados nesse estágio são submetidos a uma transferência eficaz para uma unidade computacional, a fim de serem submetidos a uma análise minuciosa.

A fase subsequente, intitulada "Avaliação e Ajuste", representa o cerne da otimização. Profissionais devidamente treinados no sistema *Retül* empreendem a análise das informações obtidas, aspirando a identificação de ajustes prospectivos que possam, significativamente, realçar a eficiência, conforto e coerência biomecânica do ciclista. Esta etapa envolve uma série de considerações, incluindo, mas não se limitando, ajustes na altura do selim, orientação do guidão, assim como posicionamento dos pedais.

Os "Ajustes Personalizados" a serem implementados emergem como um desdobramento natural da análise e avaliação meticulosa. Os especialistas em *Bike Fit* utilizam as percepções extraídas da análise para efetuar alterações altamente específicas na configuração dos componentes da bicicleta. Este procedimento objetiva, primordialmente, a harmonização entre o corpo do ciclista e a bicicleta, visando a mitigação de desconfortos, redução de propensões a lesões e otimização da transferência de energia cinética.

Uma vez realizado o procedimento de ajuste, é realizada a etapa de "Validação e Aperfeiçoamento". Nesta fase, o ciclista é novamente conduzido a pedalar, permitindo a verificação da eficácia das alterações implementadas. Qualquer manifestação de desconforto, desequilíbrio ou demais imperfeições é prontamente identificada e alvo de ajustes iterativos, até que uma configuração ideal seja atingida.

Em seu livro sobre *Bike Fit*, Burt (2022), demonstra as amplitudes de movimento identificadas como ideais pelo sistema *Retül* para quatro categorias de bicicletas competitivas (*Road Bike, Mountain Bike, Time-Trial e Triathlon*). Esses ângulos constituem a base primária para informações sobre movimentação em bicicletas de competição no *software* ErgoMotion e estabelecem um guia fundamental para a ergonomia e posicionamento adequado para o ciclista, em sua bicicleta. No Quadro 1, podemos ver essas informações traduzidas.

Quadro 1 - Ângulos articulares recomendados pela *Retül*

Título da medição	Informações adicionais	Road Bike	Mountain Bike	Time-Trial	Triathlon
Ângulo da Flexão do joelho	-	108°-112°	110°-115°	110°-115°	110-115°
Ângulo da Extensão do joelho	-	35°-40°	35°-40°	37°-42°	37°-42°
Ângulo das costas	“Com as mãos nos freios”	45°	50°	20°	25°
Ângulo da axila até o cotovelo	-	-	-	75°-80°	70°-75°
Ângulo da axila até o punho	-	90°	75°-80°	-	-
Ângulo do Cotovelo	-	150°-170°	150°-170°	90°-100°	90°-100°
Ângulo do antebraço	-	-	-	Variável	Variável
Amplitude de movimento do tornozelo	-	15°-30°	15°-30°	15°-30°	15°-30°
Ângulo máximo do tornozelo (Flexão Plantar)	Próximo às “12 horas” no pedal (posição do pé no ponto mais alto)	95°-105°	95°-105°	95°-105°	95°-105°
Ângulo mínimo do tornozelo (Dorsiflexão)	Próximo às “6 horas” no pedal (posição do pé no ponto mais baixo)	70°-80°	70°-80°	70°-80°	70°-80°
Ângulo fechado do quadril	"Observar diferenças bilaterais"	55°-65°	60°-80°	35°-45°	45°-55°
Ângulo aberto do quadril	“Observar o comprimento da pedivela”	-	-	-	-
Joelho à frente do pé	-	(-10°)-0°	(-20°)-(-10°)	(+50)-(+100)	(+50)-(+100)
Deslocamento vertical do quadril	-	40°-60°	40°-60°	40°-60°	40°-60°

Fonte: Adaptado de BURT, 2022, p. 67.

3. METODOLOGIA

Esta pesquisa tem como objetivo contribuir para o desenvolvimento de um artefato eletrônico que facilite a criação de produtos e ambientes ergonomicamente adequados. De natureza qualitativa, ele se baseia na interpretação de diversos estudos, atribuindo-lhes significado e enriquecendo o conhecimento.

Para concretizar este propósito, foi crucial adotar uma metodologia precisa, direcionada a projetos de desenvolvimento de artefatos e à solução de problemas existentes. Nesse contexto, a abordagem escolhida foi a *Design Science Research*, que se dedica a conceber formas de criação (construção e avaliação) a partir de um entendimento profundo do problema. Seu objetivo é alterar as condições problemáticas em direção a estados mais favoráveis ou desejados. Vale ressaltar que o foco não é alcançar uma solução ideal, mas sim uma solução adequada para as circunstâncias específicas. (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015)

O conceito de artefato se refere a algo criado artificialmente pelo ser humano. Conforme delineado por Dresch, Lacerda e Antunes Junior (2015), o desenvolvimento de artefatos segue um conjunto de etapas essenciais:

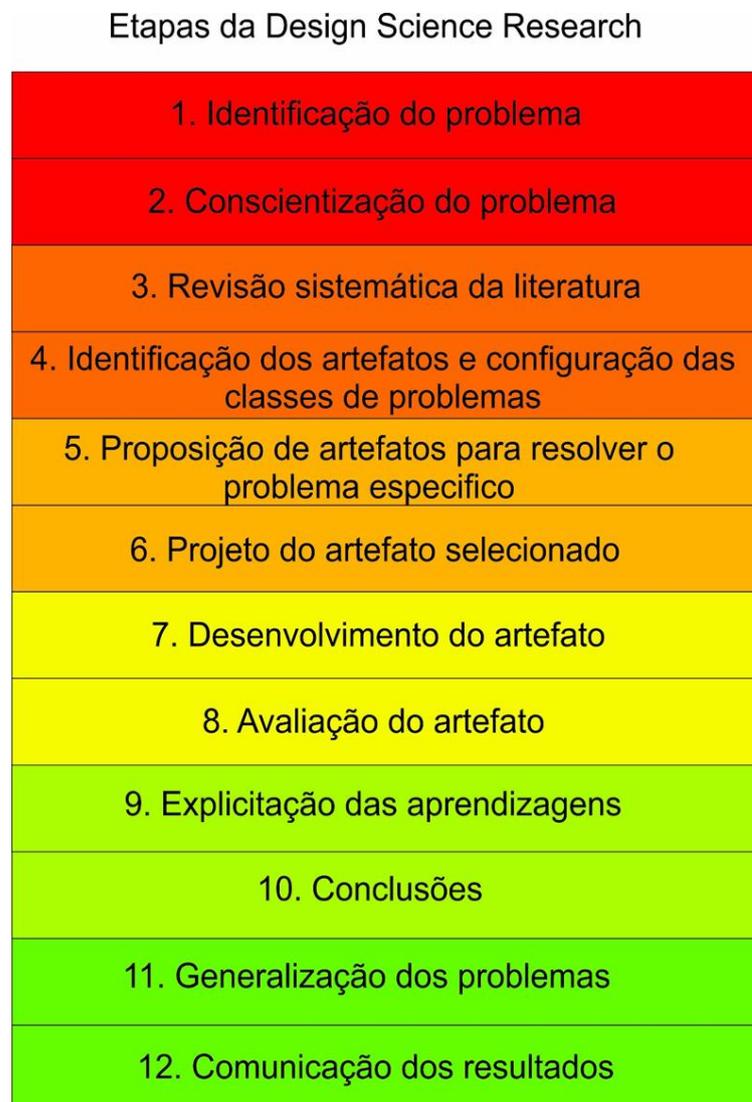
- Constructos: São conceitos utilizados para descrever um problema e definir suas possíveis soluções.
- Modelos: Representam conjuntos de proposições que expressam as relações entre os constructos.
- Métodos: Consistem nos passos necessários para executar uma tarefa de desenvolvimento.
- Instanciações: Indicam como os artefatos devem ser empregados e os resultados potenciais que podem ser alcançados.
- *Design propositions*: Constituem modelos genéricos que orientam o desenvolvimento de soluções para problemas.

A metodologia *Design Science Research* é composta por 12 passos fundamentais, ilustrados na Figura 56, que servem como um guia abrangente para a concepção, construção e avaliação do artefato resultante.

Por meio desse estudo, a busca por uma abordagem prática e efetiva na criação de soluções ergonômicas é direcionada, abrindo caminho para um

entendimento mais profundo do processo de desenvolvimento e promovendo inovação por meio da combinação de teoria e prática.

Figura 56 – Etapas da *Design Science Research*.



Fonte: Adaptado de DRESCH, LACERDA E ANTUNES JR., 2015.

3.1 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

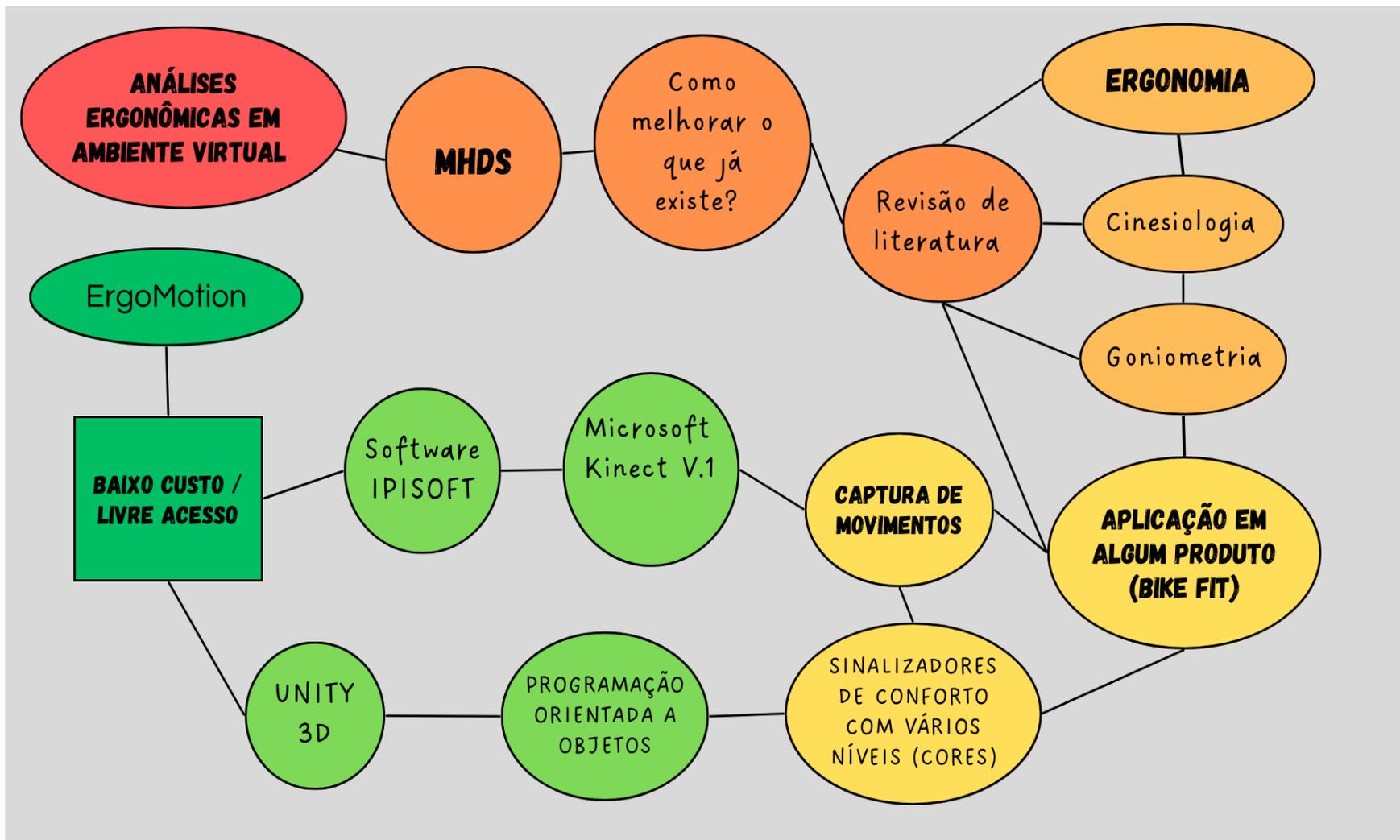
Nesta etapa crítica, como enfatizado por Dresch, Lacerda e Antunes Junior (2015), o pesquisador delinea o problema central de sua pesquisa e, concomitantemente, estabelece sua relevância. O objetivo desse processo é aprofundar o entendimento do núcleo do problema a ser examinado. No contexto deste estudo, apresentado no capítulo 1, surge a indagação central: "Como desenvolver um *software* com restrições orçamentárias, que se dedica à análise de movimentos humanos por meio da captura óptica, sem o uso de marcadores?"

Essa questão não só propulsiona a busca por soluções adequadas, mas também evidencia a necessidade de progressos nesta área, superando os atuais obstáculos de acessibilidade. Integrar a goniometria, cinesiologia e o *bike fit* à interpretação dos movimentos humanos é um objetivo que almeja potencializar o bem-estar, a segurança e o desempenho nas interações com bicicletas, demais produtos, ambientes e tecnologias concebidas pelo ser humano.

3.2 CONSCIENTIZAÇÃO DO PROBLEMA

Neste estágio, o pesquisador assume o desafio de compreender e identificar os requisitos essenciais para a resolução do problema de pesquisa, buscando acumular uma ampla gama de informações pertinentes (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015). No contexto desta pesquisa, a conscientização sobre o problema em questão foi acendida a partir de uma revisão preliminar da literatura. Como resultado direto dessa fase inicial, ocorreu a precisa formalização do problema e o subsequente levantamento dos procedimentos ligados às análises ergonômicas virtuais, com o uso de modelos humanos digitais. A fim de aprofundar ainda mais a compreensão desse problema, foi criado um mapa mental (Figura 57), que se revelou valiosa para visualizar e estruturar os diversos aspectos inerentes a essa questão.

Figura 57 – Mapa mental.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

3.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com Conforto e Da Silva (2011), a revisão bibliográfica constitui uma etapa de extrema relevância, pois tem a capacidade de traçar o rumo da pesquisa que se pretende empreender. Ela se enraíza em uma perspectiva científica, abrangendo a compreensão do estado da arte e a identificação de lacunas teóricas que carecem de investigação. Os autores destacam que a Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) pode ser dividida em três fases distintas: entrada, processamento e saída. A revisão sistemática da literatura será detalhada no capítulo 4, fornecendo uma abordagem mais profunda e abrangente sobre essa importante etapa do processo de pesquisa.

3.4. IDENTIFICAÇÃO DOS ARTEFATOS E CONFIGURAÇÃO DAS CLASSES DE PROBLEMAS

De acordo com Dresch, Lacerda e Antunes Junior (2015), a revisão bibliográfica sistemática desempenha um papel fundamental ao auxiliar o pesquisador a identificar os artefatos relevantes em relação aos problemas a serem solucionados. Embora existam casos em que um artefato "ideal" possa estar presente, em outras situações é possível criar um artefato que ofereça soluções mais aprimoradas para alguma demanda carente identificada. Nesta fase, é de extrema importância reconhecer as soluções satisfatórias que foram encontradas na literatura. Isso permite uma abordagem mais estruturada para a configuração das classes de problemas, ao passo que o pesquisador se posiciona para investigar e desenvolver alternativas que ofereçam melhorias significativas.

Em consonância com essa perspectiva, a presente pesquisa se propõe a explorar um cenário dinâmico, onde a tecnologia e a inovação convergem para a criação de soluções avançadas. A identificação de artefatos e a subsequente configuração das classes de problemas se revelam como um compasso direcionador para a proposta de um artefato eletrônico. Baseando-se na análise crítica de *softwares* e *hardwares* apresentados na fundamentação teórica, busca-se, não apenas aprimorar os artefatos existentes, mas também conceber soluções inovadoras para demandas prementes e até então desatendidas. Esta etapa surge como o alicerce sobre o qual o desenvolvimento do artefato eletrônico será estruturado, visando oferecer uma abordagem eficaz e abrangente para análises ergonômicas que

alavancam o bem-estar, a segurança e o desempenho em diversas áreas de aplicação.

No contexto da avaliação de postura e movimentos humanos, diversos métodos foram desenvolvidos para analisar a interação entre seres humanos e seu ambiente de trabalho. O Quadro 2 apresenta uma seleção de alguns artefatos para as avaliações ergonômicas identificados ao longo do tempo, destacando o ano de sua introdução, os autores responsáveis e o nome do método associado.

Quadro 2: Identificação de artefatos para avaliações de postura e movimentos humanos.

ANO	AUTOR	MÉTODO
1993	McAtamney e Corlett	RULA
2000	Hignett e McAtamney	REBA
1981	Governo EUA	NIOSH
1977	Karhu, Kansu e Kuorinka	OWAS
Desconhecido	Desconhecido	Goniometria

Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

- **RULA:** sigla para *Rapid Upperlimb Assessment*, é uma análise rápida dos membros superiores que consiste em um método simples de levantamento de informações. Ela é empregada com o propósito de investigar ergonomicamente os postos de trabalho que apresentam potencial causador de desordens

musculoesqueléticas. Essa abordagem fornece *insights* valiosos ao avaliar os movimentos e posturas das partes superiores do corpo, permitindo a identificação precoce de riscos ergonômicos e contribuindo para a criação de ambientes de trabalho mais saudáveis e eficazes (MCATAMNEY; CORLETT, 1993).

- **REBA:** ou *Rapid Entire Body Assessment*, é uma ferramenta de análise postural que se destaca por sua sensibilidade em detectar tarefas que exigem movimentos inesperados de postura, muitas vezes associados à manipulação de cargas. Essa abordagem se concentra em avaliar o corpo como um todo, levando em consideração, não apenas os membros superiores, mas também as demais partes do corpo. Ao identificar posturas inadequadas ou desconfortáveis, o REBA oferece diretrizes para a readequação das atividades, visando a prevenção de lesões e a otimização da ergonomia (HIGNETT; MCATAMNEY, 2000).
- **NIOSH:** ou *National Institute for Occupational Safety and Health*, tem como objetivo principal a determinação do limite de peso recomendado para levantamento manual de cargas. Essa ferramenta visa estabelecer parâmetros seguros para o manejo de objetos, evitando sobrecargas e possíveis lesões decorrentes de esforços excessivos. Ao considerar fatores como peso, frequência e características do levantamento, o NIOSH contribui para a definição de diretrizes ergonômicas que promovem a segurança e a saúde dos trabalhadores (NIOSH, 1994).
- **OWAS:** (*Ovako Working Posture Analysis System*) é um método que visa a identificação das posturas de trabalho primárias mais comuns, avaliando as costas, braços e pernas em relação à manipulação de cargas. Esse método atribui valores às posturas observadas e as compara com uma classificação que apresenta recomendações ergonômicas. Originado na Finlândia, o OWAS proporciona uma abordagem sistemática para a análise das posturas adotadas durante as atividades laborais, direcionando ações que visam à prevenção de desconfortos e riscos (+ *et al.*, 1977).

- **Goniometria:** é um processo de medição da amplitude de movimento que cada articulação do corpo é capaz de realizar. Essa abordagem utiliza um instrumento chamado goniômetro para mensurar os ângulos de movimentação das articulações. Ao possibilitar uma avaliação objetiva das capacidades articulares, a goniometria desempenha um papel crucial na identificação de restrições ou limitações de movimento. Isso permite a criação de estratégias de reabilitação e intervenções ergonômicas direcionadas para otimizar a funcionalidade e prevenir problemas musculoesqueléticos.

Cada uma dessas abordagens ergonômicas oferece uma perspectiva única para a análise de posturas e movimentos humanos, enriquecendo a compreensão das interações entre o corpo e o ambiente de trabalho. Ao adotar essas ferramentas, é possível identificar precocemente riscos ergonômicos, implementar ações corretivas e prover um ambiente laboral mais seguro, saudável e produtivo.

Os métodos de avaliação de postura e movimentos humanos desempenham um papel crucial na identificação de riscos ocupacionais. O RULA concentra-se nos membros superiores, enquanto o REBA amplia a avaliação para todo o corpo. As diretrizes do NIOSH consideram fatores biomecânicos e antropométricos. O método OWAS classifica posturas e movimentos, e a goniometria mede ângulos articulares. Juntos, esses métodos fornecem abordagens abrangentes para melhorar a ergonomia e a segurança no ambiente de trabalho.

Esses artefatos representam uma variedade de abordagens para avaliar a postura e os movimentos humanos, cada um com suas próprias vantagens e limitações. Ao longo dos anos, essas ferramentas têm sido fundamentais para a compreensão e melhoria das condições de trabalho, contribuindo para a promoção da saúde e segurança ocupacional. No Quadro 3, é possível visualizar os artefatos de Modelos Humanos Digitais mais populares da literatura, apresentando seus autores e ano de desenvolvimento. Essas informações ajudarão a compreender melhor a evolução e a diversidade dessas ferramentas ao longo do tempo, fornecendo uma base sólida para futuras discussões e análises.

Quadro 3: Identificação de *softwares* Modelos Humanos Digitais.

ANO	AUTOR	MHD
1969	Bonney, Evershed & Roberts	SAMMY
1980	NASA, University of Pennsylvania	JACK
1980	Ecole Polytechnique Montreal	SAFEWORK/Human Builder
1987-1994	German automotive industry, Tecmath, University of Eichstätt, Technical University of Munich	RAMSIS
2003	University of Iowa	SANTOS
1980	TNO (Netherlands)	MADYMO
1999	Wölfel und Partner	CASIMIR
2001	Rasmussen - Aalborg University	AnyBody
2016	Shippen e May - Universidade de Coventry	BoB Biomechanics
2017	Brendler e ViD (UFRGS)	HERIP

Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

A pesquisa e desenvolvimento de Modelos Humanos Digitais (MHDs) desempenham um papel crucial na área de ergonomia e design industrial, permitindo a simulação e análise de interações entre seres humanos e produtos ou ambientes. No entanto, enquanto esses modelos oferecem vantagens significativas, também enfrentam uma série de desafios que podem limitar sua acessibilidade e aplicabilidade em diversas situações.

Uma das limitações mais evidentes dos MHDs é a predominância da língua inglesa em muitos dos modelos disponíveis. Grande parte da literatura, documentação e ferramentas relacionadas a esses modelos é apresentada em inglês, o que pode criar barreiras para pesquisadores e profissionais que não têm fluência nesse idioma. Isso pode dificultar o acesso à informação e a compreensão adequada dos detalhes técnicos dos modelos.

Outro desafio é a descontinuação de projetos de MHDs. Alguns modelos, que foram desenvolvidos com esforço e recursos consideráveis, foram descontinuados ao longo do tempo devido a vários motivos, como: falta de financiamento, mudanças nas prioridades de pesquisa ou avanços tecnológicos, que tornam o modelo obsoleto. Isso pode resultar na perda de um recurso valioso para a comunidade de ergonomia.

Além disso, muitos dos Modelos Humanos Digitais disponíveis comercialmente podem ser caros para aquisição e uso. As licenças de *software* e as taxas associadas ao uso de certos modelos podem representar um desafio financeiro para pequenas empresas, instituições de pesquisa com recursos limitados e pesquisadores independentes. O custo envolvido pode limitar a capacidade de explorar plenamente os recursos dos MHDs.

Outra questão envolve a complexidade de alguns MHDs e a dificuldade de manipulação por parte do usuário. Alguns modelos podem demandar um profundo conhecimento técnico para serem operados de forma eficaz. O desenvolvimento de movimentos humanos (animações) e a análise de dados podem ser tarefas complexas, especialmente para aqueles que não possuem formação em áreas correlatas à essa prática. Isso pode limitar a adoção desses modelos por profissionais, como *designers* industriais ou ergonomistas, que podem não estar familiarizados com a complexidade subjacente.

Além disso, alguns MHDs podem ter acesso restrito devido às questões de segurança ou propriedade intelectual. Um exemplo notável é o caso do modelo "SANTOS", que pertence ao exército dos Estados Unidos. Isso significa que o acesso a esse modelo pode ser limitado a indivíduos com permissões específicas e pode não estar disponível para a comunidade em geral.

Todos esses desafios coletivamente destacam a necessidade de pesquisa e desenvolvimento contínuos na área de MHDs. A compreensão das limitações existentes e a identificação das lacunas nos modelos disponíveis podem inspirar a criação de novas soluções que sejam mais acessíveis, fáceis de usar e abrangentes. O desenvolvimento de um novo *software* para análises ergonômicas pode abordar esses desafios, oferecendo uma alternativa que seja acessível, adaptada às necessidades dos usuários e capaz de superar as barreiras existentes.

No Quadro 4, apresentamos uma análise detalhada dos artefatos utilizados na captura de movimentos humanos, destacando seus pontos positivos e negativos. Compreender essas características é essencial para tomar decisões informadas sobre

qual ferramenta utilizar em projetos que envolvam a avaliação de movimentos e posturas.

Quadro 4: Artefatos propostos para a captura de movimentos (*hardwares*).

(Continua)

Artefatos	Pontos positivos	Pontos negativos
Azure Kinect®	Estado da Arte no sistema de captura de movimento <i>markless</i> .	Preço elevado e exige importação.
PlayStation Eye®	Baixo custo.	Necessita do uso dos controles PlayStation Move, afetando a qualidade e fluidez dos movimentos.
Sistema Ótico Vicon®	<ul style="list-style-type: none"> - Excepcional precisão na captura de movimentos. - Calibração automática. 	<ul style="list-style-type: none"> - Preço elevado e exige importação. - Necessita de traje especial e grandes espaços.
Sistema <i>wearables</i> Xsens®	<ul style="list-style-type: none"> - Conhecidos por sua precisão na captura de movimentos. - Calibração automática. 	<ul style="list-style-type: none"> - Preço elevado e exige importação. - Necessita de traje especial e grandes espaços.
Uso de sistemas eletromecânicos (<i>wearables</i>)	Possibilidade de uso de componentes como o Arduino (baixo custo).	<ul style="list-style-type: none"> - Necessidade de fios e soldas nos sensores - A interface do Arduino é mais complexa se comparada com o SDK do Kinect.

Quadro 4: Artefatos propostos para a captura de movimentos (*hardwares*).

(Conclusão)

Artefatos	Pontos positivos	Pontos negativos
Microsoft Kinect® V1/V2	<ul style="list-style-type: none"> - Baixo custo. - Facilidade de manipulação pelo usuário. - Capacidade de examinar todo o corpo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Não captura movimentos dos dedos dos pés e das mãos. - Necessidade de múltiplos sensores para maior confiabilidade. - Requer espaços médios (distância recomendada de 2,5m).

Fonte: ELABORADA PELO AUTOR. 2023.

Os artefatos para avaliação de movimentos apresentam características distintas em termos de vantagens e desvantagens. A *Azure Kinect®* se destaca como uma opção de ponta, embora seu alto preço e necessidade de importação possam representar obstáculos. O *PlayStation Eye®* é uma alternativa acessível, porém sua dependência dos controles *PlayStation Move* impacta a qualidade da captura de movimentos. O Sistema Ótico *Vicon®* impressiona pela precisão e calibração automática, mas enfrenta desafios de custo elevado, importação e requisitos específicos de traje. Os *wearables Xsens®* são conhecidos por sua precisão e calibração automática, mas também compartilham das limitações financeiras e de espaço. A utilização de sistemas eletromecânicos, como o Arduino, oferece baixo custo, apesar da interface mais complexa. A *Microsoft Kinect® V1/V2* se destaca por sua acessibilidade e facilidade de uso, mas a falta de captura de extremidades e a necessidade de múltiplos sensores requerem consideração. Resumindo, cada artefato possui características únicas, e a escolha deve ser orientada pelas necessidades específicas de cada projeto.

Após uma avaliação minuciosa dos diversos artefatos disponíveis para a avaliação de movimentos, a preferência recai sobre o *Microsoft Kinect® V1* como a opção mais adequada para o presente projeto. Este artefato se destaca pelo equilíbrio

entre facilidade de uso e custo acessível. Sua interface amigável e intuitiva simplifica a manipulação, reduzindo a curva de aprendizado e viabilizando sua utilização por uma ampla gama de profissionais. Além disso, seu custo reduzido representa uma vantagem significativa em relação a sistemas mais dispendiosos. Apesar de algumas limitações, como a ausência de captura detalhada de extremidades e a exigência de múltiplos sensores para maior precisão, as vantagens em termos de acessibilidade e integração superam tais considerações. Assim, a escolha criteriosa do *Microsoft Kinect® V1* reflete o compromisso em assegurar a qualidade das análises ergonômicas, ao mesmo tempo que leva em conta as exigências práticas e financeiras do projeto. O Quadro 5 apresenta uma visão detalhada dos artefatos destinados à captura de movimentos que suportam o *software Microsoft Kinect®*. Cada um desses artefatos oferece um conjunto único de características e capacidades, adequando-se às diferentes necessidades e requisitos de projetos.

Quadro 5: Artefatos identificados para a captura de movimentos usando o *Microsoft Kinect® (software)*

(Continua)

Artefato	Descrição	Compatibilidade com sensores	Preço
iPi Soft Mocap®	Lançado em 2008, oferece captura de movimento sem marcadores. Reconhece e rastreia o corpo humano usando visão computacional.	Microsoft <i>Kinect®</i> 1/2 <i>Azure®</i> , <i>PsEye®</i> , <i>GoPro</i> .	Versão de Teste Gratuita. (30 dias). Licença Paga: US\$ 695.00.
Nuitrack®	Compatível com diversos dispositivos, porém, informações sobre uso com múltiplos sensores são limitadas.	Vários sensores e dispositivos.	Licença Paga: \$99.
DeepMotion®	Fundada em 2014, a empresa oferece captura de movimento com IA e rastreamento corporal 3D de baixo custo.	Vários sensores e dispositivos.	Não especificado.

Quadro 5: Artefatos identificados para a captura de movimentos usando o *Microsoft Kinect® (software)*

(Conclusão)

Artefato	Descrição	Compatibilidade com sensores	Preço
OpenPose®	Biblioteca gratuita que detecta articulações de múltiplos humanos simultaneamente, incluindo corpo, rosto e mãos.	Requer placas gráficas NVIDIA.	Gratuito (Código-fonte disponível).
MotionBuilder®	Software profissional da Autodesk para captura de movimento e animação.	Vários sensores e dispositivos.	US\$ 2.145,00.
OptiTrack®	Oferece soluções de captura de movimento de alta precisão para diversas aplicações.	Vários sensores e dispositivos.	Sob consulta.

Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Após uma análise abrangente dos diversos softwares disponíveis para a captura de movimentos, a escolha recaiu sobre o *iPi Soft Mocap* como a solução mais adequada para o projeto em questão. Essa decisão foi embasada em vários fatores favoráveis que o *software* oferece. O *iPi Soft Mocap* destaca-se por sua capacidade de capturar movimentos sem a necessidade de marcadores, utilizando algoritmos de visão computacional para rastrear o corpo humano. Um aspecto crucial que influenciou a escolha foi a abundância de tutoriais disponíveis no *YouTube* e em outras plataformas, que oferecem um suporte valioso para entender e explorar as funcionalidades do *software*.

Além disso, o *iPi Soft Mocap* oferece uma versão de teste gratuita com duração de 30 dias, o que proporciona a oportunidade de avaliar e experimentar suas capacidades. Essa opção de teste permite uma imersão prática no *software* e a avaliação de sua adequação para as necessidades específicas do projeto. A possibilidade de explorar suas funcionalidades de forma mais ampla, sem

compromisso inicial, foi um fator determinante para a escolha, embora isso também tenha acarretado um número limitado de animações.

O Quadro 6 oferece uma análise comparativa entre duas das *game engines* mais proeminentes e utilizadas no desenvolvimento de jogos: *Unity 3D* e *Unreal Engine*. Embora haja uma infinidade de *game engines* disponíveis, estas duas se destacam como líderes na indústria de desenvolvimento de jogos, sendo amplamente adotadas por desenvolvedores em todo o mundo. Ao compreender as distinções entre *Unity 3D* e *Unreal Engine*, os desenvolvedores e criadores de jogos poderão tomar as decisões mais apropriadas para o seu projeto.

Quadro 6: Comparação entre *Unity 3D* e *Unreal Engine*.

(Continua)

Características	<i>Unity 3D</i>	<i>Unreal Engine</i>
Linguagem de Programação	C# (também suporta JavaScript e Boo).	C++ (também suporta <i>Blueprints</i>).
Renderização	PBR (<i>Physically Based Rendering</i>).	PBR (<i>Physically Based Rendering</i>).
Plataformas Suportadas	Multiplataforma: PC, Consoles, Mobile, VR, AR.	Multiplataforma: PC, Consoles, Mobile, VR, AR.
Facilidade de Uso	Amigável para iniciantes.	Pode ser mais complexo.
Comunidade e Recursos	Grande comunidade e muitos recursos <i>online</i> .	Comunidade ativa e suporte da Epic Games.
Personalização	Altamente personalizável com Asset Store e extensões.	Altamente personalizável com acesso ao código-fonte completo.
Gráficos e Realismo	Gráficos bons, porém, pode haver limitações em qualidade ultra-alta.	Conhecida por gráficos deslumbrantes e realismo, muitas vezes usada para jogos AAA.
Programação Visual	Suporta programação visual através do Visual Scripting.	<i>Blueprints</i> permitem programação visual avançada.
Licenciamento	Gratuito para receitas até \$100,000, além disso, é baseado em receita.	<i>Royalties</i> aplicáveis apenas após um certo limite de receita.

Quadro 6: Comparação entre *Unity 3D* e *Unreal Engine*.

(Conclusão)

Características	<i>Unity 3D</i>	<i>Unreal Engine</i>
Vantagens	Fácil para iniciantes, ótima para desenvolvimento rápido, ampla gama de plataformas.	Gráficos de ponta, realismo impressionante, suporte poderoso para VR/AR.
Desvantagens	Pode ter limitações em gráficos ultra-alta, menos indicado para jogos AAA.	Curva de aprendizado íngreme, pode ser mais exigente em termos de <i>hardware</i> .

Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Nesta pesquisa, a opção pela *Unity* foi embasada na consideração da curva de aprendizado, uma vez que o autor possuía experiência limitada em programação orientada a objetos. A *Unity*, com sua abordagem amigável para iniciantes e recursos de programação visual como o C#, provou ser uma escolha adequada para permitir um desenvolvimento mais eficiente.

Embora a *Unreal Engine* seja conhecida por seus gráficos impressionantes e realismo em jogos, optou-se pela *Unity*, devido à sua capacidade de proporcionar uma qualidade de imagem superior em comparação com outros *softwares* que lidam com Modelos Humanos Digitais para análises ergonômicas disponíveis no mercado. Essa escolha levou em consideração a busca por um equilíbrio entre acessibilidade e qualidade visual, essencial para os objetivos da pesquisa e as demandas específicas de análises ergonômicas.

3.5 PROPOSIÇÃO DE ARTEFATOS PARA RESOLVER O PROBLEMA ESPECÍFICO

No contexto deste estudo, a identificação dos artefatos a serem adotados desempenha um papel fundamental no direcionamento da pesquisa. Conforme indicado por Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015), esta etapa envolve a proposição de soluções criativas para a problemática em questão. Considerando a natureza interdisciplinar da pesquisa e a necessidade de criar um Modelo Humano

Digital (MHD) que atenda aos recursos disponíveis, foram propostos artefatos que abordam distintos aspectos do problema. Os artefatos propostos são os seguintes:

- *Microsoft Kinect® V.1*: Selecionou-se o *Kinect® V.1* como dispositivo de captura de movimento devido à sua acessibilidade financeira e à sua capacidade de fornecer dados essenciais para a criação do MHD. Além disso, o *hardware* apresentou confiabilidade na aquisição de valores angulares.
- *iPi Soft Mocap*: A escolha do *iPi Soft Mocap* como *software* de captura de movimento foi motivada pela vasta disponibilidade de tutoriais online e pela versão de teste gratuita de 30 dias. Essas características facilitam a imersão prática no *software* e a avaliação de sua adequação para as necessidades específicas da pesquisa.
- *Unity3D* como *Game Engine*: No contexto de desenvolvimento de jogos para a interação com o MHD, optou-se pelo *Unity3D* devido à sua curva de aprendizado acessível. Esta escolha permite utilizar uma plataforma comumente adotada na indústria de desenvolvimento de jogos, agilizando o processo de criação e interação com o MHD.

Conforme indicado pela *Design Science Research*, essa proposição de artefatos é essencial para direcionar o desenvolvimento da pesquisa, proporcionando soluções que atendam aos objetivos e às características do projeto. Cada artefato foi selecionado com base em sua adequação às necessidades para a consecução dos resultados almejados.

3.6 PROJETO DO ARTEFATO SELECIONADO

Nesse estágio, a tomada de decisões é guiada por uma análise crítica e meticulosa das soluções disponíveis. O pesquisador, não apenas identifica a proposta mais promissora, mas também leva em consideração as restrições, recursos e limitações envolvidos no desenvolvimento do artefato. É essencial que haja uma profunda compreensão das complexidades do problema, uma vez que isso moldará o projeto e as estratégias a serem adotadas.

Além disso, é durante essa fase que o pesquisador estabelece um roteiro claro e detalhado para a construção do artefato. Isso inclui a definição de etapas,

cronograma, recursos necessários e as métricas que serão utilizadas para avaliar o sucesso do projeto. Os resultados esperados, não apenas fornecem uma visão clara do que se espera alcançar, mas também servem como indicadores-chave para medir o progresso ao longo do desenvolvimento do artefato. Portanto, esse estágio não se trata apenas de tomar decisões, mas de criar um plano sólido e estruturado que guiará todo o processo de desenvolvimento, mantendo a pesquisa alinhada com seus objetivos e metas (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015).

3.7 DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO

Nesta etapa, conforme indicado por Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015), o pesquisador assume uma posição central na criação de um artefato, um componente tangível que deve gerar resultados aplicáveis e cientificamente válidos. O objetivo é oferecer soluções práticas para resolver desafios existentes ou até mesmo criar inovações que impulsionam a melhoria de sistemas já estabelecidos ou a concepção de novas soluções. Este estágio é essencialmente criativo e requer a aplicação de conhecimento e habilidades interdisciplinares para traduzir ideias conceituais em realidade.

No contexto desta pesquisa, a proposta é desenvolver um simulador dedicado à análise ergonômica. Essa iniciativa utiliza a técnica de captura de movimento como uma peça fundamental no processo de desenvolvimento de animações. Essas animações resultantes são, posteriormente, integradas ao simulador, criando uma sinergia que transforma informações de deslocamento nos eixos X, Y e Z em representações visuais. Aqui, uma paleta de cores significativa é aplicada estrategicamente para indicar vários níveis de esforço envolvidos nos movimentos.

Essa estratégia permite a análise detalhada da usabilidade de equipamentos e da qualidade dos movimentos em estudo. O uso de um MHD como base é crucial nesse processo, uma vez que ele atua como uma entidade virtual altamente adaptável, capaz de simular uma ampla variedade de cenários ergonômicos. A representação das informações de deslocamento próxima às articulações do modelo digital cria uma interface visual poderosa para avaliar aspectos ergonômicos, destacando áreas de tensão, estresse ou desconforto.

O objetivo final é capacitar pesquisadores, profissionais de ergonomia, *designers* industriais, terapeutas ocupacionais e outros especialistas a avaliar de

forma abrangente a adequação de produtos, ambientes ou procedimentos ergonômicos. Isso, não apenas aprimora a compreensão das interações entre o ser humano e seu entorno, mas também abre caminho para a concepção de soluções mais eficazes e adaptadas às necessidades individuais.

3.8 AVALIAÇÃO DO ARTEFATO

Nesta fase crucial do projeto, o pesquisador realiza uma avaliação minuciosa dos requisitos e procedimentos essenciais para o desenvolvimento do artefato, adotando a abordagem metodológica proposta por Dresch, Lacerda e Antunes Jr. (2015). Essa etapa compreende a condução de estudos de campo, simulações, testes e a criação de cenários diretamente relevantes ao contexto do artefato em desenvolvimento.

A avaliação do artefato adota duas vertentes de igual importância. Primeiramente, busca-se a reprodução precisa das amplitudes dos movimentos do corpo humano, conforme descritas nos manuais de goniometria de Amélia Pascal Marques (2003) e nos princípios da cinesiologia estrutural de Thompson e Floyd (2016). Para alcançar essa precisão, serão empregados dois sensores *Kinect*®, simultaneamente, em conjunto com o *software IpiSoft*®, permitindo a obtenção de dados quantitativos dos movimentos nos eixos X, Y e Z.

A validação do funcionamento do sistema será obtida através da replicação dos movimentos máximos do corpo humano e da sua representação visual. Essa representação visual utilizará seis cores, indo do vermelho, que indica a amplitude máxima, passando pelo laranja escuro, laranja claro, amarelo, verde claro e chegando ao verde-lima, que indica a amplitude neutra. Essa representação visual proporciona uma visualização intuitiva e compreensível das amplitudes.

No contexto da cinesiologia, o sistema utiliza uma escala de cores para indicar variações na amplitude de movimento: o vermelho é empregado para denotar a amplitude máxima, enquanto as demais cores representam níveis progressivamente menores de amplitude. Por exemplo, laranja escuro pode indicar uma amplitude ligeiramente menor que o máximo, seguido pelo laranja claro para uma amplitude ainda mais reduzida, e assim sucessivamente. Quando o movimento ultrapassa os limites aceitáveis de amplitude, o *software* recorre à cor cinza com transparência para sinalizar esta condição.

No contexto do *Bike Fit*, a abordagem do *software* é adaptada para atender às especificidades de cada articulação. Para articulações como joelhos e tornozelos, possuem dois pontos ideais, um para extensão e outro para flexão. Para outras articulações como cotovelo, ombro, quadril e região lombar, que têm um único ponto ideal de movimento, o verde indica o ângulo ideal e o vermelho, desvios desse ângulo ideal. Para o *Bike Fit*, o *software* emprega uma paleta reduzida de quatro cores: vermelho, laranja escuro, amarelo e verde, mudando a cada 10 ou 5 graus, dependendo da amplitude de movimento. Assim como na cinesiologia, movimentos opostos ou muito distantes do ângulo ideal são indicados pelo cinza com transparência.

Essa abordagem colorimétrica do ErgoMotion permite uma visualização intuitiva e imediata das amplitudes de movimento, facilitando a análise ergonômica e biomecânica, tanto em atividades relacionadas à cinesiologia, quanto no ajuste de bicicletas de competição. Além disso, é importante mencionar que tudo o que muda de cor no ambiente virtual poderá ser avaliado e comparado em relação ao mundo físico, usando um goniômetro de duas hastes, permitindo uma validação das medidas obtidas.

3.9 EXPLICITAÇÃO DAS APRENDIZAGENS

Após a avaliação dos resultados obtidos, o pesquisador irá explicar as aprendizagens adquiridas ao longo do processo de pesquisa, destacando os pontos de sucesso e insucesso que podem servir como referência para futuras investigações (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015). Acredita-se que o conhecimento gerado por meio desta pesquisa poderá orientar o desenvolvimento de outros *softwares* destinados à análise ergonômica.

3.10. CONCLUSÕES

Nas conclusões, o pesquisador destaca os resultados obtidos com a pesquisa, identifica as limitações encontradas e compartilha as decisões cruciais tomadas durante o processo de investigação, fornecendo direcionamentos para pesquisas

futuras (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2015). As sugestões e conclusões para trabalhos futuros serão detalhadas no Capítulo 9.

3.11. GENERALIZAÇÃO PARA UMA CLASSE DE PROBLEMAS

Os resultados alcançados ao longo das etapas de desenvolvimento do artefato contribuirão para a generalização do problema. Isso significa que o conhecimento gerado em um contexto específico poderá ser aplicado em outras situações semelhantes (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR., 2014). GENERALIZAÇÃO DOS PROBLEMAS.

O processo de generalização de soluções para uma variedade de problemas deve ser realizado através de um raciocínio indutivo. Neste método, o pesquisador procura expandir a aplicabilidade da solução encontrada para um problema específico a um conjunto mais amplo de problemas semelhantes. Assim, o conhecimento adquirido em uma situação particular pode ser eficazmente utilizado em outras situações que compartilhem características similares (DRESCH, LACERDA, ANTUNES JR., 2014).

O software ErgoMotion destaca-se como uma ferramenta capaz de identificar o ângulo ideal para uma ampla variedade de atividades e produtos, oferecendo infinitas possibilidades de aplicação. Esta capacidade de descobrir ou utilizar ângulos ideais, seja através de literatura específica ou experiências laboratoriais, transforma-se em uma poderosa funcionalidade quando traduzida para o sistema de cores do software. Este sistema de cores, não só simplifica a interpretação de dados complexos, mas também torna o ErgoMotion extremamente versátil e adaptável a diferentes contextos.

Seja na adaptação ergonômica de um local de trabalho, no ajuste preciso de equipamentos esportivos, na concepção de produtos centrados no usuário ou no ensino de conceitos de cinesiologia, o ErgoMotion pode ser configurado para atender a uma gama diversificada de necessidades. Sua modularidade e programabilidade permitem que seja continuamente aprimorado e personalizado, tornando-o uma ferramenta indispensável não apenas para os profissionais já mencionados no tópico 5.2, mas também para qualquer campo onde a ergonomia e a análise do movimento humano sejam relevantes.

Além das suas aplicações práticas em ergonomia e análise de movimento, o ErgoMotion destaca-se também como uma excelente ferramenta educacional para o ensino e aprendizado da cinesiologia e dos movimentos humanos. Sua capacidade de visualizar e analisar movimentos em detalhes, juntamente com o inovador sistema de cores, torna o aprendizado desses conceitos complexos mais acessível e intuitivo.

O software pode ser aplicado em disciplinas acadêmicas relacionadas à saúde, esporte e reabilitação, oferecendo aos estudantes uma maneira interativa de compreender a mecânica dos movimentos humanos e a importância da ergonomia. Através de simulações e análises práticas, o ErgoMotion facilita a compreensão de conceitos fundamentais da cinesiologia, tornando-o um recurso didático valioso em várias áreas do conhecimento. Esta aplicação educacional do ErgoMotion reforça seu papel não apenas como uma ferramenta de análise ergonômica, mas também como um meio eficaz de disseminar conhecimento e promover a compreensão da cinesiologia em um contexto mais amplo.

A partir da análise realizada na Revisão Bibliográfica Sistemática, descrita no Tópico 3.3, emergiu a ideia de aplicar o ErgoMotion na prevenção de lesões em ambientes industriais, um aspecto particularmente relevante no contexto da Industry 4.0 e das pesquisas sobre captura de movimentos para análises ergonômicas. A implementação de uma biblioteca específica no ErgoMotion, voltada para fábricas inteligentes, se apresenta como uma ferramenta essencial para identificar e alertar sobre movimentos inadequados no trabalho. Essa aplicação tem o objetivo não apenas de prevenir lesões entre trabalhadores, mas também de contribuir para a eficiência produtiva, alinhando-se com as exigências contemporâneas de segurança e produtividade no setor industrial.

Adicionalmente, foi identificado um significativo potencial para o uso do ErgoMotion em academias de ginástica, com o intuito de qualificar exercícios e aprimorar a cinesiologia do treinamento físico. Considerando a já existente biblioteca de cinesiologia, que cobre a totalidade dos movimentos do corpo humano, este sistema pode ser empregado para monitorar e avaliar a execução de exercícios, promovendo práticas mais seguras e eficientes. A possibilidade de gamificar o treinamento, aplicando pontuação e recompensas, e fornecendo feedback instantâneo e “notas” sobre a qualidade dos exercícios, pode transformar a experiência de treino, tornando-a mais envolvente e produtiva.

O ErgoMotion também apresenta um potencial significativo para o treinamento de atletas. Ao avaliar e comparar os movimentos dos principais atletas do mundo, é possível identificar discrepâncias e oportunidades de aprimoramento na técnica. Essa abordagem permite que os treinadores e atletas analisem de forma detalhada como tornar os movimentos mais semelhantes aos de atletas de elite, contribuindo para o aprimoramento da performance esportiva. Além disso, a aplicação de elementos de gamificação também pode ser aplicada nesta função.

Estas ideias evidenciam o amplo potencial do ErgoMotion de se expandir para além das suas atuais aplicações, abrindo novos caminhos em campos como a segurança no trabalho e a saúde, bem-estar físico e melhoramento atlético. A flexibilidade e aplicabilidade do software em diversos contextos práticos são reafirmadas, destacando o ErgoMotion como uma ponte valiosa entre a teoria ergonômica e sua aplicação prática.

Assim, o software se posiciona como um facilitador de melhorias contínuas em uma variedade de atividades humanas. No vasto horizonte do ErgoMotion, cada atividade humana se torna um convite à sua análise, com isso temos um mundo infinito de possibilidades esperando para serem exploradas por uma mente criativa.

3.12. COMUNICAÇÃO DOS RESULTADOS

A abordagem de *Design Science Research* sugere que os resultados sejam amplamente comunicados por meio da publicação em periódicos, apresentações em congressos, seminários e outras formas de disseminação de conhecimento. Além disso, pretende-se criar pequenos tutoriais para a plataforma *YouTube*, explicando de maneira acessível como funciona o ErgoMotion.

Esses tutoriais serão desenvolvidos com o objetivo de tornar as informações sobre o ErgoMotion mais acessíveis ao público em geral, promovendo uma compreensão mais ampla e facilitando sua utilização por parte de interessados na área de ergonomia e análise de movimentos.

A intenção é proporcionar uma fonte adicional de aprendizado e divulgação das capacidades e benefícios do ErgoMotion para um público mais amplo, incluindo profissionais, pesquisadores e entusiastas interessados na otimização da usabilidade

de equipamentos e movimentos humanos. Essa iniciativa visa compartilhar conhecimento de forma mais ampla e acessível, contribuindo assim para o avanço da ciência e a disseminação de soluções úteis no campo da ergonomia.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA

Neste capítulo, delineiam-se os procedimentos e resultados da Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS).

4.1 ENTRADA

Conforme definido por Conforto e Da Silva (2011), a etapa inicial da RBS, intitulada "Entrada", segmenta-se em três componentes essenciais: problema, objetivos e fontes primárias. Adotando tal estruturação metodológica, estabeleceu-se a questão central: " Como pode ser realizada a integração da prototipagem física com ferramentas virtuais no mapeamento e análise dos ângulos de movimento humano para fins de avaliação ergonômica no design de produtos?".

Os objetivos da investigação, de natureza explícita e pragmática, constituem o pilar para a subsequente análise de documentos. Eles servem como guia para determinar quais artigos se alinham à temática de interesse e quais devem ser excluídos. Estes objetivos são:

- Mapear o estado atual das técnicas de captura de movimentos para análises ergonômicas, dando preferência a estudos que empregam o *Microsoft Kinect®*.
- Entender a antropometria aplicada ao desenvolvimento de Modelos Humanos Virtuais, observando as limitações e restrições do movimento humano.
- Identificar *softwares* que integrem captação de movimentos, modelagem e motores de jogos, os quais possibilitem interatividade com representações gráficas de conforto e desconforto, bem como simulações físicas em tempo real.
- Investigar como as pesquisas contemporâneas abordam análises ergonômicas em ambientes físicos e digitais.
- Tendo clarificados o problema e os objetivos, procede-se à identificação de fontes primárias, que abrangem artigos, periódicos e demais bases de dados. Tais fontes são essenciais para a seleção criteriosa das palavras-chave e para reconhecer os principais autores e trabalhos de destaque no campo. Durante esta fase, faz-se imprescindível a aplicação correta dos operadores lógicos da

Busca Booleana, que inclui os operadores *AND*, *OR* e *NOT*, visando refinar a pesquisa.

A busca por evidências foi realizada nas principais bases de periódicos disponíveis na internet, tais como:

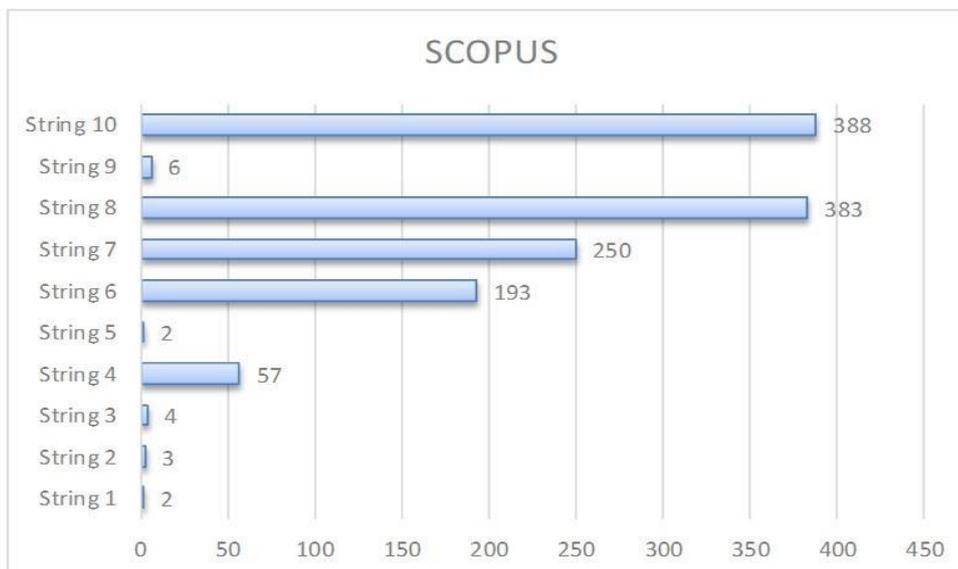
- Scopus: É a maior base de dados de resumos e citações da literatura acadêmica, abrangendo aproximadamente 19,5 mil títulos de mais de 5.000 editoras internacionais (ELSEVIER, 2024).
- *Web of Science*: Esta base abrange áreas das ciências da saúde, bem como das ciências sociais e aplicadas (WEB OF SCIENCE, 2024).
- MEDLINE (via PubMed): É renomada por indexar textos completos da literatura de periódicos voltados para as ciências biomédicas (PUBMED, 2024).
- IEEE Xplore: Trata-se de um banco de dados de pesquisa dedicado à descoberta e ao acesso de artigos de periódicos, anais de conferências, normas técnicas e outros materiais relacionados às áreas de ciência da computação, engenharia elétrica e eletrônica, bem como campos correlatos (IEEE, 2024).
- *SpringerLink*: Fornece acesso a mais de 10 milhões de documentos científicos em sua coleção online, que inclui livros, periódicos, obras de referência e protocolos nas áreas de Ciência, Tecnologia e Medicina (STM) e Humanidades & Ciências Sociais (HSS). Esta plataforma é reconhecida por englobar uma ampla variedade de disciplinas (SPRINGERLINK, 2024).

Os documentos foram selecionados com base nas seguintes combinações de termos de pesquisa: *String 1: "Motion Capture" AND "Game Engine" AND "Digital Human Model" AND "Ergonomic Assessment"*, *String 2: "Motion Capture" AND "Game Engine" AND "Digital Human Model"*, *String 3: "Motion Capture" AND "Game Engine" AND "Ergonomic Assessment"*, *String 4: "Motion Capture" AND "Digital Human Model" AND "Ergonomic Assessment"*, *String 5: "Game Engine" AND "Digital Human Model" AND "Ergonomic Assessment"*, *String 6: "Motion Capture" AND "Game Engine", "Motion Capture" AND "Digital Human Model"*, *String 7: "Motion Capture" AND "Ergonomic Assessment"*, *String 8: "Game Engine" AND "Digital Human Model"*, *String*

9: “Game Engine” AND “Ergonomic Assessment” e String 10: “Digital Human Model” AND “Ergonomic Assessment”.

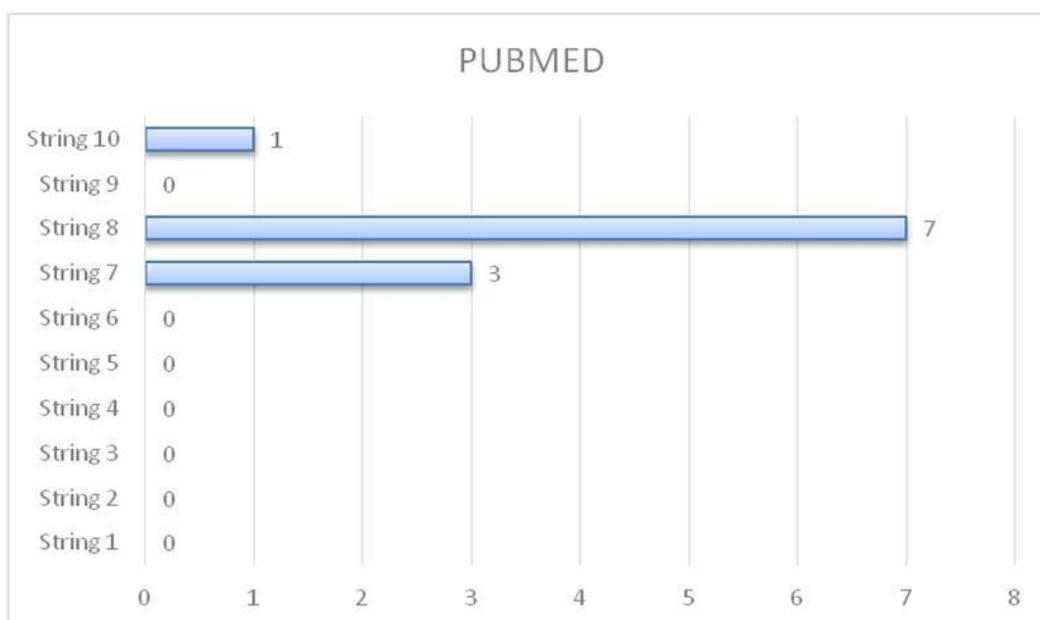
A seleção destas combinações de termos foi estrategicamente desenhada para abranger completamente o escopo da pesquisa, assegurando uma revisão profunda e focada nos principais temas investigados.

Figura 58 – Busca por periódicos na base de dados SCOPUS.

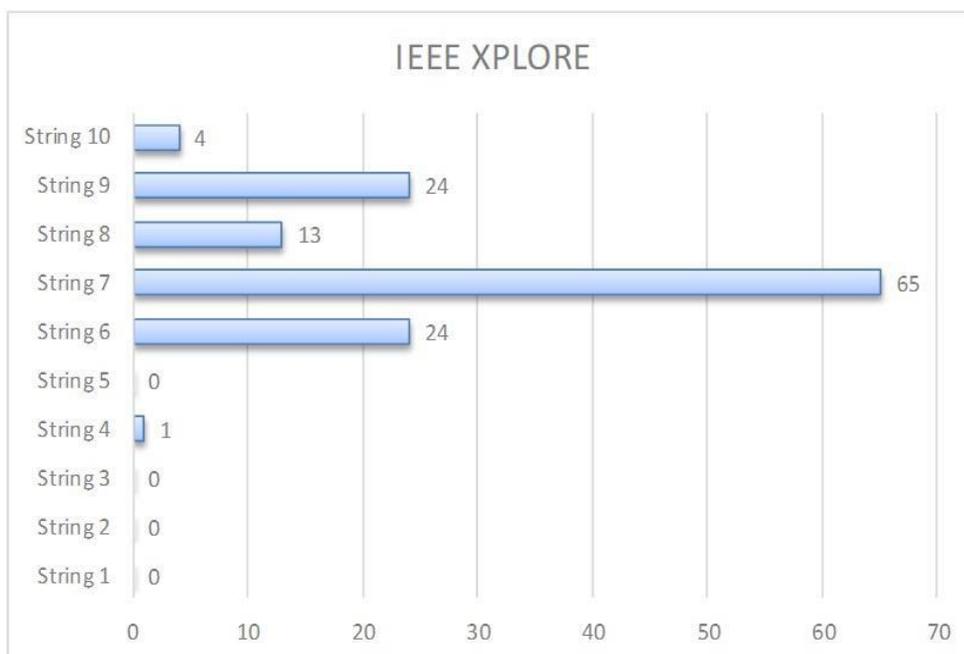


Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

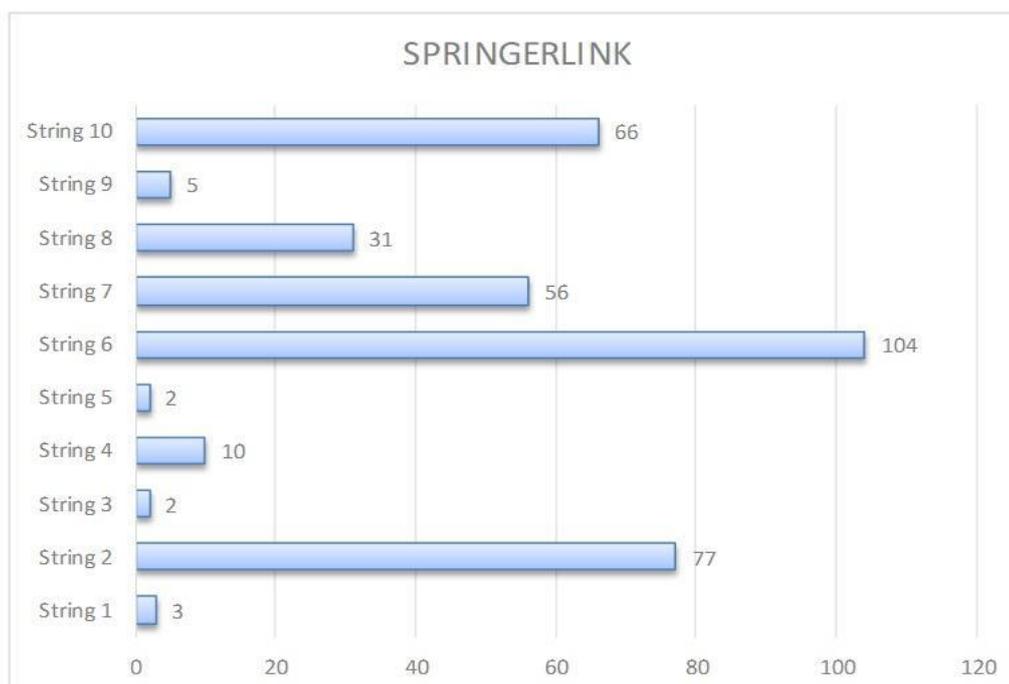
Figura 59 – Busca por periódicos na base de dados PubMed.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Figura 60 – Busca por periódicos na base de dados IEEE Xplore.

Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Figura 61 – Busca por periódicos na base de dados SpringerLink.

Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Embora não se tenha restringido a pesquisa à uma área específica, foi dada especial atenção aos artigos relacionados às ciências humanas aplicadas. Focamos em publicações do período de 2012 a 2022, resultando em um total de 1.806 artigos. Estes documentos foram então importados para o *software* Zotero® 6.0.4. A seleção foi baseada na relevância ao tema, analisando-se o título, palavras-chave e resumo de cada artigo.

4.2 PRIMEIRO FILTRO DE LEITURA

Nesta etapa, os estudos primários foram identificados, selecionados e avaliados conforme os critérios de inclusão e exclusão previamente estabelecidos. Para essa finalidade, utilizou-se o *Rayyan*, uma ferramenta gratuita de análise de revisão sistemática e meta-análise disponibilizada pela *Qatar Foundation*, uma organização sem fins lucrativos sediada no Qatar (RAYYAN, 2024).

Os critérios de exclusão abrangeram relevância temática, fundamentada na análise do título, palavras-chave e resumo dos artigos identificados. Priorizou-se também a consideração de artigos oriundos de periódicos internacionais, dada a sua notoriedade e fator de impacto. Com o suporte da plataforma *Rayyan*, excluíram-se artigos que apresentavam os seguintes termos no título ou resumo: *Dental, Virtual Reality, Augmented Reality, Inertial, Inertial Motion Capture, Inertial Suit, Wearable Inertial, Head Mounted Display, Accelerometers, Arduino e Optical MoCap Vicon*. Tais termos, embora recorrentes, não contribuem diretamente para a questão central da RBS.

Posteriormente, foram incluídos no filtro de busca os termos: *Motion Capture* (resultando em 504 artigos), *Game Engine* (116 artigos), *Kinect®* (114 artigos) e *Ergonomic Assessments* (228 artigos). Estes são termos cruciais para atender aos objetivos da RBS. A partir desta seleção, realizou-se uma leitura criteriosa do título, resumo e palavras-chave de cada artigo, a fim de qualificar sua pertinência e compreender o estado da arte em relação ao desenvolvimento de ferramentas de análises ergonômicas com captura de movimento de baixo custo. Ao final deste filtro de leitura, 42 artigos foram selecionados por atenderem integralmente aos critérios estabelecidos. Podemos ver na Figura 62, um esquema gráfico de como os artigos foram afunilados.

Figura 62 – Desenho do método do primeiro filtro de leitura.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023

4.3 SEGUNDO FILTRO DE LEITURA

Na revisão subsequente, a análise concentrou-se em uma investigação mais detalhada, focando nas introduções e conclusões dos artigos selecionados. Inicialmente, 42 artigos foram pré-selecionados no primeiro filtro. Posteriormente, foi incluído um artigo adicional sobre o tema do *Bike Fit*, identificado como relevante para o estudo. Também se considerou essencial a incorporação do trabalho de MHD HERIP, devido à sua influência direta nesta pesquisa. O relatório apresenta detalhes de cada um dos 44 artigos, incluindo título, autores, fonte de publicação e um resumo das seções introdutória e conclusiva. Para uma análise mais aprofundada, o Apêndice A, no final deste trabalho, fornece resumos completos dessas seções para todos os artigos.

4.4 TERCEIRO FILTRO DE LEITURA

Nesta terceira fase do processo de revisão sistemática, a ênfase é dada ao processo iterativo de análise. O objetivo principal nesta etapa é identificar e destacar artigos que possuem relevância e aderência direta à pesquisa atual. É essencial, portanto, realizar uma leitura completa e detalhada de cada artigo para garantir uma interpretação e análise profundas. Esta abordagem é essencial para descobrir estudos que são significativamente importantes para o campo de pesquisa, conforme destacado por Conforto e Da Silva (2011). Dentro deste escopo, selecionamos quatro artigos que apresentam uma notável similaridade com o tema proposto nesta pesquisa. As análises completas desses quatro artigos podem ser encontradas no Apêndice B deste trabalho.

4.5 CONTRIBUIÇÕES E LACUNAS ANALISADAS NA RBS

Ao concluir esta revisão sistemática, que abrangeu uma análise detalhada de artigos selecionados no segundo filtro de leitura, presente no apêndice A, e em especial, no terceiro filtro de leitura, presentes no Apêndice B, observamos um panorama abrangente e multifacetado sobre as atuais tendências e desafios na ergonomia assistida por tecnologia. O terceiro filtro, focando em leituras aprofundadas e análises críticas, proporcionou valiosas percepções do trabalho, acentuando tanto

as potencialidades quanto as limitações das tecnologias emergentes, como o *Kinect*® da *Microsoft*®, em avaliações ergonômicas. Esta etapa de revisão foi fundamental para identificar os avanços significativos que tais tecnologias oferecem, ao mesmo tempo em que apontou para as áreas que ainda necessitam de aprimoramento e inovação.

Especificamente, a análise aprofundada dos estudos no terceiro filtro enriqueceu significativamente a compreensão sobre a aplicabilidade prática destas ferramentas em diferentes contextos, realçando como elas podem ser integradas de forma eficaz no desenvolvimento do projeto em questão. Os resultados obtidos nesta fase da revisão foram cruciais para moldar a direção e o escopo da presente pesquisa, fornecendo uma base sólida para abordar os desafios identificados e explorar as possibilidades que estas tecnologias oferecem.

Contribuições:

- **Tecnologia *Kinect*®:** Um tema dominante na maioria dos artigos é a exploração do sensor *Kinect*® da *Microsoft*® como uma ferramenta de baixo custo para análise de movimento e postura. Sua acessibilidade e facilidade de uso são vistas como um avanço na avaliação ergonômica, particularmente em situações de trabalho e esportivas.
- **Avaliação ergonômica:** Muitos artigos exploram como diferentes tecnologias, especialmente o *Kinect*®, podem ser usadas para avaliações ergonômicas. Isso inclui postura em locais de trabalho, ciclismo e até mesmo em design virtual.
- **Análise virtual:** O campo do design virtual é realçado, especialmente com a introdução de modelos humanos digitais (MHD). Esses modelos ajudam a prever o conforto e a adequação dos produtos, levando em conta as dimensões humanas.

- **Métodos avançados:** A implementação de redes neurais e algoritmos específicos, como o *KMeans* e *Dijkstra*, demonstra a interseção da ergonomia com técnicas avançadas de IA e aprendizado de máquina.

Lacunas:

- **Precisão da tecnologia:** Embora o *Kinect*® seja frequentemente destacado por sua acessibilidade e facilidade de uso, muitos estudos indicam preocupações com sua precisão, especialmente em certos ângulos ou quando o sujeito não está diretamente de frente para o sensor.
- **Limitações técnicas:** Os artigos apontam para lacunas técnicas, como a necessidade de múltiplos sensores para uma avaliação completa ou as limitações inerentes à tecnologia de captura de movimento.
- **Generalização:** A aplicabilidade dos métodos em diferentes contextos, como diferentes esportes ou situações de trabalho, nem sempre é abordada, sugerindo a necessidade de estudos mais amplos.
- **Necessidade de especialização:** Algumas abordagens, como a utilização do *Kinect*® para análise de ciclismo, requerem conhecimento especializado em anatomia e biomecânica, o que pode limitar sua adoção em larga escala.

Em síntese, a revisão bibliográfica sistematizada concentrou-se em pesquisas que empregam tecnologias emergentes, com ênfase especial no *Kinect*®, reconhecido por seu potencial em facilitar avaliações ergonômicas acessíveis. No entanto, persistem questionamentos consideráveis acerca da sua precisão, aplicabilidade e limitações técnicas inerentes. Embora os estudos apontem para uma trajetória promissora, é evidente que ainda há um vasto campo a ser investigado e aprimorado no âmbito da ergonomia assistida por tecnologia.

5. PROJETO DO ARTEFATO ERGOMOTION

No mundo contemporâneo, a ergonomia é essencial para garantir uma interação sinérgica entre humanos e tecnologia. Contudo, ainda existem desafios na avaliação ergonômica que, muitas vezes, não são adequadamente abordados pelas soluções tecnológicas vigentes. Lida (2005) enfatiza que, sob a ótica ergonômica, os produtos são mecanismos que facilitam as funções humanas, integrando-se a sistemas mais abrangentes que incluem o ser humano, a máquina e o ambiente. Este cenário sublinha a demanda por ferramentas que possam simular, analisar e aprimorar, com precisão, a interação humana com seu entorno.

Assim, surge o ErgoMotion, um artefato criado para atender a esta necessidade, proporcionando uma solução robusta para os profissionais de diversas áreas. Usando a metodologia *Design Science Research* (DSR), este capítulo se aprofunda no planejamento, nos requisitos e nas considerações preliminares que formaram a base para o desenvolvimento do ErgoMotion. As seções subsequentes discorrerem sobre o escopo do projeto, a identificação dos usuários e os requisitos do projeto, que estão subdivididos em requisitos funcionais, requisitos de dados e requisitos de interação. Além disso, serão discutidas as limitações e restrições, os requisitos de validação e teste, a escala e diferenciação semântica, e, finalmente, as especificações do projeto.

5.1 ESCOPO DO PROJETO

O projeto propõe a criação de um *software* interativo destinado à uma diversidade de profissionais. Esta ferramenta inovadora é estruturada em duas áreas principais. A primeira, a Cinesiologia, que visa educar os usuários sobre movimentos humanos, recorrendo à literatura científica e às capturas de movimento possíveis do *Kinect® V1*. A visualização desses movimentos utiliza uma escala tonal de seis cores. A segunda área, o simulador de Análises de *Bike Fit*, é especializada em ajustes ergonômicos para bicicletas de competição. Baseado nas pesquisas de Phil Burt (2022) e em dados do sistema *RETÜL*, esta seção utiliza uma escala tonal de quatro cores para destacar o ajuste ideal para diferentes tipos de bicicletas de competição.

A plataforma escolhida para desenvolver este *software* é o motor de jogos *Unity 3D*, reconhecido por sua capacidade de criar ambientes virtuais detalhados. Dentro

deste ambiente, foram integradas programações específicas. Uma característica distintiva deste projeto é sua interface do usuário (UI), projetada para ser intuitiva, a UI inclui ícones criados à mão para representar e simplificar a análise dos movimentos, tornando o software uma ferramenta acessível e informativa para seu público diversificado.

5.2 IDENTIFICAÇÃO DOS USUÁRIOS

Identificação dos Usuários ErgoMotion:

Ergonomistas: Especialistas que estudam a eficiência das pessoas em seu ambiente de trabalho. Eles podem usar o ErgoMotion para analisar como pequenas alterações na postura ou no ambiente podem afetar a saúde e a produtividade.

Fisioterapeutas: Estes profissionais de saúde auxiliam na reabilitação e recuperação de pacientes após lesões ou cirurgias. O ErgoMotion pode ser usado para avaliar o progresso do paciente e adaptar planos de tratamento.

Educadores físicos: Ao preparar rotinas de exercícios ou treinar atletas, os educadores físicos podem usar o software para garantir que os movimentos sejam executados corretamente, minimizando o risco de lesões.

Personal Trainers: Eles podem usar o ErgoMotion para avaliar a forma e a técnica de seus clientes, garantindo que os exercícios sejam realizados de maneira segura e eficaz.

Professores de ioga e pilates: Estes instrutores podem usar o *software* para ajudar os alunos a alcançarem as posturas corretas, evitando lesões e melhorando a eficácia das poses.

Pesquisadores de biomecânica: Estudando a mecânica do corpo humano, esses pesquisadores podem usar o ErgoMotion para coletar dados e realizar análises mais detalhadas.

Profissionais de saúde e segurança no trabalho: Ao avaliar ambientes de trabalho e práticas, esses especialistas podem usar o ErgoMotion para identificar riscos potenciais e recomendar melhorias.

Treinadores de performance: Eles podem utilizar o *software* para analisar e melhorar a técnica de atletas, garantindo uma performance otimizada e reduzindo riscos de lesões.

Terapeutas ocupacionais: Trabalhando para ajudar pessoas com deficiências ou limitações a participar mais plenamente da vida cotidiana, eles podem usar o ErgoMotion para entender melhor as capacidades de movimento de seus pacientes e adaptar atividades ou ambientes, conforme necessário.

Bike Fitters: Especialistas em adaptar bicicletas aos seus usuários, garantindo o máximo conforto e eficiência. O ErgoMotion pode ser essencial para compreender a biomecânica da pedalada e fazer ajustes precisos na configuração da bicicleta.

Profissionais de tecnologia assistiva: Desenvolvem e adaptam recursos e estratégias para pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida, buscando otimizar sua independência e qualidade de vida.

Designers de produto: Profissionais que projetam e otimizam produtos para atender às necessidades dos usuários. Usando o ErgoMotion, eles podem validar e refinar seus *designs* com base na ergonomia e na biomecânica, garantindo produtos que se alinham melhor com a anatomia e a movimentação humana.

O ErgoMotion não é apenas uma ferramenta versátil para a análise do movimento humano, mas também uma plataforma programável e modular. Isso significa que ele pode ser adaptado e ajustado para atividades específicas, sendo inclusivo para profissionais não mencionados nesta lista, permitindo que os usuários definam valores para uma ergonomia ideal para essa atividade. Embora a Biblioteca de Cinesiologia possa servir como base para a interpretação de várias atividades, a biblioteca de *Bike Fit* (produto escolhido como exemplo de funcionamento) já incorpora interpretações mais refinadas, voltadas para bicicletas de competição.

5.3 REQUISITOS DO PROJETO

Dentro do vasto universo da biomecânica e ergonomia, os requisitos de um projeto desempenham um papel crucial para seu sucesso e aplicabilidade. Estabelecer critérios claros e objetivos nos permite, não apenas identificar limitações em ferramentas existentes, mas também moldar novas soluções que se alinham mais estreitamente com as demandas emergentes do campo.

Dentro desse contexto encontra-se o MHD desenvolvido por Brendler (2017), apesar de ser um avanço notável, possui certas limitações que impedem sua aplicação total.

O corpo humano, com suas diversas articulações, como: punho, cotovelo, ombro, coluna cervical, quadril, joelho e tornozelo - é capaz de realizar movimentos complexos e, muitas vezes, simultâneos. O HERIP, contudo, permite a visualização de apenas um movimento de cada vez para uma determinada articulação, o que pode não representar adequadamente a verdadeira complexidade dos movimentos humanos. Por exemplo, o punho pode realizar quatro conjuntos distintos de movimentos, enquanto algumas articulações, como as esferóideas, apresentam combinações ainda mais intrincadas.

Uma das limitações marcantes do HERIP é a sua usabilidade. Para manusear o *software* de maneira eficaz, é necessário que os usuários tenham um entendimento profundo sobre o funcionamento intrínseco do HERIP. Esta tarefa é dificultada pela falta de um manual de instruções. Ademais, a exigência de conhecimento sobre o software Blender adiciona um nível adicional de complexidade para os que desejam explorar ao máximo as funcionalidades do HERIP.

Em contraste, o *software* ErgoMotion, ao aproveitar a capacidade do *Kinect*® V.1 de reproduzir a captura de movimentos, oferece uma análise de movimentos articulares e consegue combinar diversos movimentos de forma simultânea, refletindo a naturalidade com a qual os movimentos humanos ocorrem. A introdução de uma representação tonal, gerada por programação orientada a objetos, que indica variações de conforto com base em estudos de cinesiologia e goniometria, posiciona o ErgoMotion como uma ferramenta que transcende algumas das limitações encontradas no HERIP. A seguir encontram-se os Requisitos Funcionais, Não-Funcionais, de Dados, de Interação, Limitações e Restrições de Validação e Teste do Sistema Proposto:

5.3.1 Requisitos funcionais:

Captura simultânea de movimentos articulares: O sistema deve ser capaz de registrar, se possível em tempo real, os movimentos de várias articulações simultaneamente, garantindo precisão nas análises de movimentos.

Representação visual tridimensional: Para garantir uma compreensão profunda do movimento, o software deve apresentar visualizações 3D dos movimentos capturados.

Interação com a animação: Linha do tempo e botão de pausa e *play*.

Visualização simultânea de múltiplas articulações: Profissionais e usuários devem ser capazes de observar e analisar o movimento de várias articulações simultaneamente.

Sinalizadores de conforto: Seguindo o exemplo do MHD HERIP, o *software* deve conter sinalizadores de conforto que representem, com cores diferentes, estágios do movimento, demonstrando isso em cada eixo possível, ou seja, X, Y e Z.

Biblioteca de cinesiologia: O *software* deve acessar e incorporar informações da biblioteca de cinesiologia para auxiliar na análise e interpretação dos movimentos, contendo todos os movimentos da literatura mensurados pelas técnicas de medição da goniometria.

Biblioteca específica de algum produto: Para validar o funcionamento, foi eleito um produto específico para análise. No caso desta pesquisa, foram contempladas as bicicletas de competição (*Bike Fit*).

Representação de faixa etária: Representações específicas de um recém-nascido, uma criança de 2 anos, uma de 7 anos e um adulto. Esta diversidade é fundamental para análises ergonômicas, considerando as alterações nas proporções corporais nas diferentes faixas etárias mencionadas.

Escala dos personagens: Para fins antropométricos e de possível captura de movimentos em tempo real, é fundamental que o modelo possa sofrer alterações de altura seguindo a literatura.

5.3.2 Requisitos Não-Funcionais:

Usabilidade: Tendo em mente as limitações percebidas no HERIP, o novo sistema deve ser mais intuitivo e fácil de usar, mesmo para aqueles sem experiência técnica.

Desempenho: O sistema deve operar em tempo real, processando rapidamente os dados capturados para oferecer *feedback* imediato ao usuário.

Portabilidade: O *software* deve ser desenvolvido de forma a ser compatível com os sistemas operacionais mais comuns. Inicialmente, será desenvolvido para computadores com *Microsoft® Windows*, atualmente o sistema operacional mais utilizado.

5.3.3 Requisitos de dados:

Armazenamento de padrões de movimento: O sistema deve armazenar, eficientemente, os padrões de movimento, inicialmente as bibliotecas de Cinesiologia e *Bike Fit*.

Armazenamento de animações: Botão de *Upload* para análises não feitas em tempo real, permitindo que capturas de movimentos realizadas em outros ambientes ou até mesmo por meios de captura de movimento mais modernos sejam analisados dentro do software.

Integração de dados de movimento com a escala tonal: Conforme os movimentos são capturados e analisados, o sistema deve cruzar esses dados com a escala tonal de cores, facilitando a avaliação do conforto e amplitude do movimento.

5.3.4 Requisitos de interação:

Interface gráfica amigável: A interface do *software* deve ser projetada para ser visualmente atraente e fácil de navegar.

Interação dinâmica com visualizações 3D: Os usuários devem poder interagir diretamente com as visualizações tridimensionais, rotacionando, ampliando ou movendo conforme necessário.

5.3.5 Limitações e restrições:

As análises fornecidas pelo *software* serão restritas aos parâmetros e amplitudes fornecidos pela Biblioteca de Cinesiologia de Thompson e Floyd (2016), pelo Manual de Goniometria de Marques (2003) e por informações fornecidas por Burt (2022) em parceria com a empresa RETÜL, sobre *Bike Fit*.

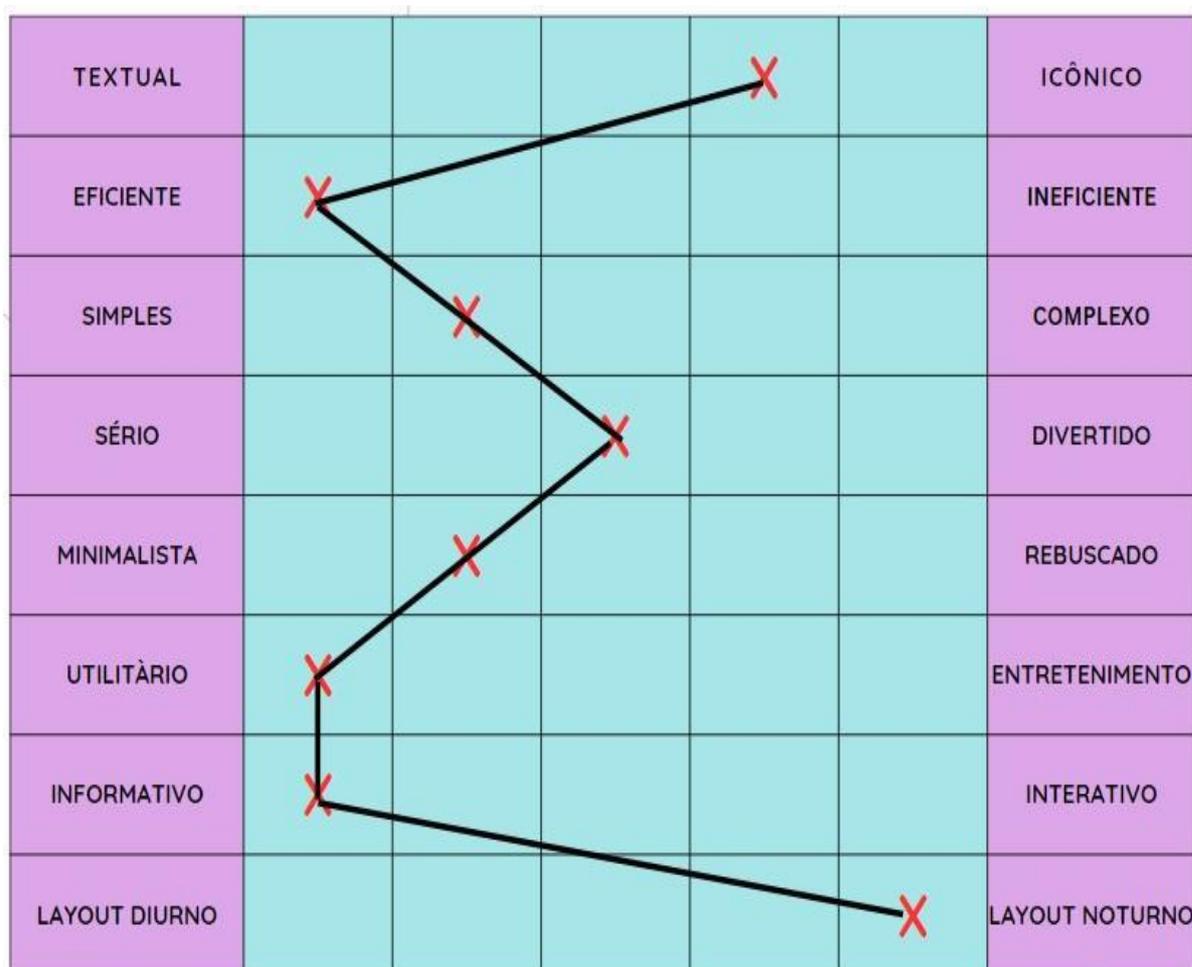
5.3.6 Requisitos de validação e teste:

Comparação das amplitudes medidas por um goniômetro de duas hastes com teste virtual.

5.4 ESCALA DO DIFERENCIAL SEMÂNTICO

Segundo Rogers, Sharp e Preece (2013), a escala permite explorar uma faixa de atitudes bipolares sobre um item particular. Cada par de atitudes é representado por um par de adjetivos, como "Simples - Complexo" ou "Intuitivo - Confuso". A Figura 63 foi desenvolvida de forma análoga ao proposto por Meurer e Szabluk (2011), que salienta a importância de avaliar a percepção dos usuários de maneira objetiva e abrangente.

Figura 63 – Escala de diferencial semântico.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

5.5 ESPECIFICAÇÕES DE PROJETO

A etapa final do planejamento informacional envolve estabelecer as especificações do projeto. Os requisitos para o projeto foram delineados de forma sucinta para assegurar uma fácil integração com o desenvolvimento do projeto. Neste ponto, é imperativo que essas especificações sejam elaboradas de maneira mais profunda para facilitar a compreensão tanto da equipe quanto dos usuários finais. Deve-se, também, identificar os métodos de validação e quaisquer riscos associados (BACK *et al.*, 2008).

De acordo com Back *et al.* (2008, p. 240): "Especificações de projeto são parâmetros que precisam ser tangíveis, avaliáveis e alcançáveis". Uma especificação válida é aquela que pode ser confirmada, seja por inspeção, análise, testes práticos ou apresentações demonstrativas. Tais especificações devem ser viáveis do ponto de vista técnico e alinhadas ao orçamento estipulado, cronograma e demais limitações (BACK *et al.*, 2008).

A formulação das especificações deve ser direta e de fácil compreensão, evitando ambiguidades ou mal-entendidos e deve usar sentenças objetivas, empregando verbos como "ser", "possuir" ou "conter", seguidos de seus respectivos objetos. Sentenças extensas e prolixas devem ser evitadas, já que podem abranger múltiplos critérios ou requisitos (BACK *et al.*, 2008) e. As especificações detalhadas deste estudo são apresentadas no Quadro 07.

Quadro 7: Especificações do software ErgoMotion.

(Continua)

Classificação	Requisitos de projeto	Descrição das especificações	Modo de verificação	Possíveis riscos
1	<i>Feedback</i> ao usuário.	Prover <i>feedback</i> claro das ações do usuário no <i>software</i> .	Prover <i>feedback</i> claro das ações do usuário no <i>software</i> .	<i>Feedback</i> falho.

Quadro 7: Especificações do software ErgoMotion.

(Continuação)

Classificação	Requisitos de projeto	Descrição das especificações	Modo de verificação	Possíveis riscos
2	Interface Intuitiva.	Desenvolver uma interface gráfica que seja fácil de usar e compreender.	Teste com os usuários.	Complexidade excessiva na navegação.
3	Cores e Design.	Priorizar cores e designs que otimizem a experiência de visualização.	Análise visual.	Escolha inadequada de paleta de cores.
4	Integração <i>Kinect V1</i> .	Garantir compatibilidade e precisão na captura de movimentos.	Análise técnica	Falhas na captação de movimento.
5	Representação de Movimento.	Utilizar representações visuais claras para diferentes movimentos e posturas.	Teste com os usuários.	Falha na clareza da representação
6	Simulador de Ergonomia.	Integrar dados e pesquisas para ajustes ergonômicos.	Validação técnica.	Falha no alinhamento ergonômico.

Quadro 7: Especificações do software ErgoMotion.

(Conclusão)

Classificação	Requisitos de projeto	Descrição das especificações	Modo de verificação	Possíveis riscos
7	Ambientes 3D.	Desenvolver ambientes virtuais detalhados e realistas.	Teste visual.	Problemas de renderização.
8	Ícones Descritivos.	Desenhar ícones que sejam intuitivos e representem adequadamente suas funções no <i>software</i> .	Análise visual.	Falha na interpretação dos ícones.
9	Ferramentas de Análise.	Oferecer ferramentas que permitam a simulação, análise dos movimentos.	Teste com profissionais.	Falha na precisão das ferramentas.
10	Recursos Educacionais.	Fornecer materiais educativos sobre movimentos e posturas.	Validação com especialistas.	Conteúdo educativo insuficiente.

Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

6. DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO

O design, em sua essência, é uma fusão intrincada entre ciência e arte. No cerne de qualquer projeto de design reside a aplicação meticulosa de princípios científicos e técnicos, enriquecida pela imaginação e criatividade do designer. Back *et al.* (2008) definem projeto de design como o "uso de princípios científicos, informações técnicas e imaginação na definição de estruturas, máquinas ou sistemas para desempenhar funções pré-especificadas com máxima economia e eficiência". Este capítulo busca explorar o desenvolvimento do ErgoMotion, uma ferramenta ergonômica, alavancando esse ethos do design. Aqui, detalharemos como os princípios e especificações delineados no capítulo anterior são transformados em um artefato funcional, enfatizando o processo técnico e as decisões de design que foram tomadas ao longo do caminho.

6.1 DESENVOLVIMENTO DA BIBLIOTECA DE CINESIOLOGIA

A avaliação dos Modelos Humanos Digitais (MHDs) no cenário da biomecânica e ergonomia foi crucial para discernir sua aplicabilidade e eficácia. Em uma revisão preliminar da literatura, vários MHDs foram analisados. O MHD HERIP foi selecionado por ser uma produção já existente do grupo de pesquisa do pesquisador.

O BoB *Biomechanics*, por sua vez, foi incorporado após a disponibilidade de uma versão gratuita disponibilizada pela Universidade de Coventry, Reino Unido. Complementarmente, vídeos dos MHDs *AnyBody* e *OpenSim*, desenvolvido pelo *Stanford National Institute of Health Center* para Computação Biomédica, também foram consultados.

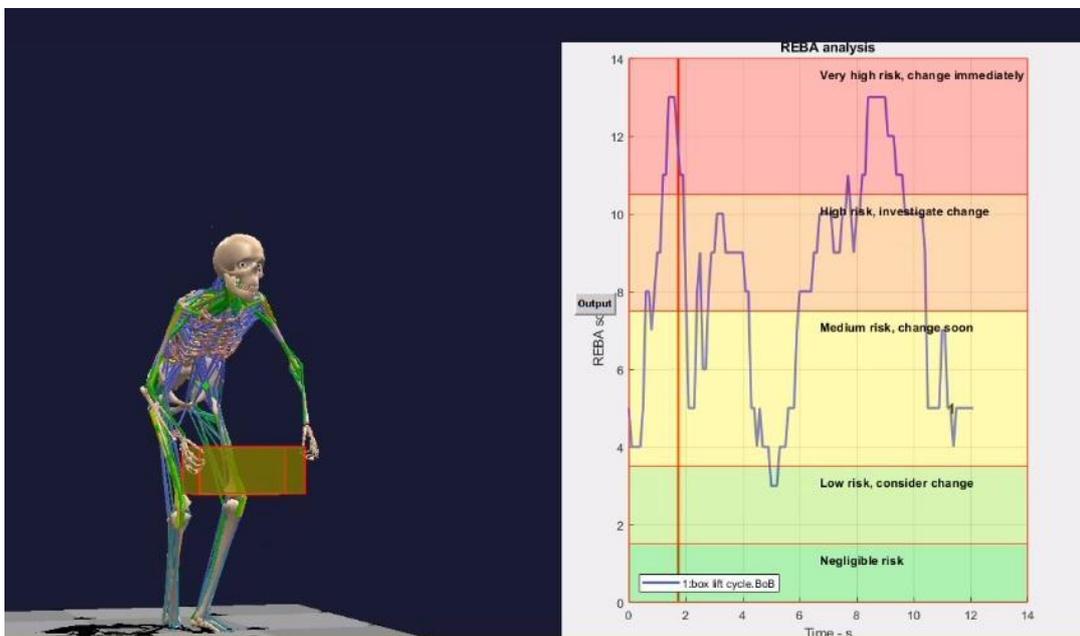
Essa análise literária indica que os últimos três MHDs representam o ápice na literatura acadêmica para avaliações ergonômicas e biomecânicas virtuais. Uma observação recorrente é a sua caracterização como modelos musculoesqueléticos digitais, ilustrando ossos e músculos sem as camadas superficiais como epiderme, derme e hipoderme. Adicionalmente, a complexidade desses softwares é evidente, necessitando treinamento especializado. A barreira do idioma inglês e as taxas em dólares apresentam-se como obstáculos para profissionais e pesquisadores brasileiros. Em relação ao MHD HERIP, as pesquisas de Brendler (2017) adotam um esquema de cores, onde o verde representa estados neutros e confortáveis e o

vermelho denota desconforto, seguindo diretrizes literárias e as variações do manual de goniometria de Amélia Pasqual Marques (2003).

O MHD, desenvolvido por Shippen e May (2016), introduz métodos de avaliação ergonômica, como o REBA. Os riscos são representados por uma paleta de cores: verde para risco insignificante, verde claro para risco baixo, amarelo para risco médio, laranja para risco alto e vermelho para risco muito alto (Figura 64). A pesquisa também apresenta a equação revisada do NIOSH com um gráfico ilustrativo do peso recomendado (Figura 65). Além disso, permite análises com base no RULA, categorizando os riscos como: verde (aceitável), verde claro (requer investigação), laranja (necessidade de alterações) e vermelho (mudar imediatamente) (Figura 66).

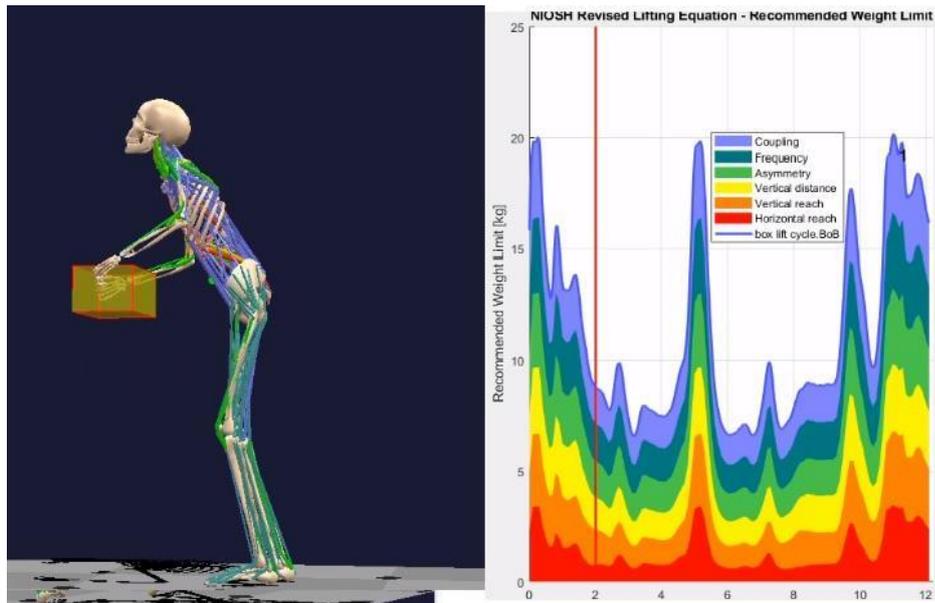
Adicionalmente, o MHD utiliza tecnologias de captura de movimento para avaliações mais precisas e em tempo real. Sensores de movimento coletam dados automaticamente, reduzindo o tempo necessário para avaliações manuais e aumentando a precisão. Essa abordagem melhora a eficiência das análises ergonômicas e facilita a criação de simulações digitais, prevendo o impacto de diferentes posturas e movimentos no corpo humano. Assim, o MHD se torna uma ferramenta eficaz para identificar e mitigar riscos ergonômicos, promovendo ambientes de trabalho mais seguros e saudáveis.

Figura 64 – BoB *Biomechanics* - Análise REBA.



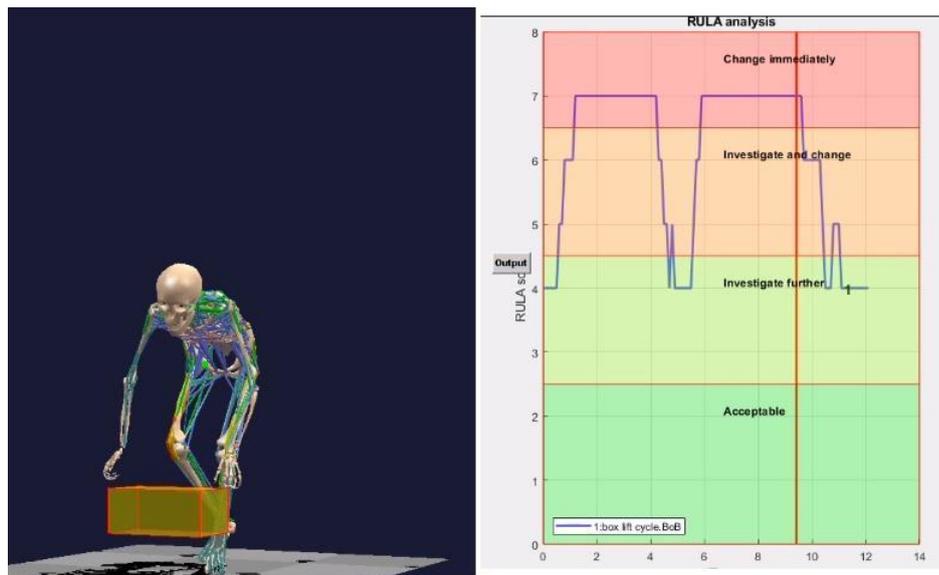
Fonte: BOB *BIOMECHANICS*, 2023. Disponível em: <https://www.bob-biomechanics.com/bob-4-ergo/>.

Figura 65 – BoB *Biomechanics* - Análise NIOSH.



Fonte: BOB BIOMECHANICS, 2023. Disponível em: <https://www.bob-biomechanics.com/bob-4-ergo/>.

Figura 66 – BoB *Biomechanics* - Análise RULA.



Fonte: BOB BIOMECHANICS, 2023. Disponível em: <https://www.bob-biomechanics.com/bob-4-ergo/>.

Após uma análise inicial, emergiu uma ideia distinta das abordagens anteriores: a de integrar as classificações de risco dos modelos REBA e RULA com os

indicadores de conforto do MHD HERIP. Neste estágio da pesquisa, a fundamentação teórica delineada no capítulo 2 provou ser fundamental. Tornou-se imperativo entender detalhadamente a capacidade e o funcionamento do *Microsoft® Kinect*, especialmente no que diz respeito às articulações que este equipamento pode rastrear.

Com base nos trabalhos de Thompson e Floyd (2016), conseguiu-se uma compreensão aprofundada dos movimentos do corpo humano e da maneira ideal de representá-los. Para avaliar e quantificar esses movimentos, recorreu-se aos critérios estabelecidos por Thompson e Floyd, destacando as contribuições de Amélia Pascal Marques (2003) em seu manual de goniometria. Esta abordagem interdisciplinar visa melhorar a precisão e a relevância das análises ergonômicas e biomecânicas usando MHDs, tornando assim mais intuitiva a compreensão por parte dos usuários do software.

Ao explorar a condução de análises ergonômicas por meio de representações cromáticas, identificou-se uma necessidade imperativa de escolher o *hardware* ideal para a captura de movimentos. Inicialmente, optou-se pelo Arduino Uno, que detectava ângulos nas coordenadas X, Y e Z com o auxílio de um sensor integrado, composto por acelerômetro e giroscópio.

Entretanto, com a integração do sensor *Microsoft® Kinect®* ao experimento, notou-se uma melhoria substancial na eficiência do processo. Essa adaptação metodológica, não só agilizou a coleta de dados, mas também evidenciou as vantagens intrínsecas do *Kinect®*, destacando-se, principalmente, sua precisão e praticidade.

Contudo, é importante mencionar que o *Kinect®* apresenta certas limitações ao tentar registrar movimentos mais delicados, como os executados pelos dedos das mãos e pés. Por essa razão, as articulações focadas e analisadas no estudo restringiram-se a: punhos, cotovelos, ombros, região cervical, lombar, quadris, joelhos e tornozelos.

Além disso, para uma análise desobstruída, onde os movimentos não são impedidos ou escondidos pelo próprio corpo, é aconselhável o uso de múltiplos sensores, simultaneamente. O ideal seriam quatro dispositivos. No entanto, devido às restrições orçamentárias, o projeto fez uso da versão gratuita do *software Ipi Soft®*, que serve como intermediário para as capturas de movimentos. Esta versão permite o uso simultâneo de apenas dois *Kinects®* no período gratuito de 30 dias.

Após a determinação das articulações de interesse, o passo seguinte foi identificar os movimentos associados a cada uma delas. Para isso, a pesquisa se aprofundou nas interpretações sobre cinesiologia presentes nas obras de Thompson e Floyd (2016). Essa investigação levou à identificação de 42 movimentos potenciais. No entanto, alguns destes movimentos foram excluídos da avaliação final. Por exemplo, movimentos relacionados à escápula e à coluna cervical torácica foram omitidos, não por limitações do *Kinect®*, mas devido à falta de definições claras sobre suas amplitudes na literatura revisada. De maneira similar, movimentos compostos, como a circundução dos ombros, também foram descartados, pois consistem em combinações de outros movimentos, tornando sua análise isolada potencialmente redundante ou menos relevante.

Usando um *tablet*, uma caneta *touch* e o *software Autodesk Sketchbook*, o pesquisador se dedicou a representar visualmente os movimentos identificados na literatura de cinesiologia. Para maior clareza e organização, ele categorizou cada movimento em seis graus distintos. Nos casos em que os movimentos resultaram em uma dízima periódica, eles foram arredondados. Cada grau foi atribuído a uma cor diferente, baseando-se nas amplitudes detalhadas pela literatura de goniometria.

As ilustrações podem ser mais bem compreendidas por meio das figuras correspondentes:

Figura 67: Movimentos dos punhos. Aqui, são explorados os movimentos de abdução, adução, extensão e flexão do punho, que são fundamentais para muitas atividades diárias e funções manuais.

Figura 68: Movimentos dos cotovelos. Esta ilustração apresenta os movimentos de extensão, flexão, pronação e supinação do cotovelo, destacando sua importância na mobilidade do braço.

Figura 69: Movimentos dos ombros. A complexidade do ombro é representada com movimentos de abdução, adução, abdução horizontal, adução horizontal, extensão, flexão, rotação lateral e rotação medial. O movimento de circundução, embora importante, foi omitido do software por ser considerado redundante, por compilar vários dos movimentos listados.

Figura 70: Movimentos da coluna vertebral cervical. Esta região, vital para a mobilidade da cabeça, engloba os movimentos de extensão, flexão, flexão lateral e rotação unilateral.

Figura 71: Movimentos da coluna vertebral lombar. A base da nossa coluna, responsável por muitas das nossas ações de torção e inclinação, tem movimentos de extensão, flexão, flexão lateral e rotações.

Figura 72: Movimentos dos quadris. Esta junção crucial no nosso esqueleto possui movimentos de abdução, adução, extensão, flexão, rotação medial e rotação lateral.

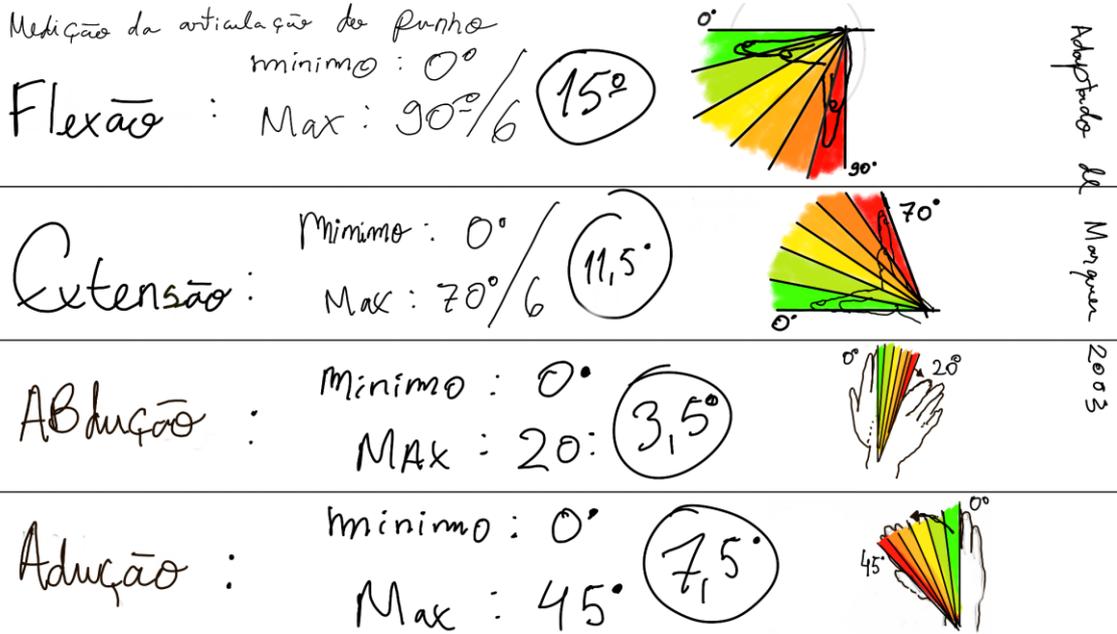
Figura 73: Movimentos dos joelhos. Os joelhos têm movimentos de extensão, flexão, rotação lateral e rotação medial.

Figura 74: Movimentos dos tornozelos. Os tornozelos, tão essenciais para nossa locomoção, possuem movimentos de abdução, adução, bem como flexão e extensão - comumente referidos como dorsiflexão e flexão plantar.

Estas representações visuais não apenas fornecem um guia gráfico para o entendimento dos movimentos, mas também reforçam a complexidade e a diversidade dos movimentos que nosso corpo é capaz de realizar.

Observa-se, também, uma aplicabilidade prática dos conceitos angulares para o design ergonômico. Conforme discutido na fundamentação teórica, a inclinação dos tampos de mesa em um ângulo de 10° oferece vantagens significativas para tarefas como leitura e escrita. Esta inclinação específica resulta em uma diminuição aproximada de 9° na flexão cervical. Dessa forma, no *software* ErgoMotion, um movimento de flexão da cervical de 10 graus, representado pela cor verde clara, é identificado como o ângulo ideal para uma estação de estudos. Esta perspectiva, quando ampliada, permite adaptações customizadas para diversas atividades, sempre baseadas na identificação do ângulo ideal para cada situação e a sua respectiva cor na biblioteca de cinesiologia.

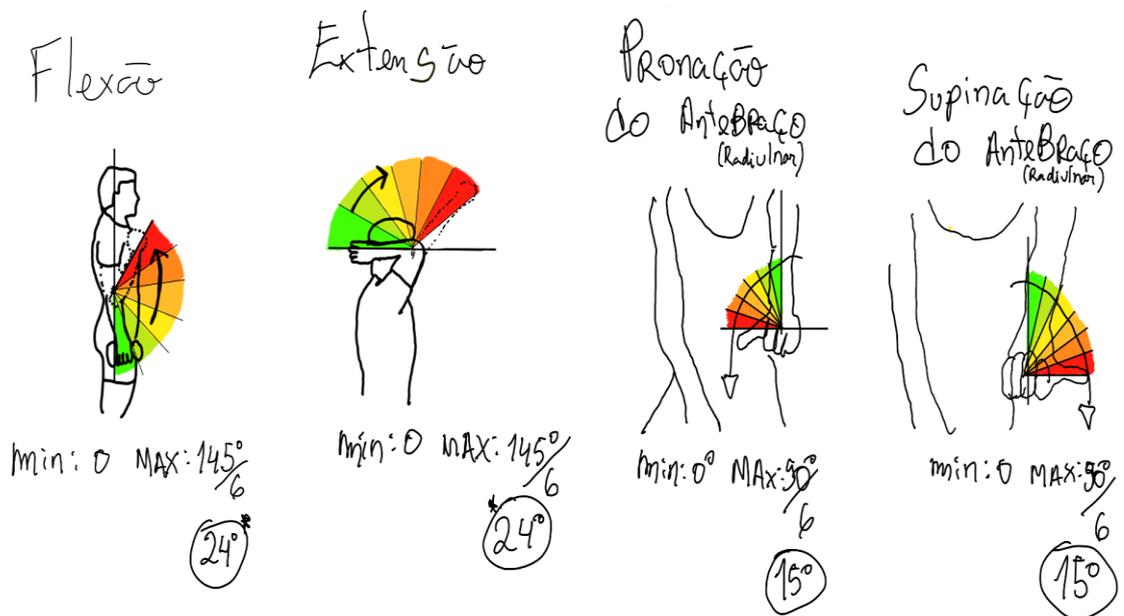
Figura 67 - Movimentos dos punhos.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

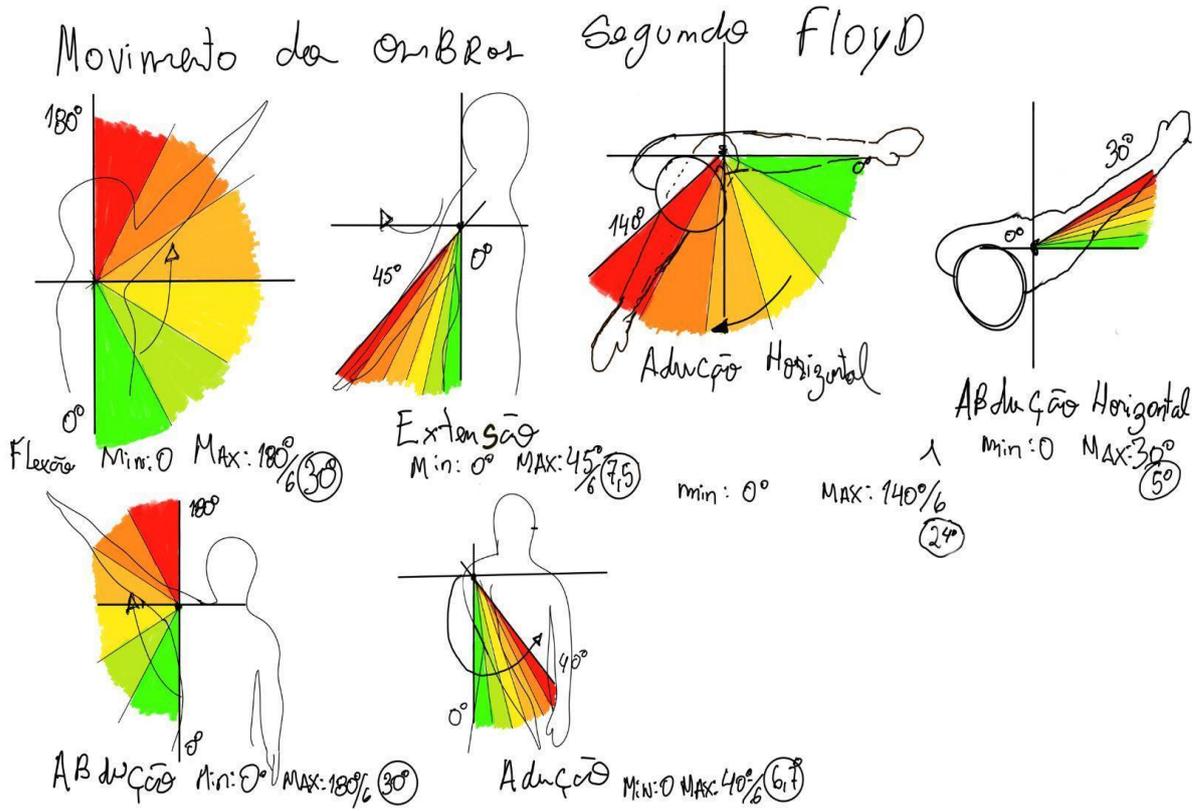
Figura 68 - Movimentos dos cotovelos.

Movimentos do Cotovelo Marques e Floyd



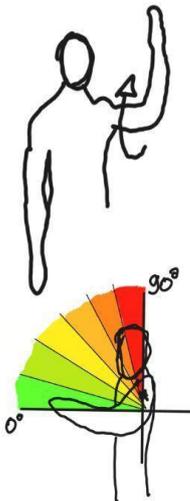
Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Figura 69 - Movimentos dos ombros.



Movimentos do ombro Segundo Floyd e Marques

Rotação lateral
min: 0° Max: 90°/6 (15)



Rotação medial
min: 0° Max: 70°/6 (11,6)



Circundação
min: 0° Max: 360°/6 (60)

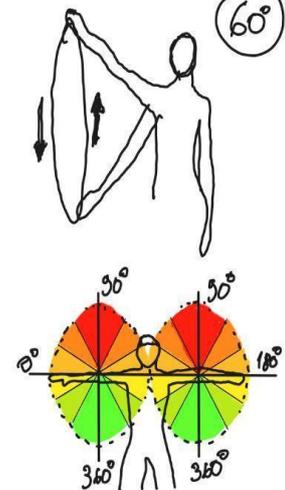
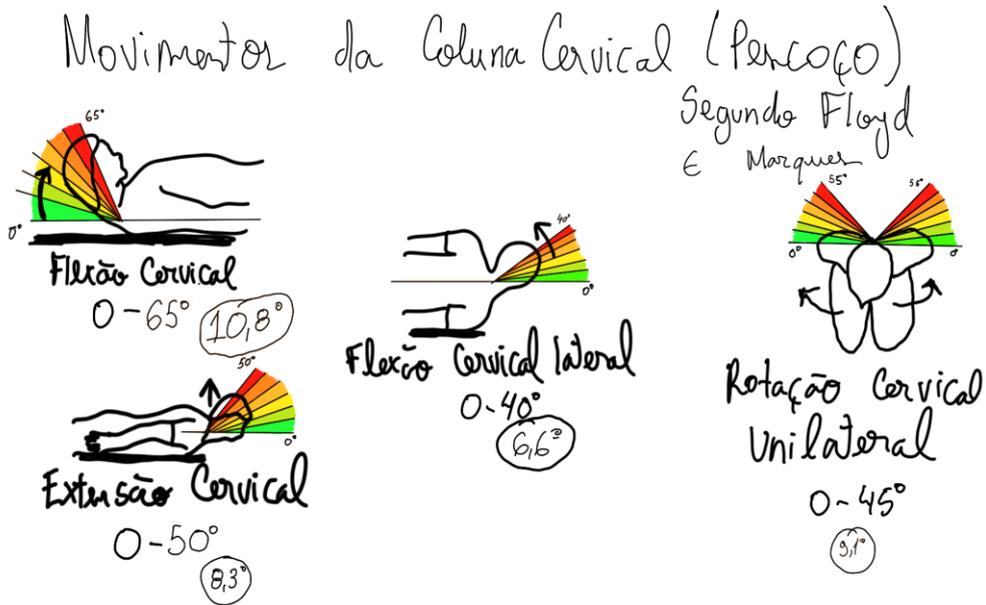
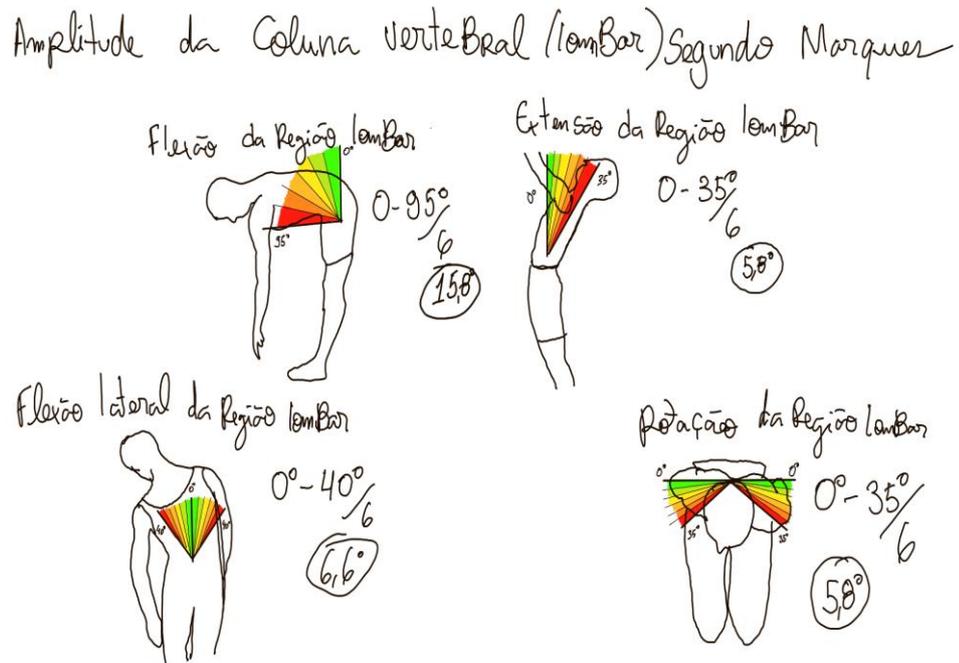


Figura 70 - Movimentos da coluna vertebral cervical.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

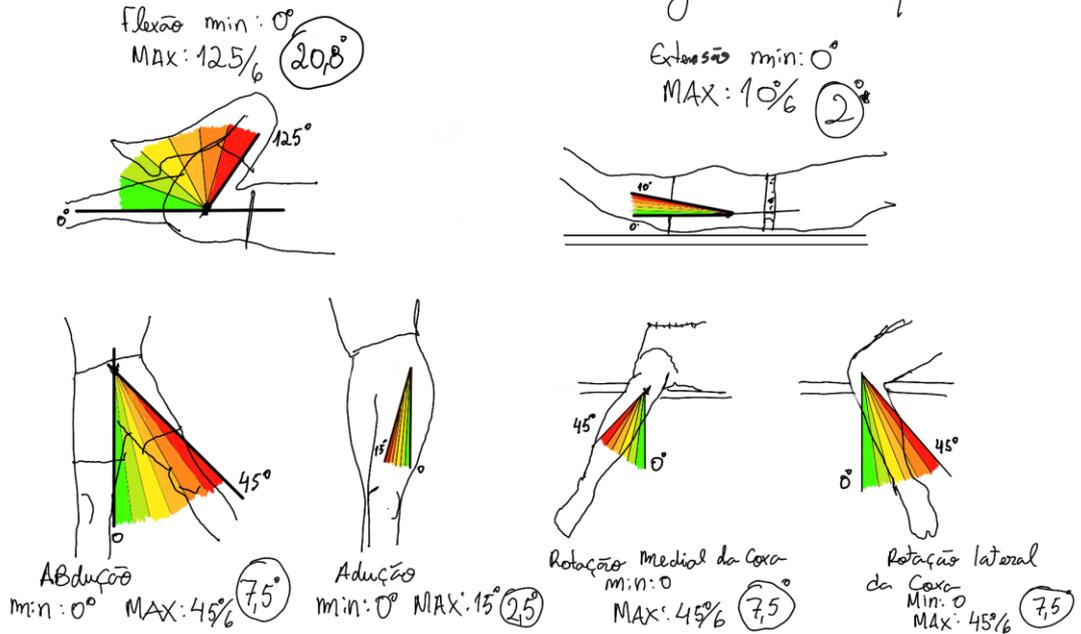
Figura 71 - Movimentos da coluna vertebral lombar.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Figura 72 - Movimentos dos quadris.

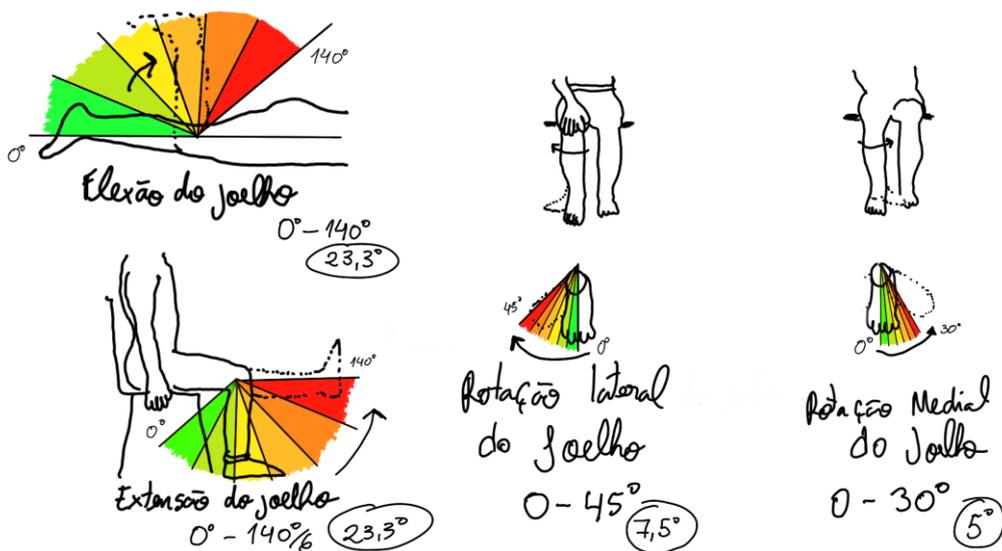
Amplitude do Quadril/Perna Segundo Marques



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

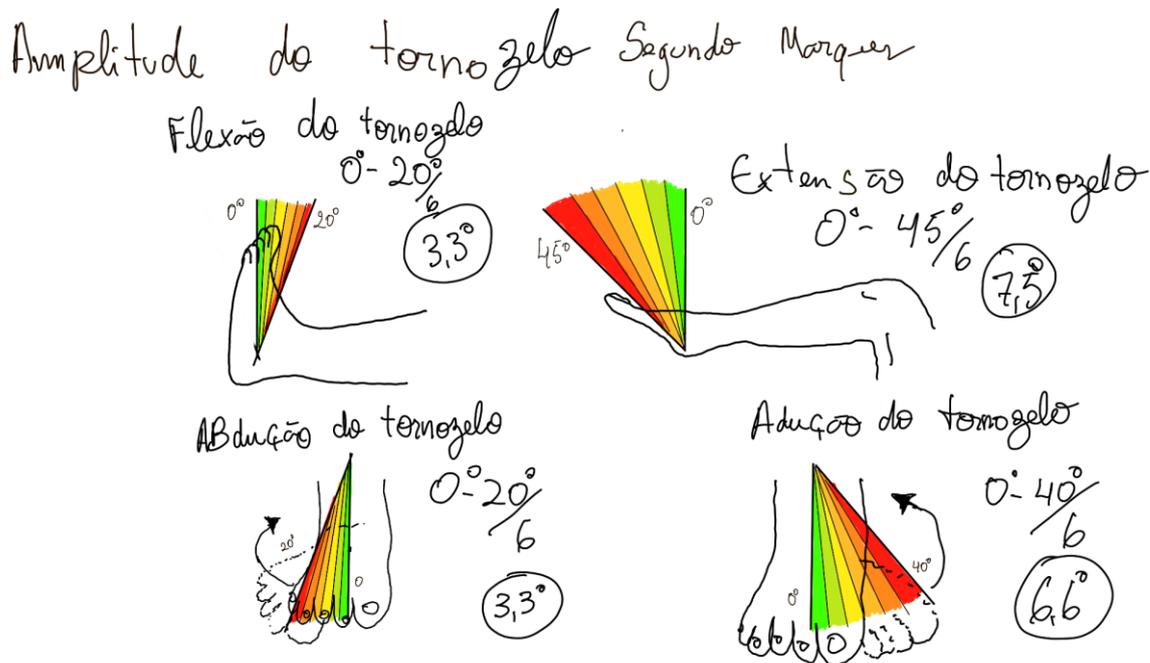
Figura 73 - Movimentos dos joelhos.

Movimentos do joelho Segundo Floyd e amplitude segundo Marques



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Figura 74 - Movimentos dos tornozelos.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

6.2 DESENVOLVIMENTO DA BIBLIOTECA DE *BIKE FIT*.

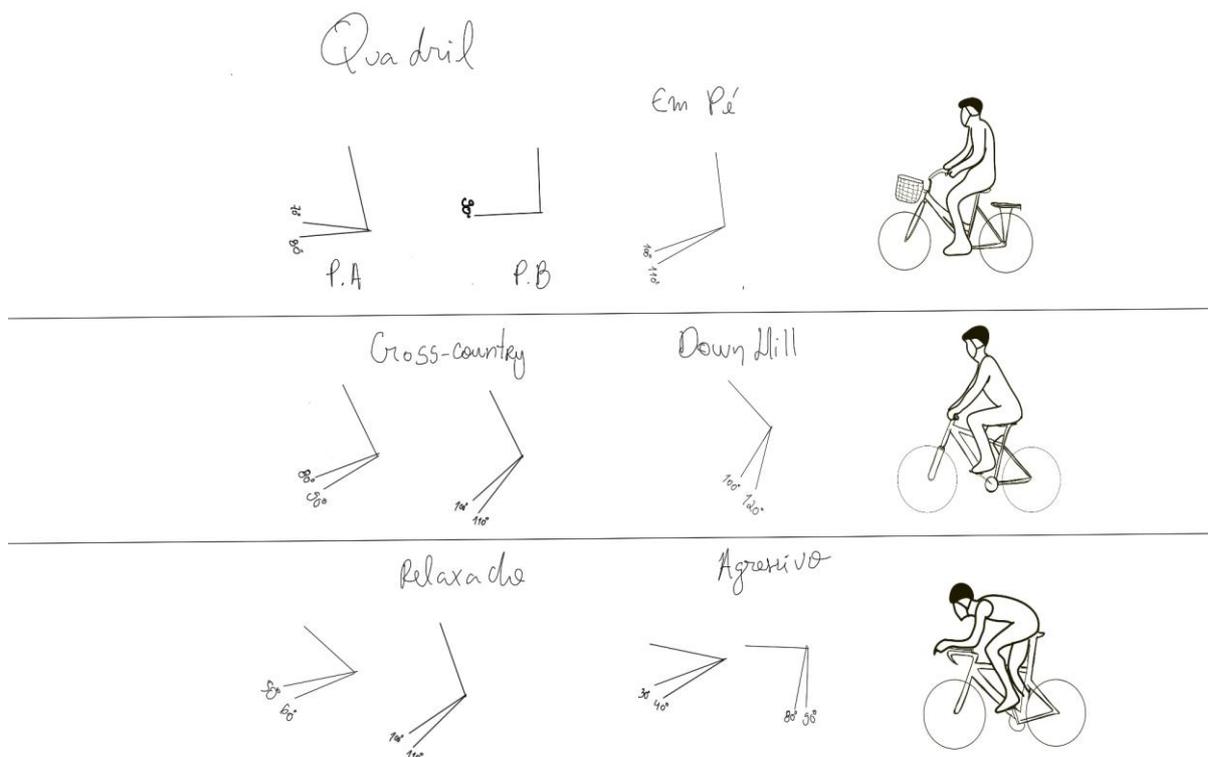
Dentro do panorama de entender e interpretar movimentos, evidenciou-se a importância crescente da pesquisa em ergonomia e biomecânica no universo do ciclismo. O mapeamento dos movimentos humanos, destacado na biblioteca de cinesiologia, mencionada anteriormente, trouxe à tona a essencialidade de dar propósito prático a esse vasto conhecimento. Com uma perspectiva aprimorada sobre a mecânica humana e instrumentos como a goniometria à disposição, emergiu o desafio de transformar essas informações em aplicações tangíveis. Foi nesse contexto que o universo do ciclismo e o conceito de "*bike fit*" se delinearam como campos promissores de estudo. Neste ponto inicial de nossa análise, apresentamos representações gráficas detalhadas que categorizam os movimentos biomecânicos em bicicletas competitivas, demarcando, de forma quantitativa, e atribuindo valores qualitativos por meio de cores nos respectivos níveis de esforço. Estas ilustrações são fundamentais para uma compreensão mais aprofundada das dinâmicas de movimento inerentes ao ciclismo de alto rendimento.

O estudo inicial no campo do ciclismo evidenciou a vasta diversidade de modalidades existentes. As "Dutch Bikes", frequentemente citadas na literatura como "Ladies Bike" ou bicicletas urbanas, são bicicletas com um design tradicional que promove uma postura ereta (lombar próxima dos 90°), e ombros relaxados, ideais para percursos urbanos. Já as bicicletas de triathlon são projetadas para alta performance, com ênfase na aerodinâmica, para maximizar a velocidade em competições.

Além destas, existem categorias mais específicas como as bicicletas de montanha, projetadas para terrenos irregulares como o "Downhill", e as bicicletas BMX, que são feitas para manobras em pistas especializadas.

Com esta variedade de modalidades, ficou claro que uma análise detalhada dos ângulos ergonômicos para cada tipo de bicicleta seria fundamental. Essa primeira análise é apresentada na Figura 75, onde são destacados os ângulos ideais dos quadris em diferentes modalidades.

Figura 75 - Estudo inicial sobre Bike Fit.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

A heterogeneidade encontrada nas modalidades ciclísticas exigiu uma investigação literária criteriosa para determinar os ângulos de postura ideais para cada tipo de bicicleta. Notavelmente, a literatura revelou inconsistências nestas recomendações. Enquanto certos consensos emergiram, particularmente no que diz respeito à postura lombar, discrepâncias significativas foram identificadas em outros aspectos. Além disso, as variáveis antropométricas, que divergem conforme a região, introduziram mais complexidade ao cenário. Por exemplo, padrões de altura e proporções corporais apresentaram diferenças marcantes entre estudos originários da China, Brasil e Estados Unidos.

Independentemente da estatura do ciclista, seja ela de 1,90 m ou 1,50 m, e sem distinção de gênero ou morfologia corporal, uma extensão do joelho que ultrapasse 150 graus durante atividades prolongadas pode predispor a complicações articulares. Está assertiva é respaldada por Asplund e St Pierre (2004). Eles postulam que um selim excessivamente elevado pode conduzir a uma extensão do joelho além de 150 graus, potencialmente irritando o trato iliotibial (ITB). Contrariamente, um selim muito baixo pode intensificar o estresse no joelho, afetando adversamente os tendões patelares e quadríceps. Portanto, a determinação correta da altura do selim é imperativa para mitigar forças deletérias no joelho e prevenir futuras complicações articulares (ASPLUND, ST PIERRE, 2004). Destaca-se que os procedimentos de aferição angular são independentes de variáveis antropométricas, ratificando a viabilidade de integração de sensores de movimento, como o *Kinect*, em pesquisas biomecânicas sem exigir medições corporais detalhadas.

Dadas as complexidades e divergências encontradas na literatura sobre os ângulos articulares ideais para ciclismo, buscava-se uma referência sólida que harmonizasse a performance do atleta com a prevenção de lesões. Esta lacuna foi preenchida com o acesso ao livro "*Bike Fit: Optimise Your Bike Position for High Performance and Injury Avoidance*", de Phil Burt (2022). Esta obra, fruto da colaboração com a empresa *RETÚL*, posicionou-se como um pilar crucial na pesquisa de *Bike Fit*. Burt estabeleceu ângulos ideais para diversas modalidades de bicicletas competitivas, incluindo *Road Bikes*, *Mountain Bikes*, *Time Trial* e *Triathlon*. Com tais diretrizes em mãos, o foco da pesquisa se concentrou nos ângulos que podemos encontrar no Quadro 1 desta tese.

A identificação de um "ponto ideal" para as articulações foi uma constatação notável, demonstrando que diferentes articulações possuem margens de tolerância

distintas. Por exemplo, enquanto a articulação do cotovelo pode acomodar variações de até 20 graus em algumas posições, outras articulações são mais restritivas, tolerando variações de apenas 5 graus sob certas condições.

Para facilitar a compreensão dessas nuances, adotou-se uma abordagem visual. Utilizando ferramentas como um *tablet*, caneta *touch* e o *software Autodesk Sketchbook*, a pesquisa se concentrou na transposição das especificações teóricas para representações gráficas intuitivas. Esta estratégia visava comunicar de forma clara e educativa os conhecimentos obtidos da literatura especializada em *Bike Fit* e, mais tarde, essas ilustrações também se tornaram *sprites* (ícones UI do *software ErgoMotion*, para selecionar o movimento que será analisado).

A elaboração dessas representações gráficas foi ancorada nos princípios da cinesiologia. Por exemplo, ao ilustrar o ângulo do cotovelo, este foi representado por sua capacidade de extensão, enquanto a dinâmica do ombro foi articulada através do conceito de flexão, seguindo uma abordagem análoga aos movimentos da região lombar e do quadril. No caso dos joelhos, a narrativa foi ligeiramente mais complexa, capturando tanto a flexão (quando o pedal se encontra em sua posição mais alta (12H) quanto a extensão, (quando atinge seu ponto mais baixo (6H)).

Ao refinar a linguagem destas visualizações para se alinhar mais estreitamente com os termos comuns do *Bike Fit*, ocorreram adaptações terminológicas. Por exemplo, "flexão" e "extensão" deram lugar a "Dorsiflexão" e "Flexão Plantar". Outra camada de sofisticação foi a incorporação da cor como ferramenta interpretativa. Optou-se pelo verde para simbolizar o equilíbrio ideal (um meio-termo entre performance competitiva e conforto). Quando este equilíbrio é perturbado, a paleta cromática muda progressivamente: passando pelo amarelo, avançando para o laranja e culminando no vermelho, cada tonalidade representando graus variados de desvio do movimento ideal.

No processo de visualização, empregamos uma abordagem cromática para elucidar os movimentos biomecânicos e suas respectivas variações em relação à postura ideal. O esquema cromático opera analogamente a um semáforo: o verde simboliza a postura biomecanicamente ótima, o amarelo sugere uma necessidade de cautela ou uma leve variação, o laranja indica uma divergência, e o vermelho destaca posturas potencialmente prejudiciais.

Para articulações como cotovelos e ombros, o posicionamento cromático central com o verde indica a biomecânica ideal, sendo circundado por tonalidades que

representam desvios dessa norma. Esta representação destaca a neutralidade e equilíbrio da postura correta.

Por outro lado, para as articulações dos joelhos e tornozelos, o esquema é ligeiramente modificado. O verde, representando o movimento biomecânico ideal, é posicionado em uma das extremidades, dependendo da direção do movimento. As tonalidades subsequentes, transicionando para o amarelo, laranja e eventualmente vermelho, denotam graduações de desvio da biomecânica ideal. Esta abordagem cromática serve não apenas como uma ferramenta visual intuitiva, mas também como um mecanismo pedagógico, facilitando a compreensão e interpretação dos dados biomecânicos no contexto do *Bike Fit*.

As imagens a seguir exemplificam claramente a interação dessas cores e movimentos, proporcionando um entendimento visual das nuances do *Bike Fit*.

Na Figura 76, é destacada a variação angular referente à extensão do cotovelo em diferentes modelos de bicicletas. No contexto das bicicletas *Mountain Bike* (MTB), observa-se uma extensão do cotovelo que varia entre 150 e 170 graus. Esta amplitude é coerente com a posição natural que estas bicicletas requerem, permitindo ao ciclista uma postura mais ereta e uma condução versátil em terrenos variados.

Similarmente, as bicicletas do tipo *Road Bike* apresentam uma extensão angular semelhante, variando entre 150 e 170 graus. Apesar de serem bicicletas projetadas para estradas, é evidente que a ergonomia prioriza uma postura relativamente neutra, sem comprometer a aerodinâmica (obviamente o ciclista pode se abaixar para ter mais aerodinâmica em uma descida, então nesse caso a avaliação é um momento relaxado e não agressivo).

Em contraste, as bicicletas para *Triathlon* e as bicicletas *Time Trial* exibem uma notável redução na extensão do cotovelo. Ambos os modelos apresentam um ângulo de extensão entre 90 e 100 graus. Esta postura, caracteristicamente mais aerodinâmica, enfatiza a minimização do arrasto, permitindo ao atleta uma performance otimizada em condições de corrida. A natureza fechada destes ângulos reflete a necessidade de manter o corpo do ciclista em uma posição mais agachada e aerodinâmica, maximizando a eficiência e a velocidade nas competições.

Figura 76 - Ângulos ideais para as articulações dos cotovelos.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Na Figura 77, a análise volta-se para os ângulos ideais dos ombros em diferentes tipos de bicicletas. Esses ângulos, detalhadamente descritos por Phil Burt, são fundamentais para entender a ergonomia e o posicionamento ideal do ciclista em relação ao guidão da bicicleta.

Começando pelas bicicletas *Mountain Bike* (MTB), o ângulo formado da axila até o cotovelo, conforme descrito por Burt, varia entre 75 e 80 graus. Esta amplitude permite ao ciclista uma postura mais flexível e adaptável, ideal para os terrenos irregulares e desafios associados a esse tipo de ciclismo.

Em seguida, as bicicletas *Road Bike* exibem um ângulo um pouco mais aberto, posicionando-se exatamente em 90 graus da axila até o punho. Esta configuração é coerente com a necessidade de equilibrar a aerodinâmica e o conforto em longas distâncias percorridas em estradas.

As bicicletas para *Triathlon*, por outro lado, apresentam uma postura mais inclinada. O ângulo do ombro, da axila até o cotovelo, situa-se entre 70 e 75 graus. Esta designação reflete o compromisso entre eficiência aerodinâmica e resistência durante as longas etapas de ciclismo em competições de *Triathlon*.

Finalmente, para as bicicletas *Time Trial* (TT), a aerodinâmica é ainda mais acentuada. O ângulo ideal, segundo Burt, situa-se entre 75 e 80 graus da axila até o cotovelo. A posição agachada e acentuada visa minimizar o arrasto e maximizar a velocidade, sendo essencial para as condições de corrida contra o relógio.

Figura 77 - Ângulos ideais para as articulações dos ombros.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Na Figura 78, nos deparamos com fundamentais, ajustes em termos dos ângulos do quadril nas distintas modalidades ciclísticas. Este aspecto biomecânico, referente ao momento em que o quadril está em sua posição mais fechada (quando o pedal atinge seu ponto mais elevado, simbolicamente às 12h) é central para o desempenho eficaz e confortável do ciclista.

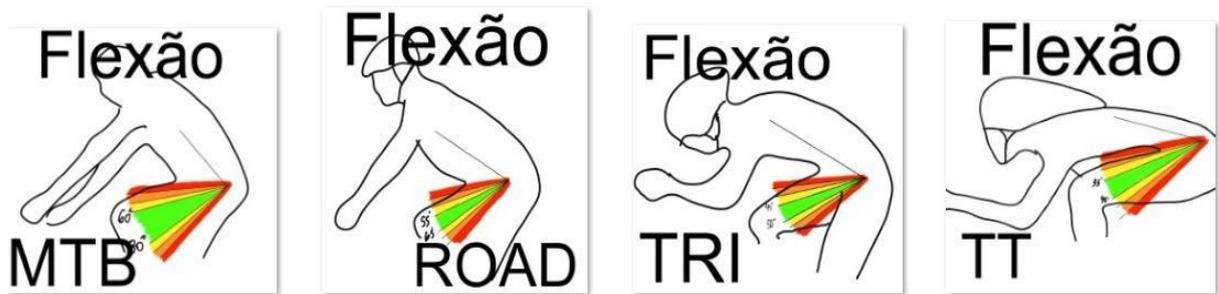
De acordo com Phil Burt (2022), o cenário se desenha da seguinte forma: nas *Mountain Bikes*, ou bicicletas de montanha, há um equilíbrio entre adaptabilidade a terrenos desafiadores e eficiência na pedalada. Esse balanceamento reflete-se em um ângulo do quadril fechado que oscila entre 60 e 80 graus. Tal amplitude permite ao ciclista uma flexibilidade nas variações de terreno, sem comprometer a postura.

Para as bicicletas de estrada, as *Road Bikes*, a demanda é por longas distâncias e uma eficiência contínua. Assim, percebe-se uma tendência para um ângulo de quadril um pouco mais restritivo, oscilando entre 55 e 65 graus. Esta faixa proporciona ao ciclista uma postura mais aerodinâmica, enquanto ainda prioriza o conforto em pedaladas de longa duração.

Já nas bicicletas de *Triathlon*, onde a aerodinâmica é crucial, mas sem comprometer o conforto nas extensas etapas de ciclismo, o ângulo do quadril fechado se situa entre 45 e 55 graus. Isso evidencia uma postura mais agressiva, mas ainda assim focada no bem-estar do atleta.

Finalmente, nas bicicletas de contrarrelógio, as *Time Trial*, a busca incessante pela eficiência aerodinâmica conduz a um ângulo acentuadamente fechado do quadril, variando entre 35 e 45 graus. Este é o apogeu da performance aerodinâmica, reduzindo ao máximo o arrasto e potencializando a velocidade.

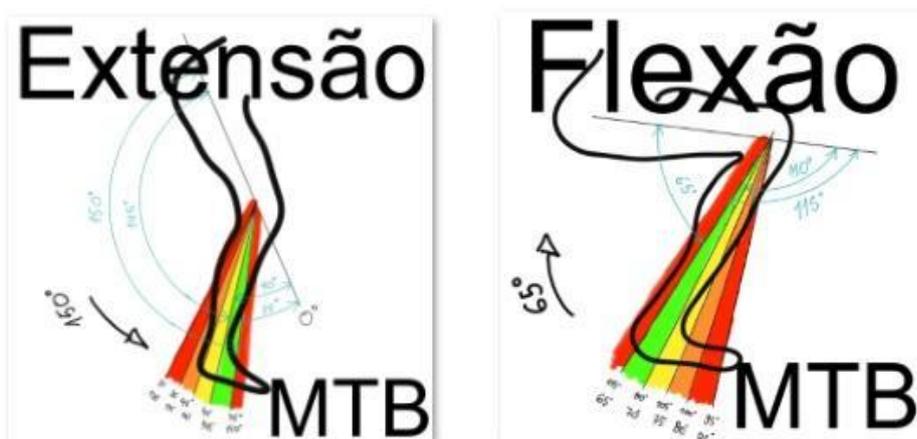
Figura 78 - Ângulos ideais para as articulações dos quadris.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR 2023.

Na Figura 79, abordamos a biomecânica do joelho em *Mountain Bikes*. Esta articulação, fundamental na transmissão de energia durante a pedalada, requer uma análise minuciosa para assegurar eficiência e prevenção de lesões. Em *Mountain Bikes*, quando o pedal se encontra em sua posição mais baixa, análogo às 6h no relógio, o joelho registra um ângulo de extensão de 35 a 40 graus em relação ao chão. A literatura tradicionalmente apresenta esse ângulo considerando a haste fixa do goniômetro posicionada no fêmur. No entanto, para os dados deste *software*, que se originam, tanto da cinesiologia, quanto da goniometria, a medição é realizada como se a haste fixa acompanhasse a tíbia. Portanto, para este estudo, é essencial uma adaptação dos valores padrão. Assim, ao empregar o goniômetro com sua haste fixa posicionada à frente do joelho, registra-se um ângulo entre 145 e 150 graus.

Figura 79 - Ângulos ideais dos joelhos em uma *Mountain Bike*.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Na Figura 80, nossa atenção se dirige às *Road Bikes*, concebidas para proporcionar uma performance otimizada em terrenos asfaltados. Quando o pedal está em sua posição mais baixa, representada como 6h, o joelho exibe um ângulo de extensão de 35 a 40 graus em relação ao chão. Por outro lado, quando o pedal atinge sua máxima elevação, ou 12h, o ângulo de flexão do joelho varia de 108 a 112 graus em relação ao chão. Conforme a literatura, essa mensuração, tradicionalmente, se baseia na haste fixa do goniômetro alinhada ao fêmur. No entanto, para este estudo e devido às particularidades do *software*, que combina informações da cinesiologia e goniometria, a medição é adaptada como se a haste fixa estivesse orientada em conformidade com a tíbia. Dessa forma, ao se utilizar o goniômetro, o ângulo de flexão observado situa-se entre 70 e 86 graus, enquanto o ângulo de extensão fica entre 145 e 150 graus.

Figura 80 - Ângulos ideais dos joelhos em uma *Road Bike*.

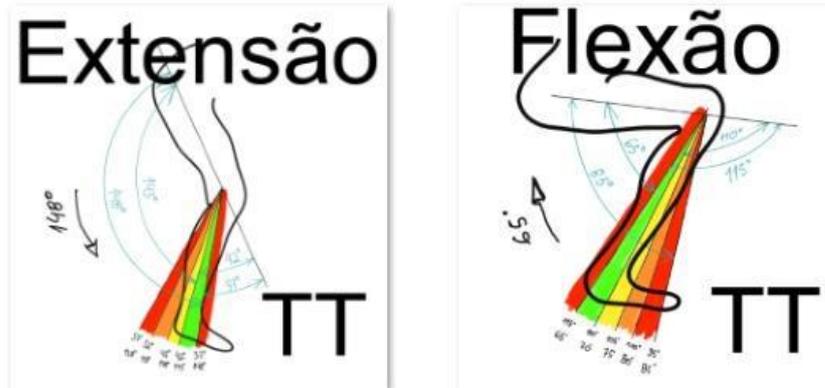


Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Na Figura 81, a análise se concentra nas bicicletas de *Time Trial*. Neste contexto, com o pedal em sua posição mais baixa, ou análogo às 6h do relógio, o ângulo de extensão do joelho é identificado entre 37 e 42 graus em relação ao chão. Tradicionalmente, a literatura se baseia na haste fixa do goniômetro alinhada ao fêmur para determinar essas medidas. Contudo, para este estudo e devido às especificidades do *software* que integra informações de cinesiologia e goniometria, adaptamos a mensuração como se a haste fixa acompanhasse a tíbia. Assim, ao empregar o goniômetro, o ângulo de extensão registra entre 143 e 148 graus. Já na

posição de flexão, quando o pedal se situa às 12h do relógio, o ângulo observado está entre 37 e 42 graus.

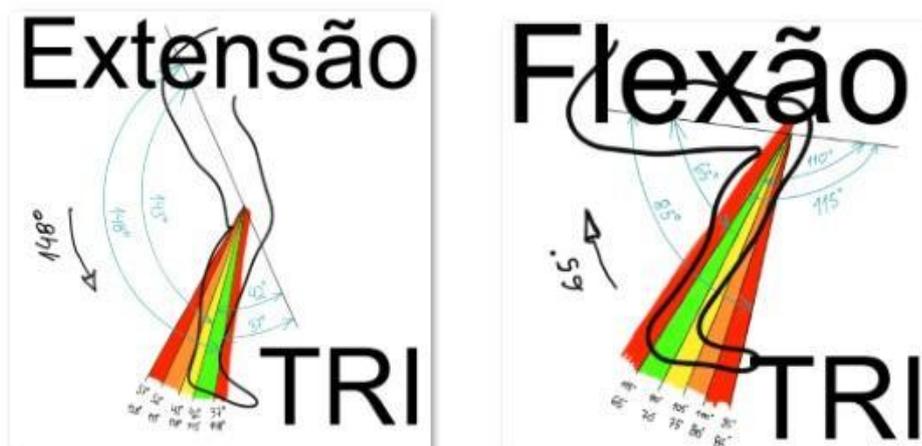
Figura 81 - Ângulos ideais dos joelhos em uma *Time-Trial Bike*.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Na Figura 82, o foco se volta para as bicicletas *Triathlon*. Com o pedal em sua posição mais baixa, análogo às 6h do relógio, o ângulo de extensão do joelho é medido entre 37 e 42 graus em relação ao chão. Como mencionado anteriormente, embora a literatura geralmente determine essas medidas com a haste fixa do goniômetro alinhada ao fêmur, para os propósitos deste trabalho e para compatibilidade com o *software* ErgoMotion, nós adaptamos a referência, tratando-a como se a haste fixa estivesse acompanhando a tíbia. Assim, usando o goniômetro, a extensão apresenta um ângulo entre 143 e 148 graus. Na análise de flexão, levando em consideração a relação entre fêmur e tíbia, o ângulo medido se situa entre 65 e 70 graus.

Figura 82 - Ângulos ideais dos joelhos em uma *Triathlon Bike*.

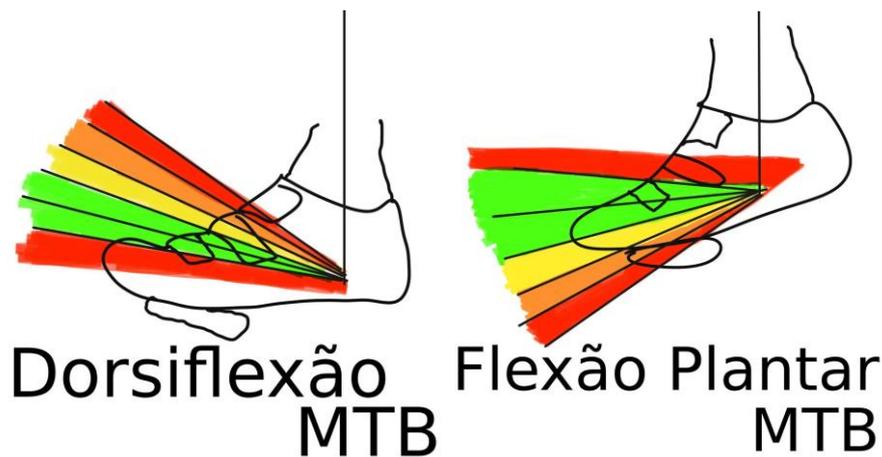


Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Nas Figuras 83 a 88, examinamos a biomecânica do tornozelo durante a pedalada em distintas categorias de bicicletas: *Mountain Bike*, *Road Bike*, *Triathlon* e *Time Trial*. O tornozelo, enquanto interface cinética durante o ciclo de pedalada, é determinante para a eficácia da transferência de energia e para a prevenção de lesões.

Figura 83 - Ângulos dos tornozelos em uma *Mountain Bike*: a dorsiflexão, caracterizada pela aproximação dos dedos do pé em direção à tibia, é observada quando o pedal está em sua posição mais inferior em relação ao plano horizontal. Idealmente, o ângulo neste ponto deve oscilar entre 95° e 105°. Entretanto, um ângulo de até 90° pode ser aceito, dentro de uma margem de tolerância biomecânica. Em oposição, a flexão plantar, descrita pela extensão do pé no sentido caudal, é identificada quando o pedal alcança seu ponto mais elevado. Nesta fase, recomenda-se um ângulo entre 70° e 80°, embora 90° possa ser tolerado sob determinadas condições.

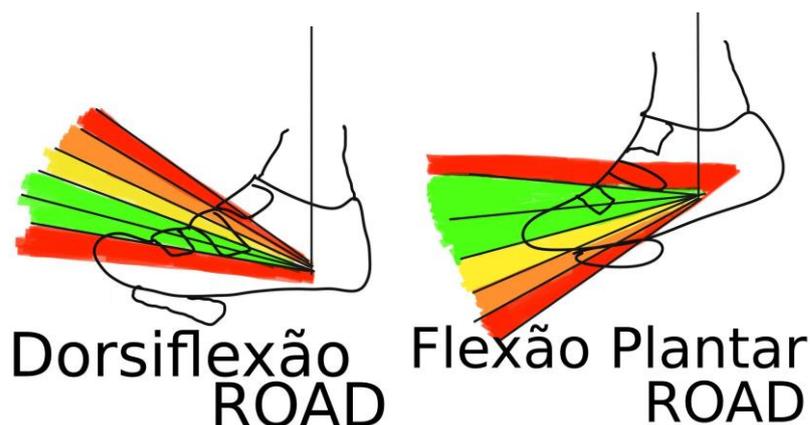
Figura 83 - Ângulos Ideais para as articulações do tornozelo em uma *Mountain Bike*.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Figura 84 - Ângulos dos tornozelos em uma *Road Bike*: apesar da distinta configuração ergonômica desta categoria, as diretrizes angulares para o tornozelo se mantêm. A dorsiflexão, no ponto mais baixo da pedalada, deve manter-se entre 95° e 105°, e a flexão plantar, no ápice, deve situar-se entre 70° e 80°.

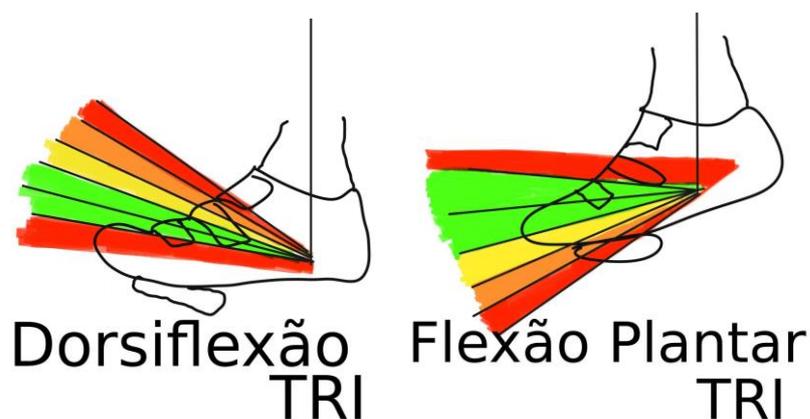
Figura 84 - Ângulos Ideais para as articulações do tornozelo em uma *Road Bike*.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Figura 85 - Ângulos dos tornozelos em uma bicicleta de *Triathlon*: ainda que a postura e a geometria da bicicleta sejam específicas para esta modalidade, os parâmetros angulares para o tornozelo se mantêm consistentes com outras categorias. Na dorsiflexão, durante o ponto mais baixo da pedalada, o ângulo ideal situa-se entre 95° e 105° , com uma margem tolerável de até 90° . Na fase oposta, durante a flexão plantar no ápice da pedalada, o ângulo recomendado encontra-se entre 70° e 80° , embora um ângulo de até 90° possa ser aceitável sob determinadas circunstâncias. A manutenção desses valores angulares reitera sua essencialidade biomecânica para uma eficaz transferência de energia e minimização dos riscos de lesões ortopédicas associadas.

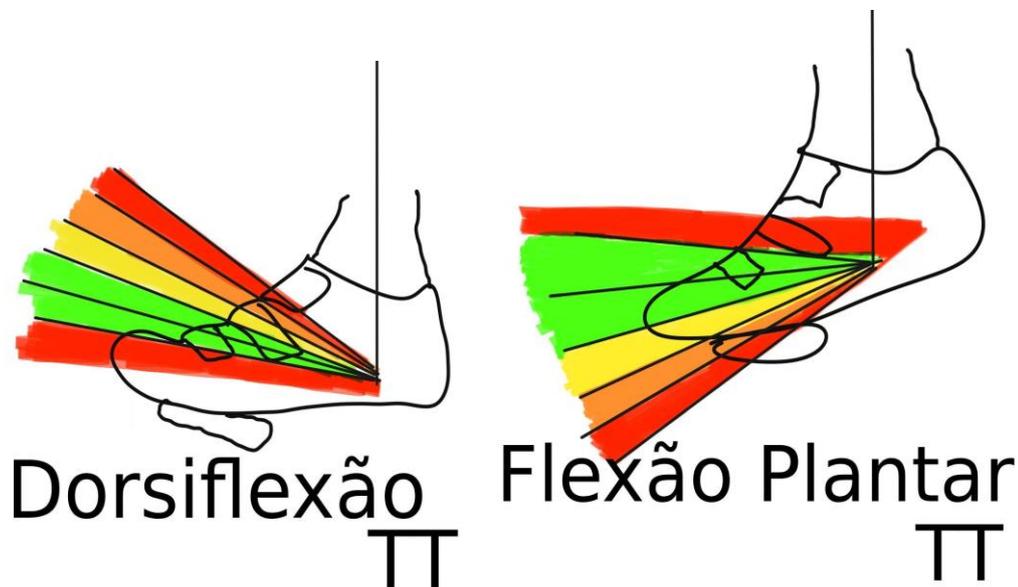
Figura 85 - Ângulos Ideais para as articulações do tornozelo em uma *Triathlon Bike*.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Figura 86 - Ângulos dos tornozelos em bicicletas de *Time Trial*: Em modalidades onde a otimização temporal é crucial, a aderência aos padrões biomecânicos corretos do tornozelo é imprescindível. Assim, mantém-se a recomendação de 95°- 105° para dorsiflexão e 70°-80° para flexão plantar durante o ciclo de pedalada. A consistência desses valores angulares entre as diversas modalidades enfatiza a significância da biomecânica do tornozelo no ciclismo, sendo fundamental para uma eficiente transdução de energia e minimização do risco de patologias associadas ao movimento repetitivo.

Figura 86 - Ângulos Ideais para as articulações do tornozelo em uma *Time Trial Bike*.



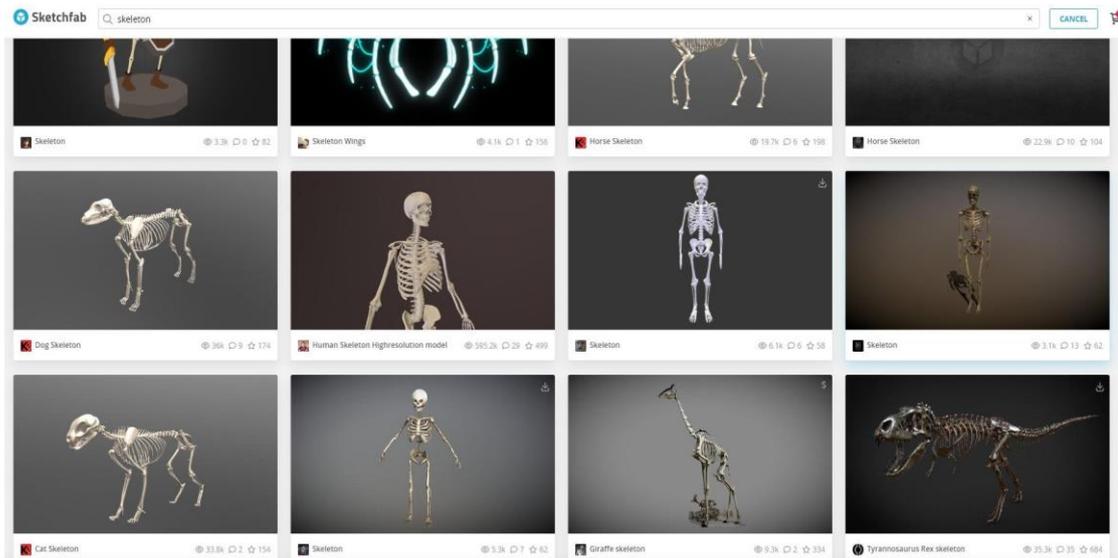
Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

6.3 DESENVOLVIMENTO DE MODELOS HUMANOS ESQUELÉTICOS E O PROCESSO DE "RIGGING".

A decisão do pesquisador de desenvolver um modelo humano esquelético foi influenciada pelas tendências observadas em plataformas reconhecidas, como MHDs, *BoB Biomechanics*, *AnyBody* e *OpenSim*. Para iniciar este processo, o pesquisador

optou por utilizar um recurso já disponível, minimizando o tempo e os esforços necessários para a criação de um modelo a partir do zero. Utilizando a plataforma *Sketchfab.com*, uma rápida busca pela palavra-chave "*skeleton*" revelou uma vasta gama de modelos, tanto gratuitos quanto pagos. Alguns desses modelos podem ser visualizados na Figura 87.

Figura 87 - Modelos “*skeleton*” na plataforma Sketchfab.com.



Fonte: SKETCHFAB.COM Disponível em:

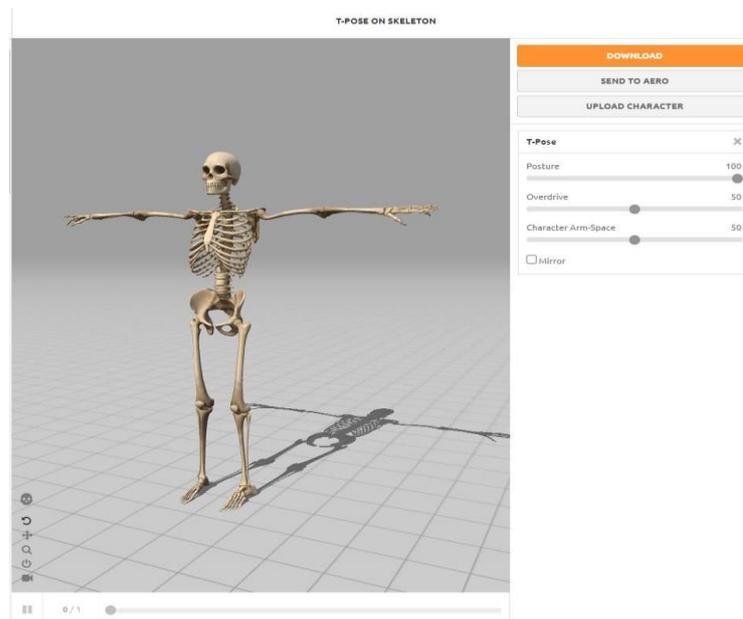
<https://sketchfab.com/search?q=skeleton&type=models>.

Após a seleção do modelo, é fundamental submeter o mesmo ao processo de "*rigging*". No universo da animação e modelagem 3D, o *rigging* é a técnica de instalar uma espécie de esqueleto digital e sistema de controles em um modelo, assemelhando-se à maneira como cordas e hastes dão vida a um fantoche. Esse esqueleto, composto por "ossos" digitais, define pontos de articulação e movimento do modelo, enquanto os controladores permitem a manipulação precisa dessas articulações. Além disso, os pesos de pele determinam a interação entre a estrutura óssea e a superfície do modelo, garantindo movimentos realistas.

Por último, a cinemática inversa (ou *Inverse Kinematics*) é incorporada para proporcionar movimentos coordenados em cadeias de ossos, como quando movemos um braço. Em resumo, o *rigging* dota os modelos 3D da capacidade de se moverem de maneira autêntica e controlada, tornando-se uma etapa essencial para a animação.

Para simplificar o processo, foi empregada a plataforma Adobe Mixamo, onde o modelo do personagem foi carregado. Além de otimizar o *rigging*, Mixamo oferece uma vasta biblioteca de animações pré-definidas. Um aspecto crucial para a captura de movimentos no *software* selecionado é iniciar com o personagem na "*T-pose*". A "*T-pose*" refere-se a uma posição padrão em que o modelo tem seus braços estendidos horizontalmente, formando um "T" com o corpo. Esta pose é fundamental, pois serve como um ponto de referência para animações e capturas de movimento subsequentes. Assim, o *download* do personagem já incluiu a animação *T-pose* diretamente da plataforma. Podemos observar esse processo na Figura 88.

Figura 88 - Processo de “*Rigging*” com animação “*T-pose*”.

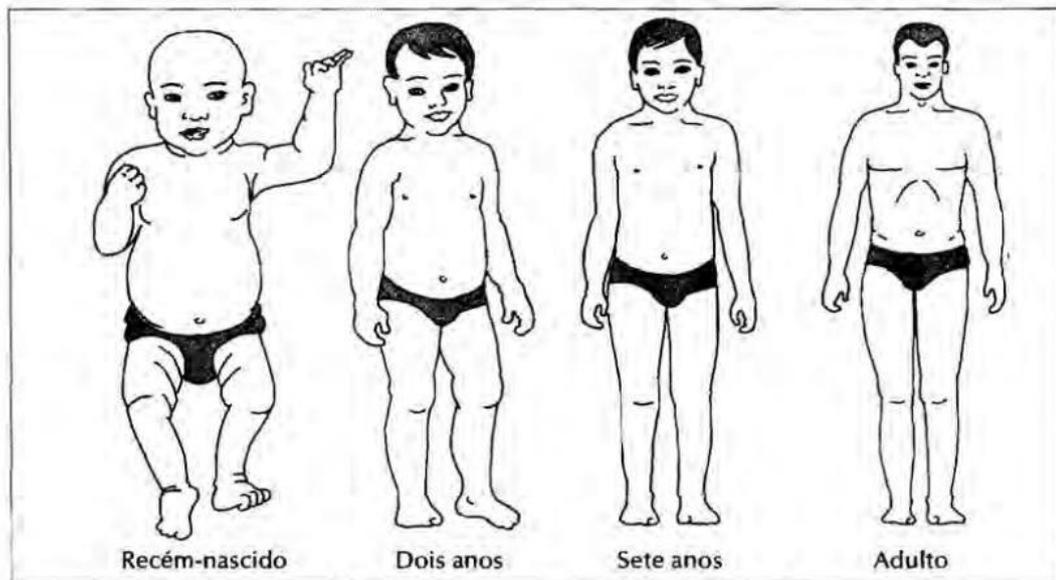


Fonte: ADOBE MIXAMO. Disponível em: <https://www.mixamo.com/#/>.

Conforme Lida (2005), o corpo humano passa por mudanças significativas em tamanho, proporções corporais, forma e peso, ao longo da vida. Durante fases como a infância e a adolescência, essas transformações são mais aceleradas. Nesses períodos de crescimento rápido, as proporções dos diferentes segmentos corporais mudam notavelmente. Por exemplo, um recém-nascido tem a cabeça desproporcionalmente grande em relação ao corpo e membros curtos. A estatura de um recém-nascido é cerca de 3,8 vezes o tamanho da sua cabeça, e o tronco tem comprimento aproximado ao do braço.

Conforme as pessoas avançam em idade, suas proporções corporais passam por ajustes notáveis. Essas transformações são evidenciadas na Figura 89. Embora esta evolução não seja padronizada para todos, as mudanças mais significativas ocorrem nas fases de recém-nascido, aos dois anos, aos sete anos e durante a puberdade. Após a marca dos 20 anos, o corpo geralmente se estabiliza e deixa de passar por alterações drásticas em suas dimensões lineares. No entanto, a partir dos 50 anos, começa a ser notada uma redução gradual destas dimensões.

Figura 89 - Mudanças das proporções corporais durante o crescimento.



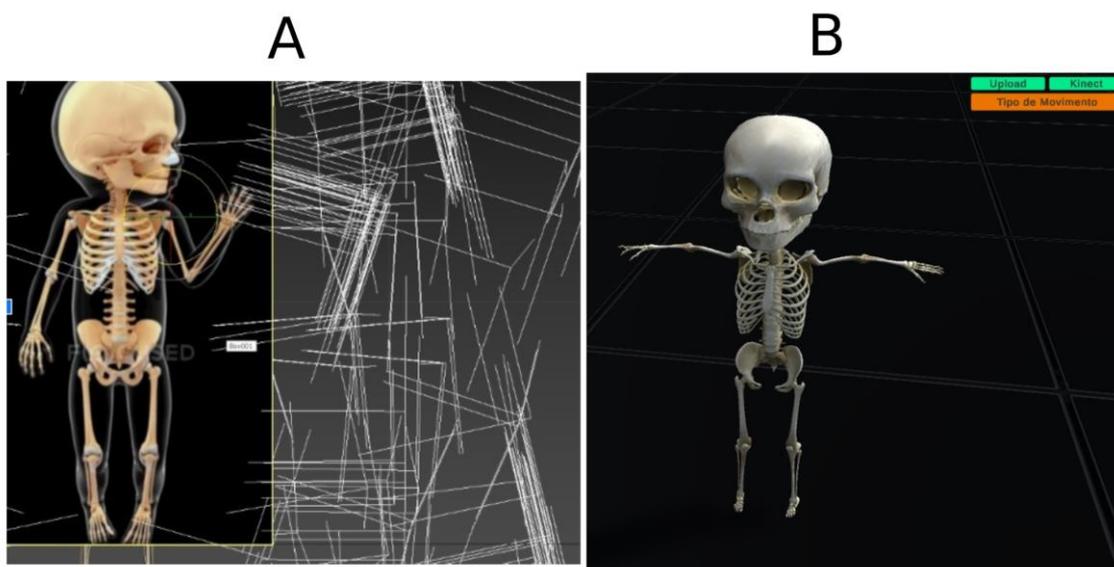
Fonte: CRONEY, 1971 *apud* IIDA, 2005, p. 100.

Baseando-se nos exemplos mencionados, foram elaborados modelos tridimensionais. A Figura 90 (A) apresenta a modelagem com referência de um recém-nascido, enquanto a Figura 90 (B) mostra o modelo final usado no ErgoMotion para um bebê de zero meses (recém-nascido). A Figura 91 (A) exibe a modelagem com referência para uma criança de dois anos, e a Figura 91 (B) o modelo final para essa idade no ErgoMotion. Já a Figura 92 (A) ilustra a modelagem com referência de uma criança de sete anos, e a Figura 92 (B) o respectivo modelo final no ErgoMotion.

Neste desafio, o autor empregou seus conhecimentos em modelagem 3D utilizando o *software* Autodesk 3ds Max. A partir do modelo adulto adquirido do site *Sketchfab.com* e tendo como referência um gabarito com imagens de estruturas ósseas, a modelagem foi conduzida através da técnica "*editable poly*" no 3ds Max. Esse processo envolveu ajustes e redimensionamentos de polígonos até se alcançar

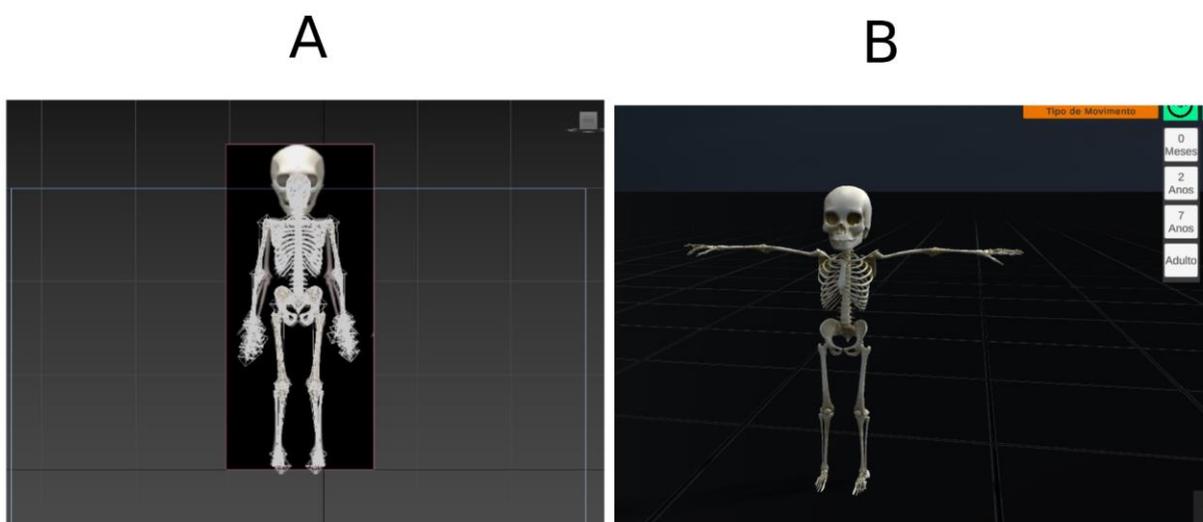
um resultado adequado. Posteriormente, os modelos foram submetidos ao processo de "rigging" utilizando a plataforma Mixamo (Figura 93).

Figura 90 - (A) Imagem de referência usada (B) Modelo final ErgoMotion (zero meses).



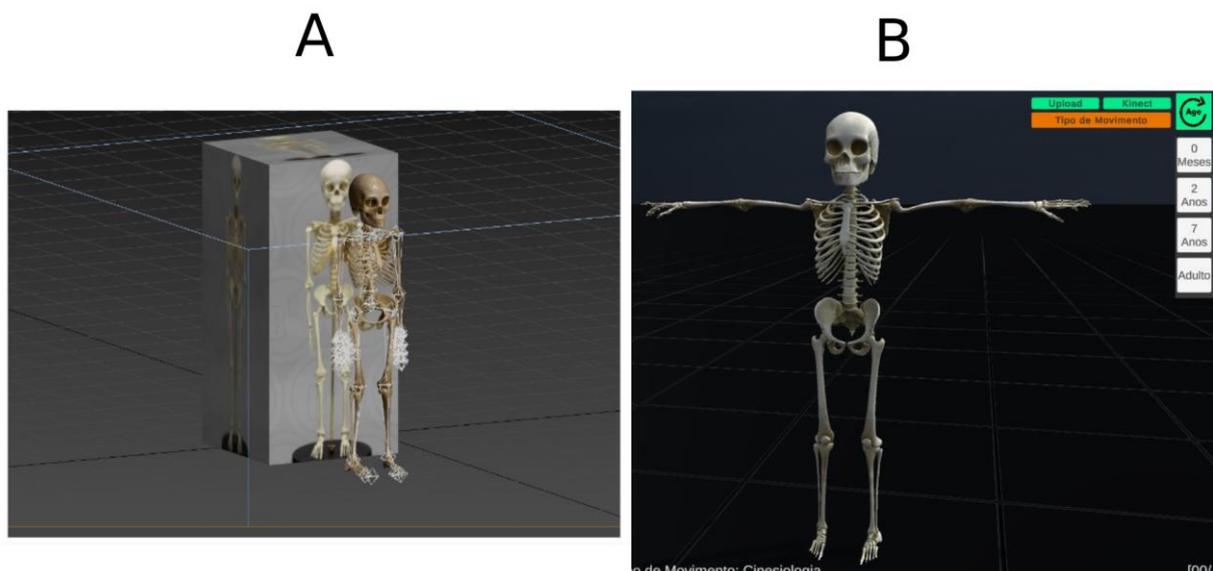
Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Figura 91 - (A) Imagem de referência usada (B) Modelo final ErgoMotion (2 anos).



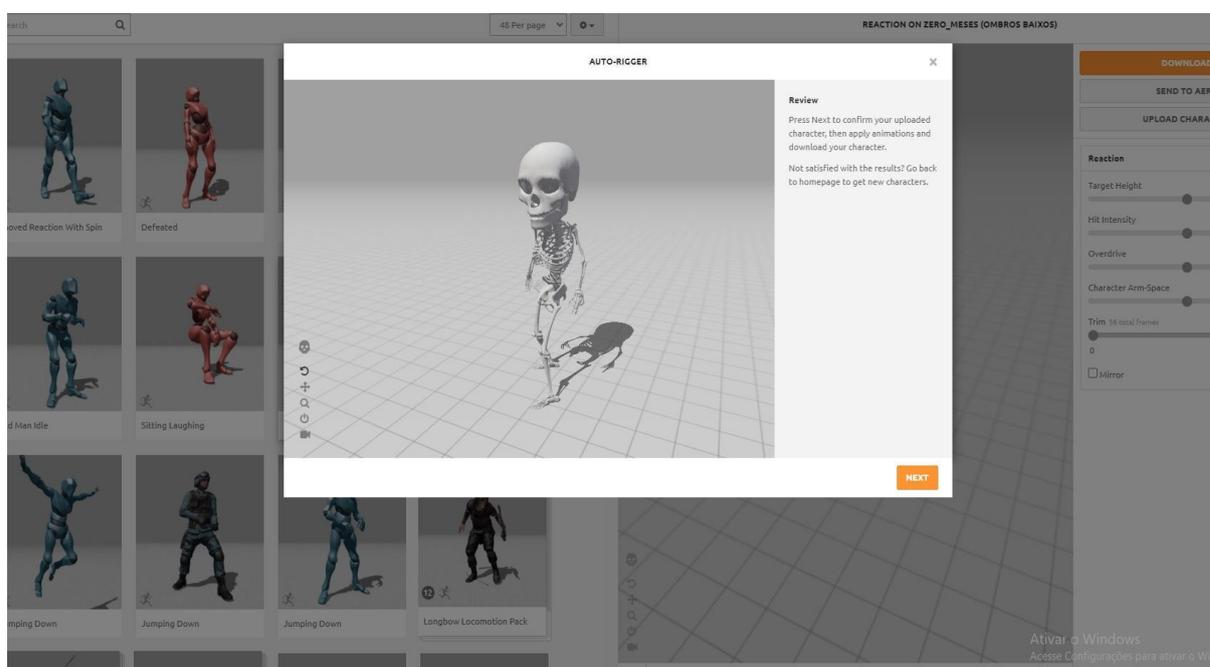
Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Figura 92 - (A) Imagem de referência usada (B) Modelo final ErgoMotion (7 anos).



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Figura 93 - Processo de “rigging” do recém-nascido.



Fonte: ADOBE MIXAMO Disponível em: <https://www.mixamo.com/#/>.

6.4 CAPTURA DE MOVIMENTOS DE CINESIOLOGIA.

A técnica de captura de movimentos, frequentemente referida como "*motion capture*", possibilita a gravação de movimentos humanos para sua reprodução em ambientes virtuais. Neste projeto específico, a opção foi pelo uso de dois sensores *Kinect*, assegurando assim uma captura mais precisa e sem obstruções decorrentes da própria anatomia do indivíduo.

Estes dispositivos foram disponibilizados pelo laboratório VID - Virtual Design da UFRGS. Trata-se de um *Kinect® Microsoft® v.1*, desenhado especificamente para desenvolvedores e adaptado ao sistema *Windows*, e um *Kinect* para o console *Xbox 360*. Embora essencialmente similares em funcionalidade, observou-se que a câmera RGB do *Kinect para Windows* exibe uma superioridade sutil, especialmente em resolução e captação de cores.

A operacionalização destes sensores no contexto da pesquisa demandou a instalação de *drivers* específicos para *Windows*, bem como a configuração do *software Kinect® Studio*.

Inicialmente, o propósito deste estudo era a integração direta dos sensores *Kinect* com o *software ErgoMotion*, com o objetivo de obter uma análise biomecânica em tempo real e meticulosa. Contudo, esse intento mostrou-se desafiador. Integrar múltiplos sensores ao *software* necessitaria de expertise avançada em programação em *C#*, com a complexidade crescente conforme o acréscimo de sensores. Vale destacar que *softwares* de renome no mercado, como o *RETÛL*, utilizam até 6 sensores de captura.

A situação foi ainda mais complicada pelas limitações impostas pela pandemia de Covid-19. Diante desses obstáculos, a decisão foi pela adoção do *software IpiSoft* para captura e análise de movimentos. Esse redirecionamento possibilitou um foco mais intensivo no desenvolvimento da programação que altera as cores nos indicativos de conforto nas articulações.

O *iPiSoft®* é uma solução integrada para captura de movimentos que opera sem a necessidade de trajes ou marcadores especiais, recorrendo a diversos tipos de sensores, desde sensores de profundidade até câmeras de ação como a *GoPro* (IPISOFT, 2023).

A plataforma se divide em duas ferramentas principais: o *iPi Recorder 4* e o *iPi Mocap Studio 4*.

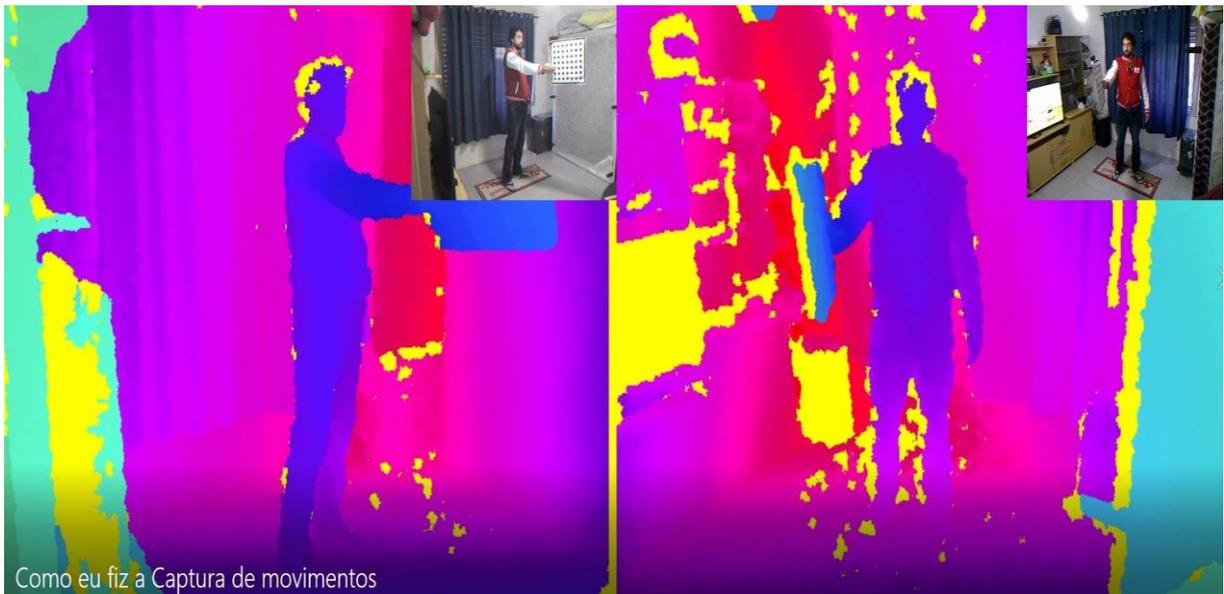
Inicialmente utilizamos o *iPi Recorder 4* para a calibração do ambiente seguindo os passos a seguir:

Configuração do ambiente: Idealmente, a captura de movimentos requer um ambiente amplo, sem obstruções, com iluminação uniforme e sem reflexos ou sombras proeminentes. No entanto, devido às limitações práticas, o autor realizou as primeiras capturas em sua residência e no laboratório VID. Este último se mostrou levemente superior, graças à sua iluminação e espaço.

Calibração do ambiente: Antes de iniciar qualquer captura, é essencial que o ambiente vazio seja calibrado. Esse processo permite que o *software* reconheça e se ajuste ao ambiente de gravação.

Calibração dos sensores: Segundo Zhang *et al.* (2005), é fundamental realizar a calibração das câmeras antes de iniciar a captura do movimento. A calibração das câmeras possibilita determinar a relação matemática entre as coordenadas da imagem capturada e as coordenadas do espaço tridimensional, permitindo que o movimento possa ser reconstruído. Para garantir a precisão da localização espacial dos sensores *Kinect®* utilizados, é realizada uma calibração adicional usando um quadro. A experiência do autor revelou que este processo pode ser mais subjetivo do que o sugerido pela literatura oficial da *iPi Soft®*. Testes com diferentes quadros, com e sem marcas visuais, e de variados tamanhos, foram conduzidos. Notou-se que a eficácia da calibração é otimizada quando se utiliza um quadro maior, exibido lentamente aos sensores. Além disso, a qualidade da placa gráfica do computador utilizado pode influenciar significativamente a precisão da calibração. O processo de calibração está ilustrado na Figura 94.

Figura 94 - Etapa inicial da calibração do software para uso de dois Kinect®.

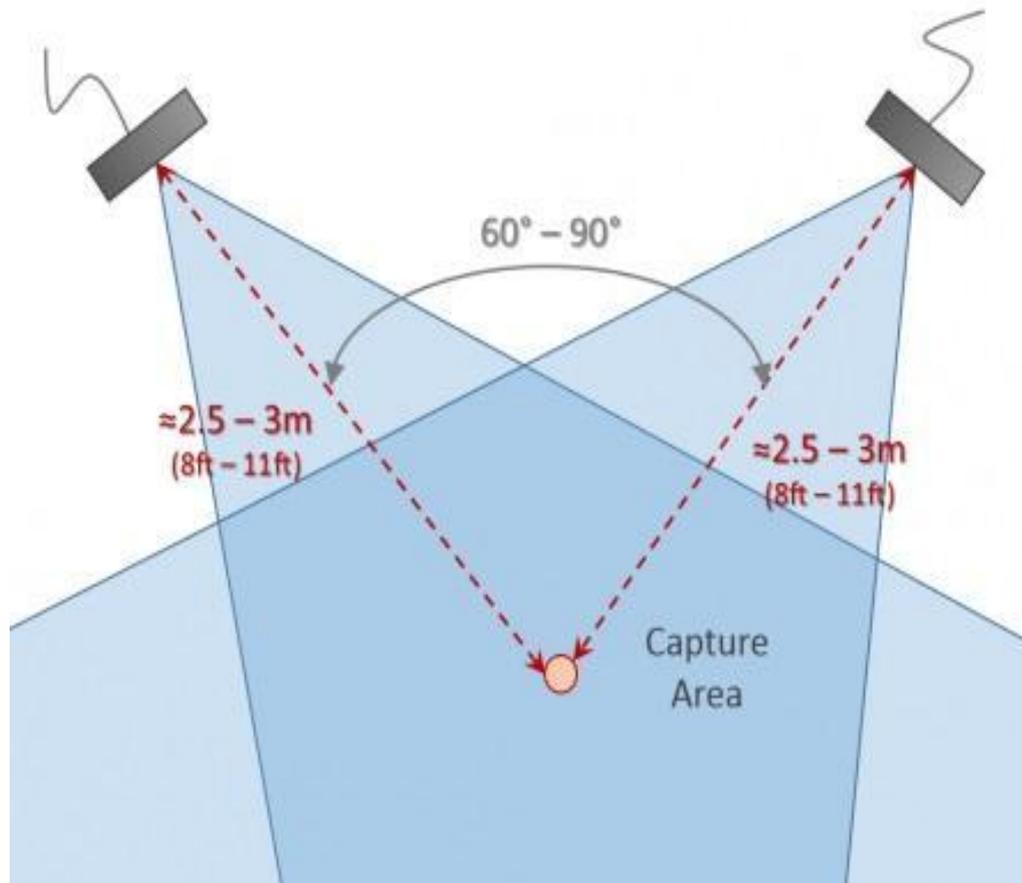


Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

De acordo com o site da *iPi Soft®*, quando se utilizam dois sensores, simultaneamente, existem duas configurações recomendadas para a disposição dos mesmos. A primeira sugere que o ângulo entre os sensores seja entre 60 e 90 graus, enquanto a segunda sugere um ângulo próximo de 180 graus, ou seja, os sensores seriam posicionados um de frente para o outro.

No contexto deste projeto, optou-se pela configuração de 60 a 90 graus (conforme ilustrado na Figura 95) devido às restrições relacionadas ao espaço disponível e ao alcance dos cabos. Em um cenário ideal, a transformação de um espaço amplo em um estúdio fixo para gravações permitiria a utilização da configuração com sensores em 180 graus, exigindo cabos de maior comprimento para facilitar a disposição (IPISOFT, 2023).

Figura 95 - *Layout* do estúdio utilizado nas gravações de cinesiologia.



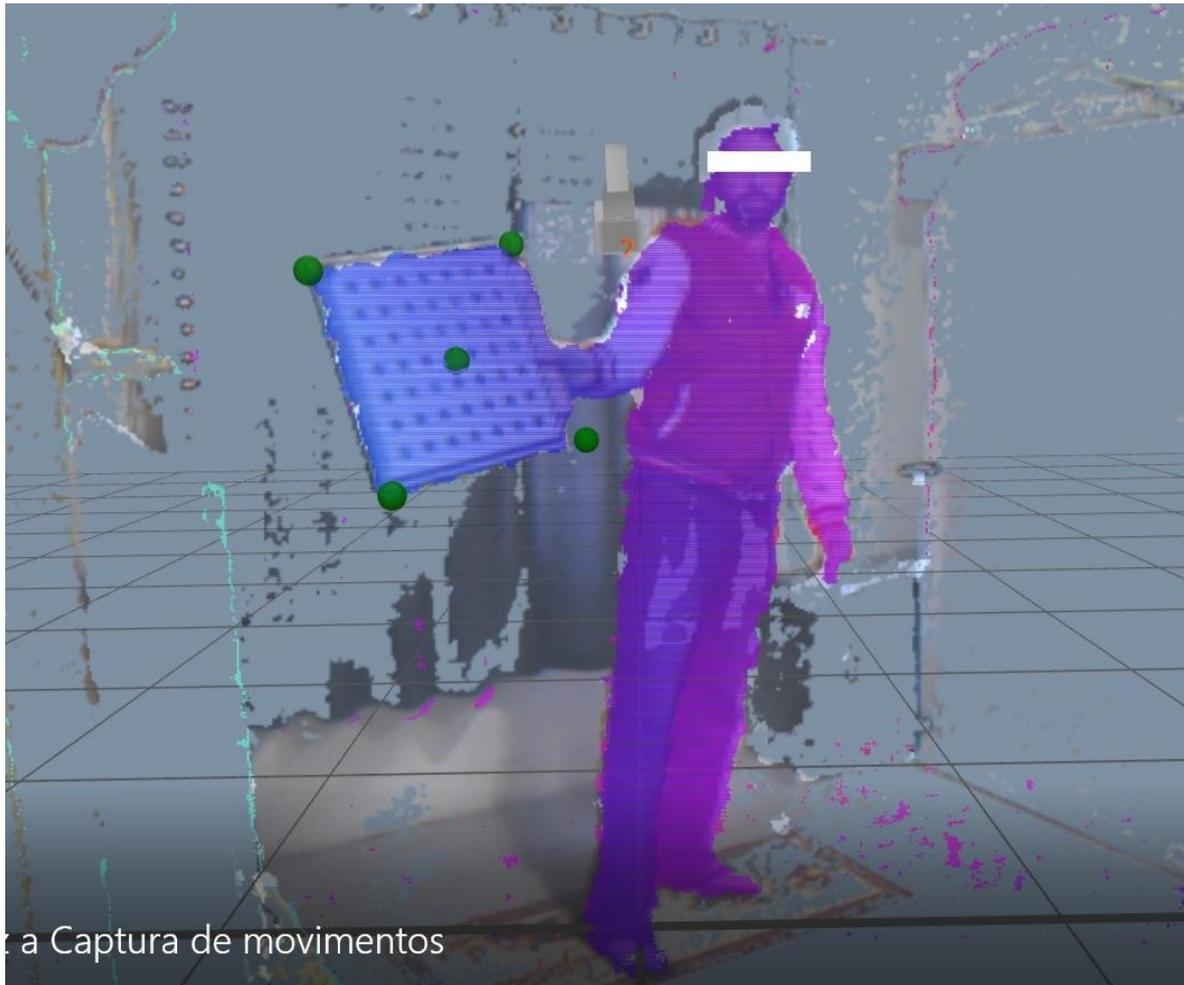
Fonte: IPI SOFT®, 2023 Disponível em:

https://docs.ipisoft.com/User_Guide_for_Multiple_Depth_Sensors_Configuration#iPi_Recorder.

Após isso, continuamos com a conclusão da etapa de calibração, iniciando-se a fase de análise dos dados com o auxílio do *iPi Mocap Studio*. Durante a importação da gravação realizada, foram apresentadas duas opções distintas: "*action project*", correspondendo a uma animação padrão, e "*calibration project*", relativo aos projetos de calibração. Dentre as opções disponíveis, foi escolhida a calibração por quadro, adequada para sensores de profundidade como o *Kinect*. No entanto, também existia a alternativa da calibração por luz, mais indicada para configurações com múltiplas câmeras *Sony® PS Eye*.

Ao avançar no processo, observou-se que, após selecionar o tipo de calibração, "pontos" começaram a surgir nas extremidades dos quadros, conforme representado na Figura 96.

Figura 96 - Pontos de calibração nas extremidades dos quadros.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Esse período requer paciência, aguardando a finalização da calibração automática. Era fundamental que os resultados fossem categorizados como "*Good*" (Bom) ou "*Perfect*" (perfeito). Um aspecto crítico identificado durante este procedimento foi a importância de se evitar calibrações com status de falha, pois estas poderiam comprometer a precisão dos resultados. Contudo, foi percebido que, em determinados contextos, a falha poderia ser interpretada erroneamente pelo *software*. Se as posições dos marcadores detectados estivessem alinhadas à imagem do marcador no vídeo, em todos os *frames* e para todos os sensores, indicava-se que essa calibração, mesmo identificada como falha, poderia ser considerada válida.

Após a obtenção de uma calibração bem-sucedida, o trabalho prossegue no *iPi Recorder*. Embasadas por literatura em cinesiologia, 38 animações foram gravadas. O *software* tem capacidade para analisar até 42 movimentos distintos, considerando nuances como direcionalidade (esquerda ou direita).

A tomada de extensão do punho, por exemplo, começa com a *T-pose*, evolui para uma flexão do braço e culmina com o levantamento dos dedos, caracterizando a extensão da articulação do punho.

Cada tomada inicia com a *T-pose* (o modelo fica em pé com os pés juntos e os braços estendidos horizontalmente, formando uma "T" com o corpo), um padrão que serve para evitar possíveis imprecisões no rastreamento. A precisão na execução dos movimentos é fundamental para garantir a exatidão da captura de movimento.

Retornando ao *iPi Mocap Studio*, a atenção é direcionada para a seleção do "*Action Project*", (Ação do Projeto). Aqui, o *software* solicita informações como gênero e altura do ator, além de ajustes antropométricos específicos.

Na cena apresentada, observa-se uma nuvem densa de pontos envolvendo a silhueta do ator e a de um personagem virtual. A meta desse processo técnico é alinhar e integrar precisamente os dois modelos. Isso significa que o objetivo é posicionar o personagem virtual de forma que ele se ajuste perfeitamente dentro dessa nuvem de pontos, que representará os movimentos do ator. Após essa etapa, inicia-se um processo de "*tracking*", no qual os movimentos são rastreados e mapeados para garantir uma representação fiel na animação (conforme ilustrado na Figura 97).

Figura 97 - Nuvem de Pontos Formada no *iPi Mocap Studio*.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

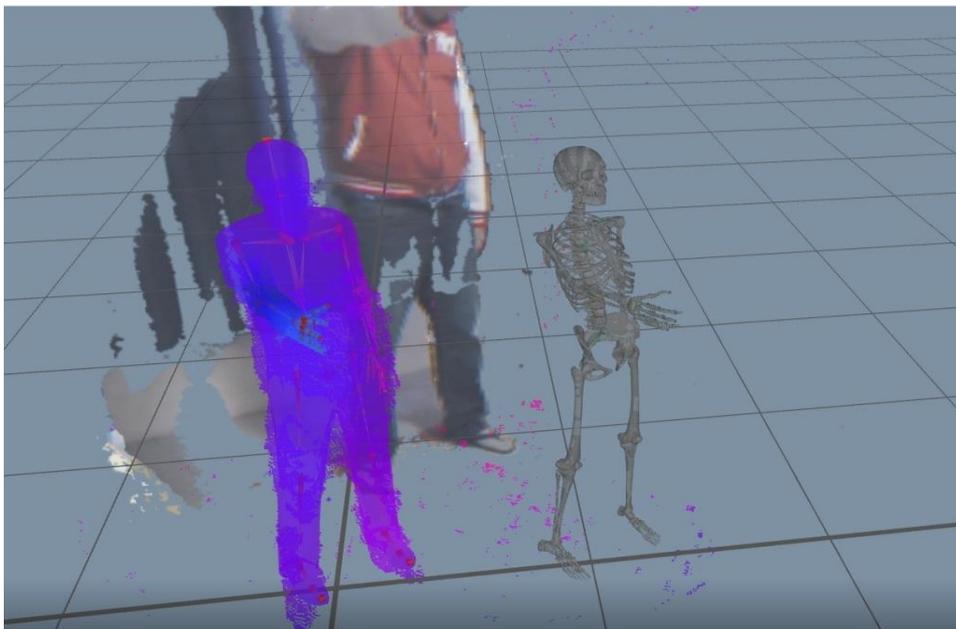
A expertise do artista gráfico se manifesta nesta fase. A tarefa é alinhar cuidadosamente o esqueleto virtual do *software* à nuvem de pontos. A cinemática

inversa (IK) automatizada facilita esse processo. Apesar de demandar certo conhecimento em computação gráfica, há inúmeros tutoriais, incluindo os disponíveis no *YouTube*, que servem como guias. O tempo investido no alinhamento do esqueleto à nuvem de pontos é recompensado com resultados superiores.

Após concluir o alinhamento, é possível iniciar a simulação dos movimentos utilizando os botões "*Track Forward*", (Seguir Adiante), que realiza o processo de rastreamento para a frente, e "*Track Backward*" (Voltar atrás), que faz o rastreamento para trás. Ambos os processos podem ser executados repetidamente em cada direção para otimizar o resultado. Se necessário, durante a simulação, você tem a opção de pausar e ajustar o esqueleto virtual utilizando o "*Refit Pose Button*", (Botão Refazer Posição). Vale ressaltar que a duração desta etapa pode variar, sendo influenciada, em grande parte, pela capacidade de processamento do computador.

Com esse processo concluído, a captura de movimento é finalizada. Pode-se, então, testar a fluidez do movimento em um personagem, como, por exemplo, "um rato gigante usando uma cartola estilizada". A ideia é garantir que, mesmo com movimentos mais amplos e não condizentes com as proporções do corpo do modelo 3D, as partes do personagem não se interponham ou se atravessem de forma indesejada. No contexto do simulador ErgoMotion, este desafio foi minimizado graças à abordagem centrada no modelo esquelético como podemos observar na Figura 98.

Figura 98 - Modelo esquelético em movimento no *iPi Mocap Studio*.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

6.5 CAPTURA DE MOVIMENTOS *BIKE FIT*.

Após concluir com sucesso o desenvolvimento das 38 animações para mapear os movimentos humanos, o foco do estudo se voltou para a captura de movimentos no contexto do *Bike Fit*. O *Bike Fit* é um processo meticuloso que visa ajustar a bicicleta ao ciclista de maneira que maximize a eficiência de seus movimentos e minimize o risco de lesões.

Utilizamos o mesmo ambiente e as mesmas ferramentas do *iPiSoft*®, mas com um novo desafio: a integração do ciclista, da bicicleta e do rolo de treino para ciclismo no espaço de captura. Dada a diversidade de modelos de bicicletas e tamanhos de quadro disponíveis no mercado, optou-se por focar nos modelos de *Road Bike* e *Mountain Bike* (MTB). Lamentavelmente, não conseguimos acesso a bicicletas do tipo *Time Trial* e *Triathlon* devido ao seu elevado custo e à dificuldade de encontrar colaboradores que possuíssem esses modelos.

O processo de captura para o *Bike Fit* seguiu uma lógica similar à anterior, mas com ajustes necessários para incorporar o equipamento de ciclismo. As primeiras capturas foram feitas em uma *Mountain Bike* Aro 26 com um quadro pequeno, conforme ilustrado na Figura 99.

Figura 99 - Processo de captura de movimento em uma *Mountain Bike*.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

A montagem da bicicleta no rolo de treino assegurou uma simulação precisa das condições reais de ciclismo. Ao iniciar a captura, o ciclista, já posicionado na bicicleta, adotava uma postura padrão, com as mãos no guidão e os pés nos pedais.

A partir dessa postura inicial, ele executava diferentes movimentos associados à dinâmica de ciclismo, como acelerações, mudanças de postura e movimentos de ajuste.

Assim como nas gravações anteriores, o processo iniciava com a *T-pose* para garantir a precisão da captura. O *software iPi Mocap Studio* foi, novamente, de suma importância, permitindo a análise dos movimentos e a correção de possíveis imprecisões na captura.

Vale ressaltar que a presença da bicicleta e do rolo de treino introduziu novos desafios para a calibração e captura. Espaços que antes estavam vazios agora continham equipamentos, e foi fundamental garantir que esses elementos não obstruíssem ou interferissem na captação dos movimentos do ciclista.

Ao final deste processo, foi possível obter um rico conjunto de dados relacionados ao ciclismo, o que, juntamente com as animações anteriores, proporcionou uma visão abrangente e detalhada dos movimentos humanos em diferentes contextos.

6.6 MODELAGEM DO CENÁRIO

O cenário para o ErgoMotion foi modelado para aprimorar a experiência do usuário. A construção do ErgoMotion envolveu a utilização de dois *softwares* principais: o 3Ds Max, para a modelagem dos personagens, e a *game engine Unity 3D*. Embora o *Unity 3D* também funcione como *software* de modelagem tridimensional, ele não é tão específico no tratamento das malhas quanto o 3Ds Max. Entretanto, uma das vantagens do *Unity* desde o início do projeto é que ele já oferece, por padrão, elementos como luz, câmera e um céu diurno. Além disso, o *software* disponibiliza objetos pré-definidos como: cubos, cilindros, entre outros.

Para este projeto, o cenário foi projetado para reproduzir um ambiente noturno. Esta foi uma escolha criativa, influenciada pela ideia de que o modelo esquelético harmoniza com um ambiente mais sóbrio e escuro. Ademais, há estudos que indicam que telas escuras ou modos escuros podem ser menos cansativos para os olhos, especialmente quando se passa muito tempo na frente delas. Isso ocorre porque telas escuras geralmente emitem menos luz azul, que é associada à fadiga ocular e à perturbação do sono. Portanto, ao optar por um cenário noturno, a interface pode oferecer uma experiência visual mais confortável para os usuários, minimizando a

fadiga ocular. Além disso, é notável que os sinalizadores de conforto se destacam com mais brilho contra o chão e o céu escuros.

O ErgoMotion utiliza um cenário cujo fundo, denominado "*night moon*", foi importado para a biblioteca de *assets* da *Unity*, não sendo, portanto, um recurso nativo do *software*. Este cenário retrata um céu noturno nublado com a marcante presença da lua. Vale ressaltar que o ambiente 3D foi estruturado de maneira a formar uma espécie de cúpula, ou "*dome*", que envolve todo o cenário, proporcionando imersão nesse ambiente sóbrio.

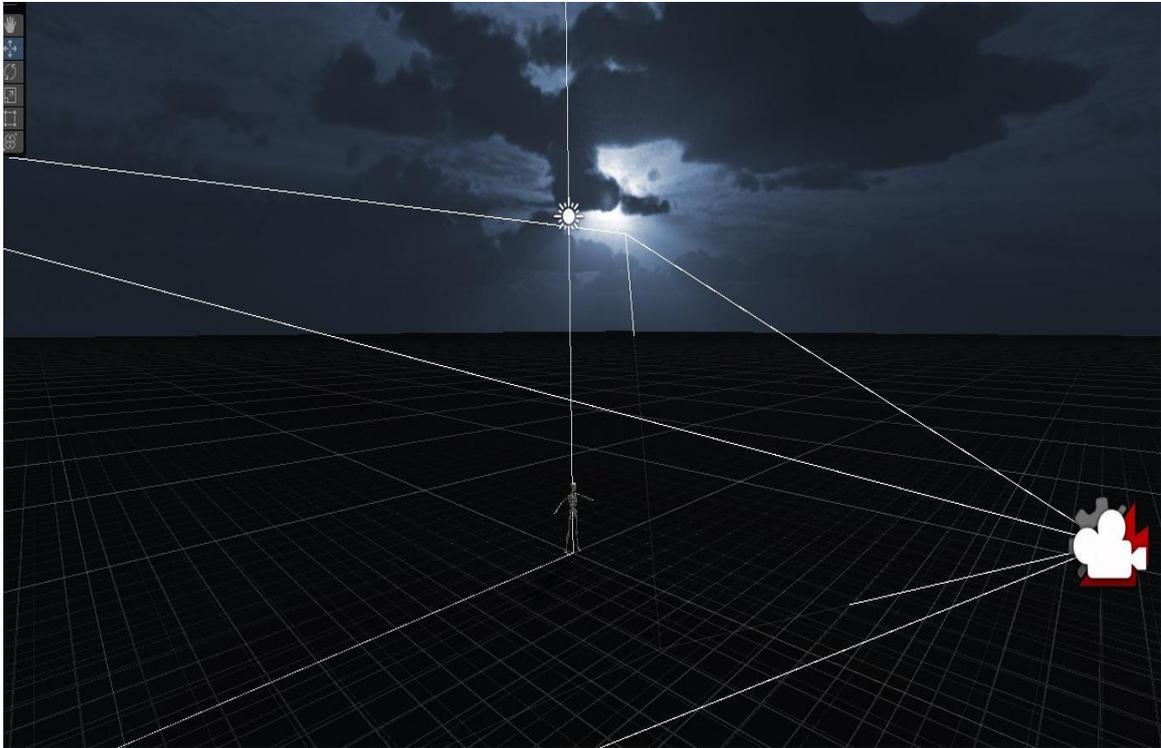
No entanto, a luz proveniente da lua na fotografia não é suficiente para iluminar adequadamente o modelo esquelético. Por isso, para aprimorar essa iluminação, foi adicionada no ambiente virtual uma luz denominada "*MoonLight*". Além dela, para assegurar que o modelo esquelético seja plenamente visível e destaque-se, existe uma luz adicional posicionada à sua frente, designada "*FrontLight*".

Como base desse cenário, temos o "*Ground*" ou chão. Ele foi desenvolvido utilizando um material preto com um leve brilho, e ornamentado com listras que formam quadrados. Esses quadrados possuem uma escala de 1m x 1m, um design inspirado tanto na plataforma Mixamo quanto no jogo *The Sims*. Esta configuração é crucial para proporcionar uma compreensão clara da escala e da dimensão dos movimentos executados pelo modelo esquelético.

A câmera empregada no cenário do ErgoMotion é oriunda da biblioteca de *assets* da *Unity*, categorizada sob o título "CinemachineVirtualCamera". Esta câmera proporciona uma experiência de navegação remanescente dos jogos de PC. Com o botão esquerdo do mouse, os usuários podem rotacionar o cenário, tendo uma panorâmica completa. A roda de rolagem do *mouse*, por sua vez, possibilita o ajuste do *zoom*, aproximando ou distanciando a visualização do personagem conforme a preferência. Segurando o botão direito, é possível ajustar o foco da câmera, enquanto o clique na roda de rolagem ativa a função "Pan", que permite um deslocamento horizontal ou vertical da cena sem mudar o ângulo da câmera. Esta função é especialmente útil para um deslize lateral ou vertical sem alterar a orientação da visão. Além dessas funcionalidades, foram programados atalhos no teclado para uma experiência otimizada: o botão "V" oculta todos os menus adicionais, limpando a tela de potenciais distrações; o "F" centraliza o foco no personagem, auxiliando usuários que possam ter perdido a orientação no cenário; e, finalmente, o botão do teclado conhecido com "*Space*" / "Espaço" controla a linha do tempo da animação, alternando

entre *play* e pausa. Na Figura 100, é apresentada uma visão abrangente do cenário, evidenciando detalhes como o céu, a disposição do chão, a localização do personagem e o posicionamento da câmera.

Figura 100 - Visão geral do cenário ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

6.7 DESENVOLVIMENTO DA INTERFACE DO ERGOMOTION.

A interface gráfica do ErgoMotion objetiva uma usabilidade intuitiva. A concepção de tal design foi inspirada em princípios da ergonomia visual, proporcionando aos usuários uma experiência fluida e otimizada. Szabo (2017) destaca a importância do mapeamento da experiência do usuário para entender e se aproximar das necessidades e expectativas dos usuários.

Neste contexto, conforme descrito no livro "*User Experience Mapping*" ("Mapeamento da Experiência do Usuário"), de Szabo, são oferecidas interpretações sobre como desenvolver interfaces que não só atendam às necessidades práticas, mas também evocam emoções positivas e conexões significativas. Por exemplo, linhas e formas carregam mensagens emocionais para o espectador; as linhas retas transmitem precisão e solidez, enquanto as curvas oferecem uma sensação de

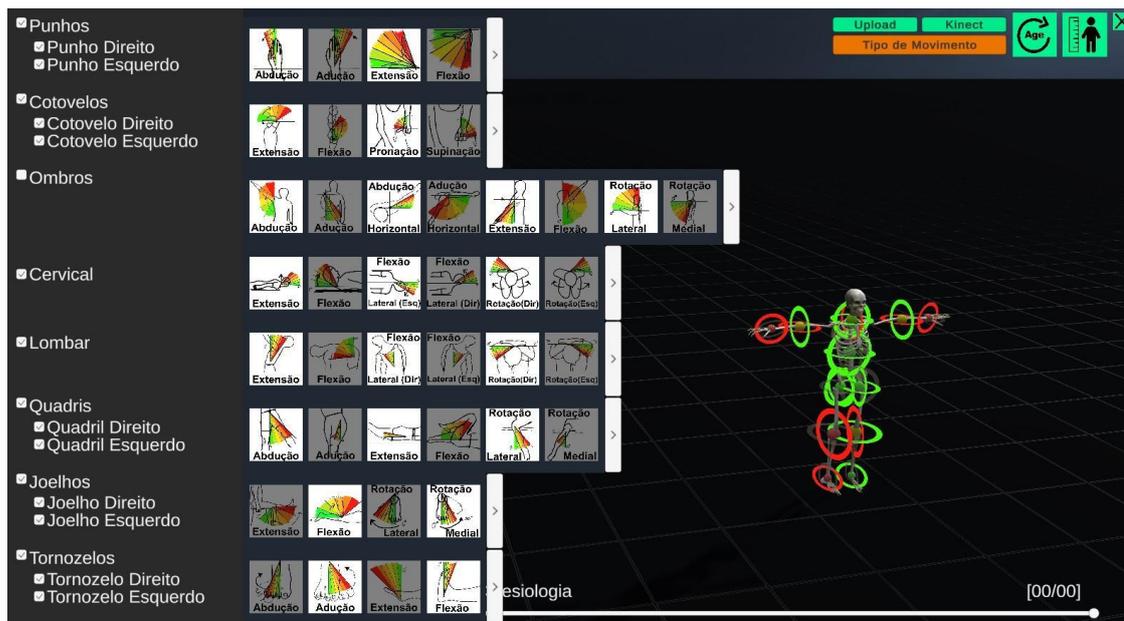
flexibilidade. Adicionalmente, a cor, muitas vezes negligenciada, desempenha um papel crítico na comunicação e pode influenciar subconscientemente a percepção e o comportamento do usuário. Assim, o design da interface do ErgoMotion buscou incorporar esses princípios fundamentais para garantir que o produto seja não apenas funcional, mas também esteticamente agradável e emocionalmente envolvente (SZABO, 2017).

Ao iniciar o aplicativo, uma tela inicial exibe um logotipo inspirado no "Homem Vitruviano" de Leonardo da Vinci, ilustrando uma representação esquelética que evidencia as paletas de cores da biblioteca de cinesiologia. Esta identidade visual é mantida por aproximadamente três segundos, estabelecendo um impacto imediato sobre a identidade do software (maiores detalhes sobre os logos no tópico 6.8 (DESENVOLVIMENTO DOS LOGOS)).

O menu lateral esquerdo é organizado de forma hierárquica, delineando uma sequência lógica das articulações. Inicia-se com os punhos na parte superior, seguindo com cotovelos, ombros, cervical, lombar, quadris, joelhos e finalizando com os tornozelos. Cada articulação é representada por um título acompanhado de uma caixa de seleção. Ao ser selecionada, um ícone de verificação (*check*) é exibido. Para articulações que possuem lados simétricos, como punhos, cotovelos, ombros, quadris, joelhos e tornozelos, um submenu é disponibilizado, permitindo a seleção individual ou conjunta, por exemplo, "Punho Direito" e "Punho Esquerdo".

Adjacentemente, ao lado de cada título, há um ícone retangular contendo um símbolo de ">", que, quando clicado, expande-se para mostrar os movimentos possíveis para aquela articulação. Esses movimentos são representados por ícones, desenvolvidos a partir de ilustrações anteriores da biblioteca de cinesiologia. Inicialmente, estes ícones aparecem em um tom mais opaco, mas ao serem ativados, ganham destaque e luminosidade. Não é possível ativar, simultaneamente, movimentos opostos, como abdução e adução de punho, dada a sua natureza antagônica. Este menu lateral está ilustrado na Figura 101.

Figura 101 - Menu Lateral das articulações e movimentos no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

O destaque da tela inicial do *software* é um modelo esquelético em pose "T-pose", típica dos padrões de captura de movimento. Abaixo deste modelo, há uma linha do tempo interativa similar às encontradas em plataformas de vídeo populares, facilitando a navegação. Esta oferece controles como pausa, reprodução e exibe os frames de animação de forma numérica.

Logo acima da linha do tempo, é apresentada uma descrição sobre o tipo de movimento em análise. Embora o *software* inicie por padrão com o "Tipo de Movimento: Cinesiologia", também estão disponíveis as modalidades "Mountain Bike", "Road Bike", "Time Trial" e "Triathlon". Detalhes sobre a linha do tempo podem ser observados na Figura 102.

Figura 102 - Linha do tempo de movimento



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Dentro da interface gráfica do ErgoMotion, um menu colorido se destaca no canto superior direito. Uma das cores predominantes é o "Verde ErgoMotion", especificamente codificado em RGB como (R 0, G 245, B 145). Esta escolha de cor não é apenas estética, mas também está enraizada nos princípios da ergonomia visual. Conforme destacado por Szabo (2017) em "*User Experience Mapping*", as cores carregam mensagens emocionais para o espectador e podem influenciar subconscientemente a percepção e o comportamento do usuário.

No canto superior direito do menu interface do ErgoMotion, o botão mais à direita é designado para encerrar a aplicação. Considerando que a aplicação opera em modo tela cheia no dispositivo de execução, este botão facilita uma terminação segura e intuitiva da sessão. É pertinente observar que a qualidade da renderização visual do *software* é diretamente proporcional à capacidade de processamento do dispositivo em uso. Desse modo, dispositivos com maior poder computacional tendem a apresentar representações gráficas mais nítidas e detalhadas.

À esquerda do botão de encerramento, encontra-se um ícone distintivo que combina a silhueta de uma figura humana com uma régua. Quando ativado, este ícone desencadeia a apresentação de uma ferramenta de ajuste do tipo "*slider*", conferindo ao utilizador a capacidade de modificar a altura do modelo esquelético exibido. De forma inerente, este modelo é configurado com uma altura de 1,70 m. Entretanto, a interface oferece uma amplitude de ajuste que varia desde 1,35 m, reconhecido como a estatura adulta mínima sem a caracterização de nanismo, até um limite superior de 2,31 m. Este último valor, deliberadamente escolhido pelo pesquisador, serve como uma alusão à altura do atleta mais alto da NBA de todas as temporadas até o momento. Vale ressaltar que, segundo dados divulgados pela BBC em 2023, o indivíduo mais alto registrado atualmente é Sultan Kösen, residente da Turquia, que ostenta uma notável estatura de 2,50 m.

No ícone denominado "Age", é possível alternar entre representações esqueléticas correspondentes a diferentes faixas etárias. Ao ser acionado, esse ícone desencadeia a exibição de botões animados, apresentando categorias temporais: zero meses (correspondente à fase neonatal), 2 anos, 7 anos e o modelo adulto. A seleção de uma dessas opções resulta na substituição imediata do modelo esquelético central, permitindo ao usuário uma análise específica para a faixa etária escolhida. Podemos visualizar este menu com suas respectivas animações acionadas na Figura 103.

Figura 103 - Representação gráfica do menu do canto superior direito.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

No extremo esquerdo do menu colorido em questão, localizam-se dois botões retangulares distintos: "Kinect®" e "Upload". Vale ressaltar que, no momento presente, o botão "Kinect®" não está funcional. Sua presença é intencional, servindo como uma sugestão para futuras pesquisas. Esta temática será revisitada na conclusão do estudo. A aspiração subjacente é conceber um *software* autônomo, concluído através do processo de "*build*" na plataforma *Unity*, pronto para o mercado. O cenário ideal pressupõe que tal *software* poderia se integrar de forma coesa a sensores de captura de movimento, como o *Microsoft® Kinect* ou outros dispositivos semelhantes, seguindo uma abordagem análoga à empregada pelo *software Ipl Soft®*. Contudo, essa integração exigiria um comprometimento mais aprofundado em estudos programáticos, com foco na harmonização com *hardwares* específicos. É relevante enfatizar que o foco primordial desta pesquisa não se pautou na técnica de programação de *software* e *hardware*, mas no estabelecimento de um método

diferenciado para avaliar os níveis de conforto nas interações entre seres humanos e suas tecnologias correspondentes.

No contexto do presente *software*, o botão "*Upload*" não é apenas simbólico, mas atua como um indicativo funcional para implementações futuras. A visão a longo prazo é que essa ferramenta possa evoluir como uma interface para a importação de animações nos formatos FBX e BVH. Para enriquecer a compreensão, é vital elucidar que o FBX, uma invenção da *Autodesk*, é um formato proprietário que concentra modelos 3D, animações e materiais em um arquivo coeso, promovendo uma fluidez notável entre diferentes plataformas 3D. Em contrapartida, o BVH, abreviação de *BioVision Hierarchy*, é um formato especializado primariamente para transferir dados de captura de movimento entre *softwares* variados. Na configuração atual do *software*, o botão "*Upload*" contém uma gama de animações cuidadosamente concebidas pelo pesquisador que lidera este estudo. Estas representações estão organizadas em categorias distintas, nomeadamente "*Road Bike*", "*Mountain Bike*" e "Miscelânea". A seção "Miscelânea" abriga uma diversidade de animações, desde a demonstração de um indivíduo acomodando-se em uma cadeira gamer, passando por movimentos característicos do *Muay Thai*, até a simulação do ato de armazenar bagagem, um gesto comum à rotina de transporte coletivo. Adicionalmente, há a representação de alguém acomodando-se em uma banqueta de altura elevada. É relevante mencionar que o pesquisador desta tese desempenhou o papel central durante as sessões de captura de movimento para estas animações, atuando como o principal "ator" das sequências.

No *layout* do *software*, além dos distintos botões em tonalidade verde, destaca-se um botão colorido com uma tonalidade específica de laranja, nomeada como "Laranja ErgoMotion", cuja definição RGB é (R 245, G 122, B 0). Esta tonalidade, empregada no botão "Tipo de Movimento", amplifica sua relevância no contexto da interface. A habilidade de preservar cores específicas no ambiente *Unity* agiliza o design, assegurando uma uniformidade visual por todo o aplicativo.

Ao interagir com este botão, é evocada uma interface adicional, rotulada "Selecione o Tipo de Movimento" (Figura 104). Neste espaço, duas opções distintas estão à disposição: "*Bike Fit*" e "Cinesiologia".

Figura 104 - Interface de seleção de modalidade no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

No canto superior direito, são observáveis dois ícones: uma interrogação, que ao ser ativada revela uma tela explicativa (Figura 105) propondo uma compreensão concisa sobre "*Bike Fit*" e "Cinesiologia", e um ícone "X", destinado a encerrar a janela.

Figura 105 - Explicação das bibliotecas existentes ao clicar no botão "?".

Análise de Movimentos com o ErgoMotion:



O ErgoMotion é um software especializado que analisa os movimentos das articulações, proporcionando uma abordagem abrangente e fácil de usar. Dentro da aba **Movement Type**, você encontrará duas bibliotecas essenciais:

1. Biblioteca BikeFit: Com base nos estudos do renomado especialista em BikeFit, Phill Burt, esta biblioteca oferece análises de ergonomia e conforto para otimizar o desempenho do atleta. Usando dados confiáveis e métodos comprovados, você poderá ajustar sua posição na bicicleta, visando um melhor alinhamento e um pedal mais eficiente, além de proporcionar uma experiência mais confortável.
2. Biblioteca Cinesiologia: Esta biblioteca explora os movimentos humanos, seguindo as descrições de especialistas como Clem W. Thompson e R. T. Floyd. Também se baseia nos estudos da Goniometria, uma técnica que utiliza aparelhos para medir os ângulos articulares. Com o ErgoMotion, você poderá compreender e analisar os movimentos das articulações com precisão, aprimorando sua compreensão dos padrões de movimento e ajudando a identificar possíveis áreas de melhoria.

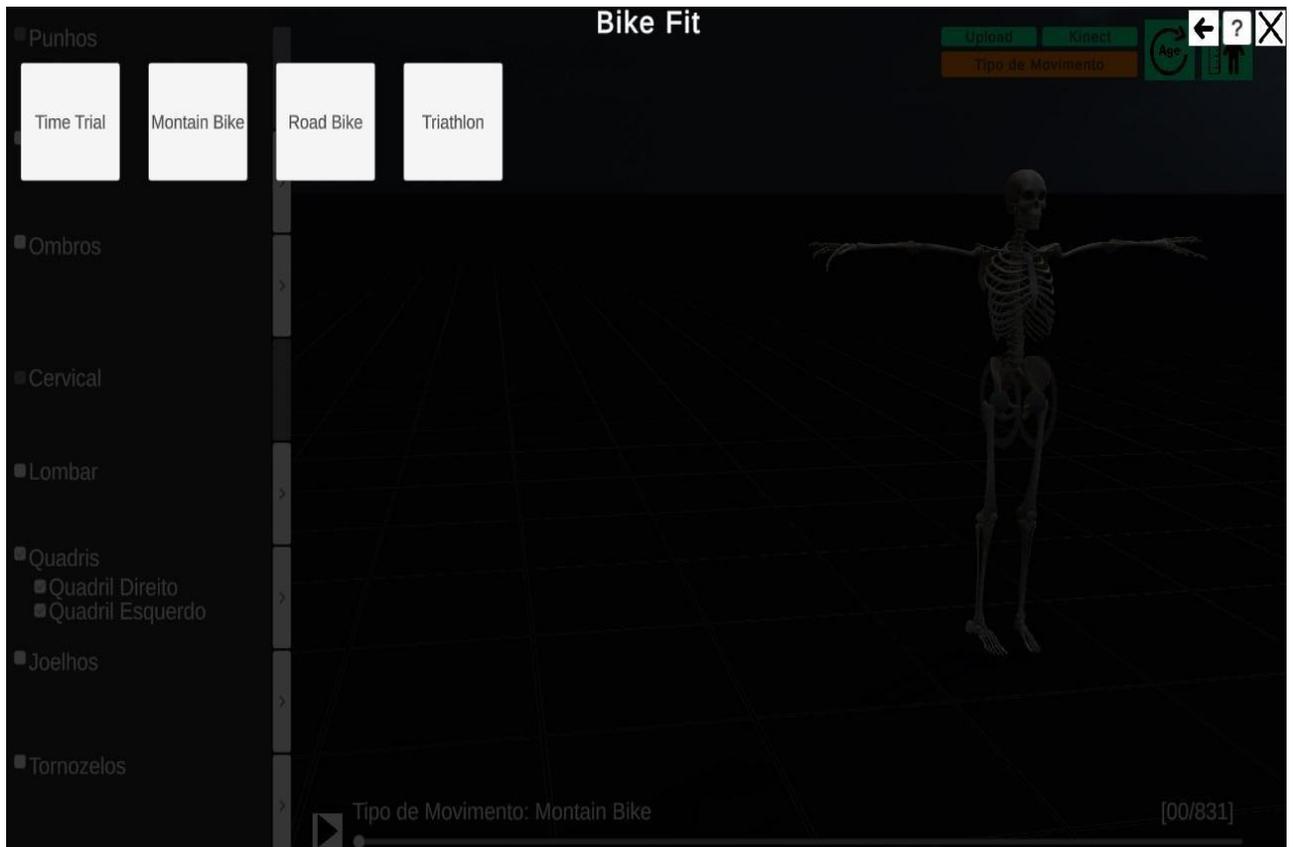
Nossa equipe está constantemente buscando atualizações e desenvolvendo novas bibliotecas de movimentos com base em estudos apropriados. Dessa forma, nosso software pode expandir seu potencial para abranger uma variedade ainda maior de movimentos.

Atenção: Ressaltamos que o ErgoMotion é uma ferramenta poderosa de análise de movimentos. No entanto, é fundamental destacar que o software deve ser utilizado em conjunto com a orientação e o conhecimento de profissionais qualificados.

Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Dando sequência, ao selecionar "*Bike Fit*", somos conduzidos a uma nova janela subdividida em quatro categorias representativas: "*Time Trial*", "*Mountain Bike*", "*Road Bike*" e "*Triathlon*" (Figura 106).

Figura 106 - Categorias de análise disponíveis na biblioteca "*Bike Fit*" do ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Conforme uma convenção estabelecida no design do *software*, o canto superior direito hospeda o ícone "X", destinado ao encerramento do programa. Adicionalmente, encontramos ali um símbolo de interrogação, o qual, quando acionado, provê detalhes adicionais acerca da biblioteca *Bike Fit* e suas nuances cromáticas (conforme ilustrado na Figura 107). Ao lado destes, uma seta orientada para a esquerda facilita a navegação, permitindo o retorno à interface anterior."

Figura 107 - Detalhes sobre o funcionamento do botão “?” no Ergomotion *Bike Fit*.

Biblioteca BikeFit no ErgoMotion

Apresentamos a biblioteca BikeFit, uma poderosa ferramenta que oferece informações sobre os principais ângulos das articulações do corpo relacionadas às principais bicicletas de competição, como Time Trail, Mountain Bike, Road Bike e Triathlon.

Para capturar os movimentos, o ErgoMotion utiliza técnicas de captura de movimento. É altamente recomendado que a captura dos movimentos seja realizada com o auxílio de um profissional qualificado. No ErgoMotion, os resultados são apresentados usando um código de cores intuitivo. O ângulo ideal é representado pela **cor verde**, indicando que o movimento está na faixa desejada. **O amarelo** indica que o movimento está saindo do ângulo ideal, exigindo atenção e possível ajuste. A **cor laranja** sinaliza que o movimento está ainda mais distante do ângulo ideal, e **o vermelho** indica que o movimento deve ser evitado, pois pode resultar em lesões.

É importante ressaltar que a indicação do profissional é essencial para determinar se o movimento em questão é uma extensão (aumento do ângulo) ou uma flexão (diminuição do ângulo).



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Ao escolher uma das categorias, o usuário é introduzido a uma tela especializada (Figura 108 para *Time Trial*, Figura 109 para *Mountain Bike*, Figura 110 para *Road Bike* e Figura 111 para *Triathlon*). Cada uma destas telas detalha cuidadosamente as informações pertinentes à categoria escolhida.

Figura 108 - Tela com informações e inicialização das análises de *Bike Time Trial*.



A bike time trial, ou bicicleta de contra-relógio, é projetada para provas individuais de tempo, priorizando desempenho aerodinâmico. Com geometria otimizada, incluindo um ângulo de assento íngreme e tubo superior alongado, o ciclista assume uma posição aerodinâmica. As bicicletas TT possuem Aerobars, permitindo que o ciclista apoie os

Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Figura 109 - Tela com informações e inicialização das análises de *Mountain Bike*.

Mountain Bike



[Analisar](#)
[Retornar](#)

A Mountain bike, também conhecida como MTB, é um tipo de bicicleta projetada para uso em terrenos acidentados, trilhas, montanhas e estradas de terra. Ela é construída para suportar as demandas desses ambientes, oferecendo durabilidade, desempenho e controle ao ciclista.

Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Figura 110 - Tela com informações e inicialização das análises de *Road Bike*.

Road Bike



[Analisar](#)
[Retornar](#)

A Road bike, também conhecida como bicicleta de estrada, é um tipo de bicicleta projetada para máxima velocidade e eficiência em estradas pavimentadas. Com seu quadro leve e aerodinâmico, oferece uma sensação de agilidade e resposta imediata aos movimentos do ciclista. Os pneus estreitos e a posição aerodinâmica pro-

Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

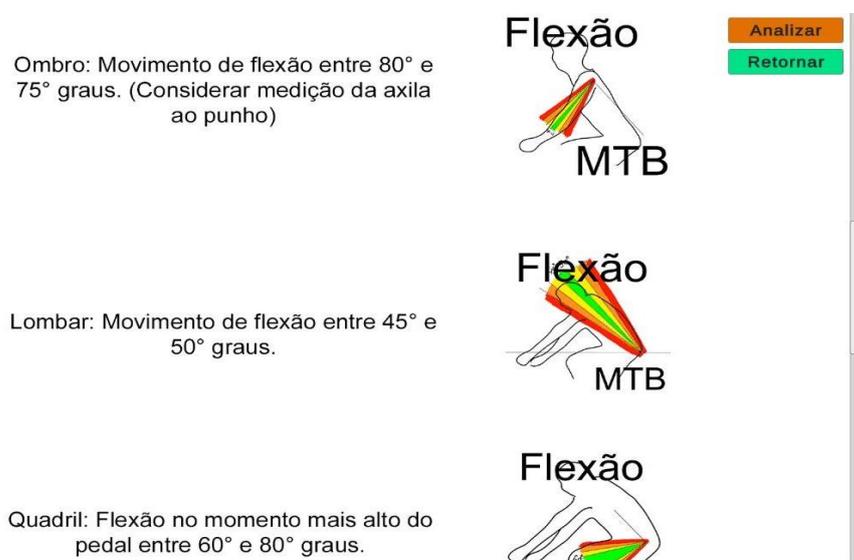
Figura 111 - Tela com informações e inicialização das análises de *Bike Triathlon*.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Além disso, quando estamos escolhendo a modalidade de ciclismo, uma barra de rolagem vertical adicional conduz a mais informações, incluindo valores angulares propostos por Burt (2022), em cada uma das quatro categorias (Figura 112).

Figura 112 - Informações angulares das análises de *Mountain Bike*.

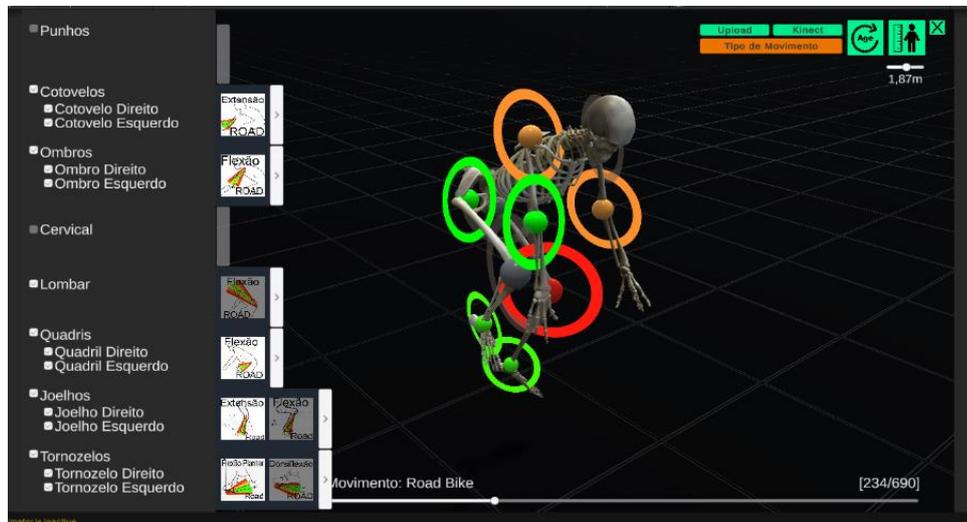


Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

No contexto do *software*, ao se deparar com o botão "Laranja ErgoMotion" identificado como "Analisar" posicionado estrategicamente no canto superior direito,

sua ativação sinaliza uma transição notável na funcionalidade do ErgoMotion. Este ajusta-se especificamente à categoria selecionada para análise, manifestando mudanças tais como a desativação das articulações cervicais e de punho. Concomitantemente, novas sprites (ilustrações interativas) são integradas à interface do usuário (Figura 113).

Figura 113 - Interface do ErgoMotion após ativação do botão "Analisar Road Bike".



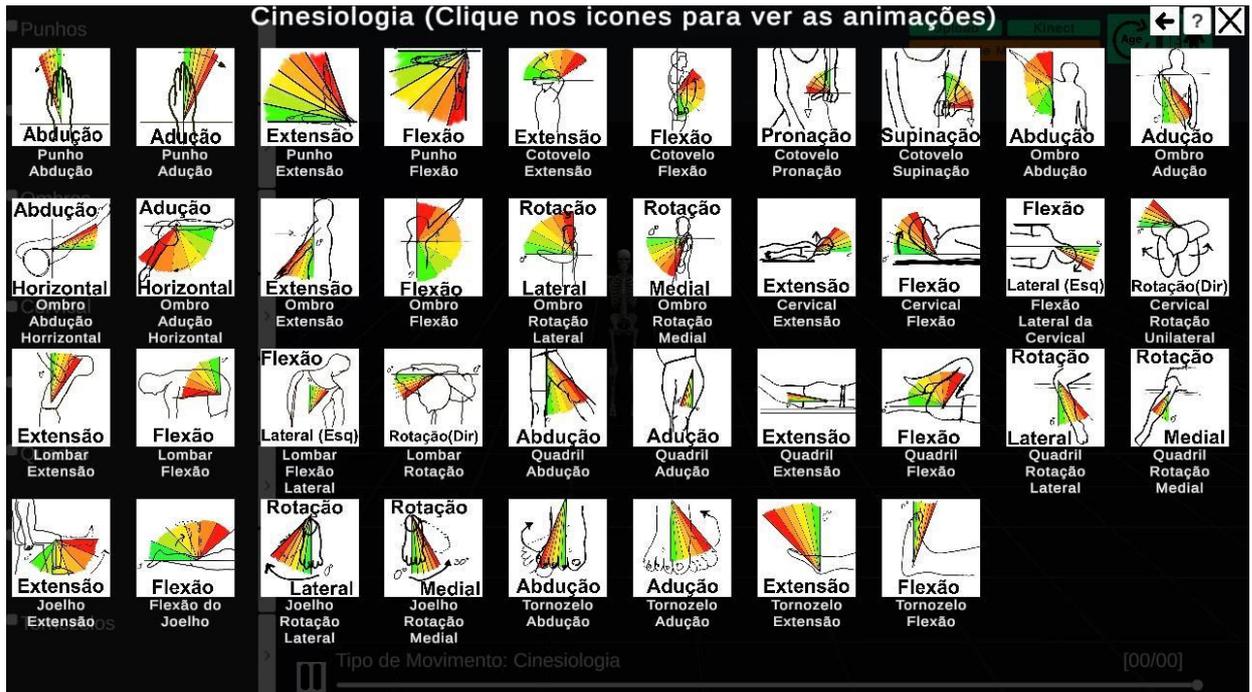
Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Podemos observar que a Figura 115, o fato de que o indicador de conforto relacionado ao joelho direito apresenta-se em um tom cinza. Tal característica é deliberada e reflete a precisão da análise: uma vez que o foco é avaliar a extensão do joelho, e dada a condição atual de flexão, o *software* interpreta essa postura como estando "fora do domínio avaliativo". Assim, o cinza, quase evanescente, simboliza uma condição de inatividade ou exclusão da avaliação em curso.

Neste momento, a funcionalidade do botão "*Upload*" ganha destaque. Ele possibilita a seleção de animações específicas para análise sob a categoria "*Bike Fit*". Importante: não se esqueça de buscar e selecionar a animação específica que você deseja analisar. Esta etapa é essencial para obter as análises do *software*.

Ao explorarmos a biblioteca de Cinesiologia, somos imediatamente apresentados ao título proeminente "Cinesiologia". Abaixo, somos instruídos a clicar nos botões para visualizar as respectivas animações. Esta biblioteca foi estruturada com base no manual de cinesiologia de Thompson e Floyd (2016) e oferece 38 sprites representando distintos movimentos (Figura 114).

Figura 114 - Interface da biblioteca de cinesiologia com *sprites* dos movimentos.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Ao selecionar qualquer uma dessas *sprites*, notamos uma mudança: o indicativo acima da linha do tempo passa a exibir "Tipo de movimento: Cinesiologia". Simultaneamente, as articulações de punho e cervical são reativadas. Um total de 42 *sprites*, associadas às análises de conforto, se torna disponível, e a animação correspondente ao movimento escolhido é executada em "Loop", ou seja, continuamente.

Este recurso não apenas proporciona uma análise detalhada, mas também serve como uma ferramenta educativa. Ele permite que o usuário observe e aprenda sobre o movimento específico, transformando o *software* em um guia interativo de cinesiologia. Além disso, o *software* mantém sua flexibilidade: através do botão "Upload", o usuário tem a liberdade de importar e avaliar uma animação diferente, sempre considerando as nuances e especificidades das amplitudes de movimento em cinesiologia.

Dentro da interface da biblioteca de Cinesiologia, deparamo-nos com ícones intuitivamente posicionados. No canto superior direito, o ícone "X" permite o encerramento da janela de "Tipos de movimentos", reconduzindo o usuário à tela inicial do *software*. Adjacente a este, o símbolo de interrogação, ao ser selecionado, desencadeia a exibição de uma página elucidativa, cujo propósito é elucidar o

funcionamento das análises de cinesiologia e o sistema de cores adotado pelo *software*, conforme ilustrado na Figura 115. Ainda neste menu superior, a presença da seta reforça a navegação fluida entre as interfaces, oferecendo ao usuário a opção de regressar à página anterior.

Figura 115 - Guia explicativo das análises de cinesiologia e sistema de cores do *software*.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

6.8 DESENVOLVIMENTO DOS LOGOS.

Em um *software*, o design e a funcionalidade convergem para oferecer uma experiência imersiva e eficiente ao usuário. Tendo em vista a padronização de sistemas operacionais, cada *software* vem acompanhado de um nome e um logotipo distintos. Kalbach (2007) destaca a importância do design e estruturação das páginas como fatores cruciais na promoção de uma navegação intuitiva. Pequenos detalhes, como a disposição das opções, organização visual, seleção tipográfica e paleta de cores, desempenham um papel decisivo na percepção e interação do usuário. Com a evolução digital, onde logotipos aparecem desde minúsculos ícones de *smartphones* até amplos *banners* em *sites*, o design precisa ser adaptável e claro. Pensando nesses ícones muito pequenos, desenvolvemos um logo compacto para o ErgoMotion, apresentando um crânio estilizado com seis cores que representam os graus de

amplitude na biblioteca de cinesiologia. Vale ressaltar que o desenho também foi feito utilizando um *tablet* e uma caneta *touch* (Figura 116).

Figura 116 - Logotipo adaptativo do ErgoMotion desenvolvido para ícones compactos.

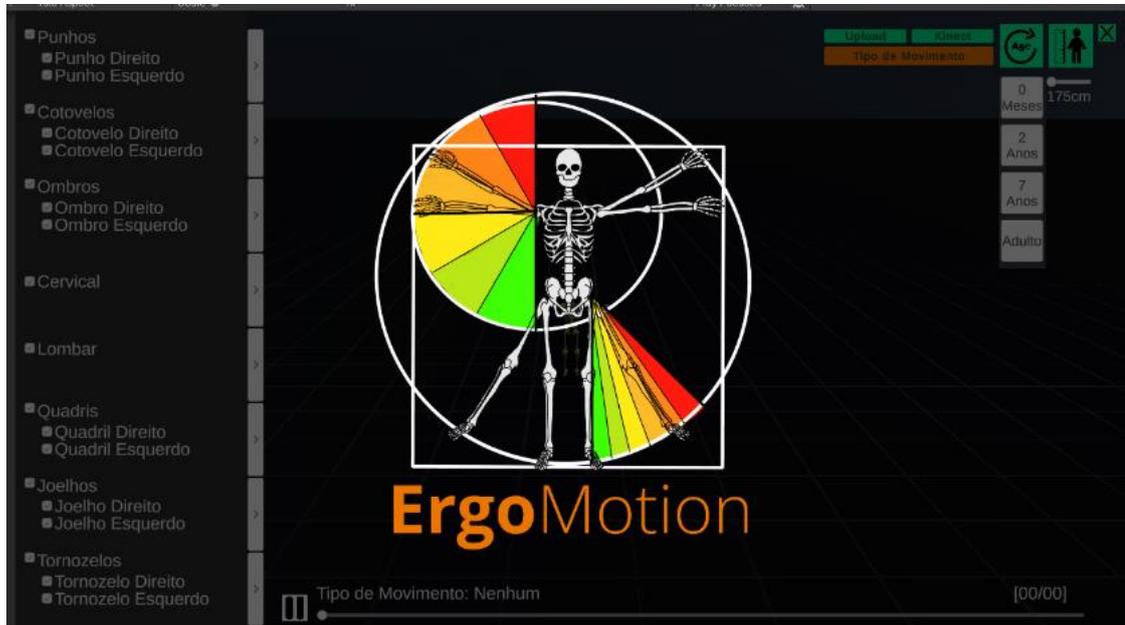


Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Além disso, a identidade visual, que é exibida nos três primeiros segundos ao abrir o programa, remete ao "Homem Vitruviano" de Leonardo da Vinci. No entanto, nessa reinterpretação, apresentamos um modelo esquelético com o braço direito e a perna esquerda em destaque. Ambos estão cercados por um semicírculo colorido que representa as cores da cinesiologia, com o braço fazendo o movimento de abdução do ombro e a perna executando o movimento de abdução do quadril. Esta imagem foi especialmente desenhada para se adaptar à tela inicial do *software*. Vale ressaltar que a criação dessa identidade visual seguiu o mesmo processo e técnica utilizados

na elaboração das sprites dos ícones de movimento. A representação artística desta identidade pode ser apreciada na Figura 117.

Figura 117 - Reinterpretação esquelética do "Homem Vitruviano" como identidade visual do ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

A seleção tipográfica para os logotipos do *software* foi feita usando a fonte "Deja Vu Sans". De forma específica, para a composição da palavra "ERGO", foi utilizada a variante "*Bold*", conferindo uma presença mais destacada e robusta. Em contraste, para a palavra "MOTION", a versão "*Ultra Extra Light*" foi escolhida, proporcionando uma sutileza e leveza ao traço. Essa escolha intencional visa enfatizar a relação e o contraste entre as nuances semânticas destas palavras, que traduzem os conceitos de "Trabalho" e "Movimento", respectivamente. A representação gráfica dessa escolha tipográfica pode ser apreciada na Figura 118.

Figura 118 - Representação tipográfica dos logotipos do *software* ErgoMotion.

ErgoMotion

Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

6.9 REPRESENTAÇÃO CROMÁTICA E INTERPRETAÇÃO VISUAL NO ERGOMOTION

No ambiente de desenvolvimento *Unity*, o *software* ErgoMotion é organizado através de uma hierarquia de pastas meticulosamente estruturadas que albergam componentes essenciais à sua operacionalidade. A pasta "*ScriptableObjectDatas*", de particular notoriedade, é classificada como pública, concedendo a usuários com habilidades específicas no *Unity* a capacidade de acesso e edição.

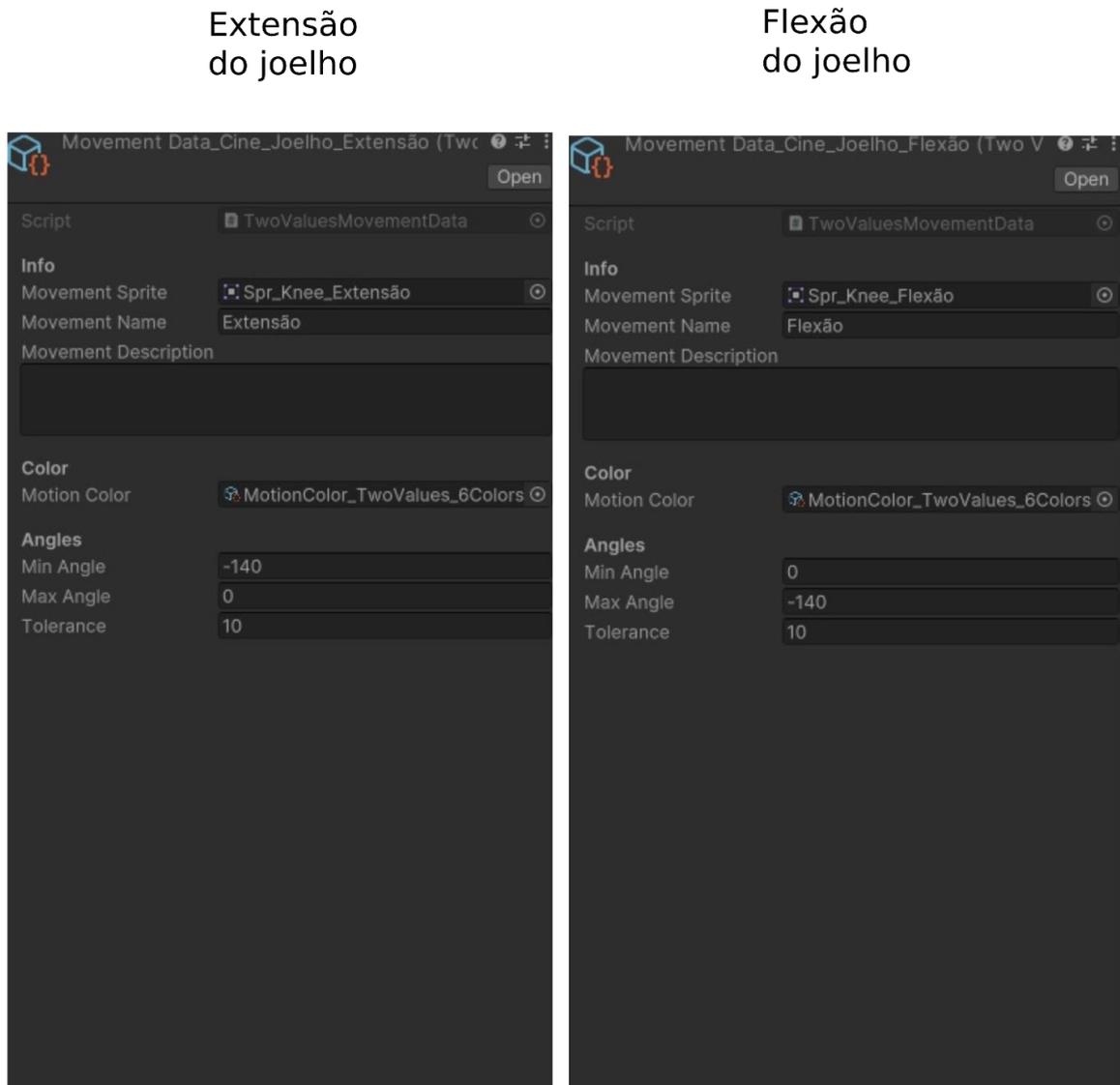
Dentro desta estrutura, a subpasta "*AnimationData*" assume a responsabilidade de associar animações a ícones correspondentes, facilitando a interação entre as sequências animadas e o modelo esquelético digital. Complementarmente, a subpasta "*BodyPart*" contém diretórios que se relacionam à Cinesiologia e distintas modalidades ciclísticas, ilustrando a abordagem abrangente do ErgoMotion em relação à análise de movimento.

Avançando na hierarquia das pastas, identificam-se diretórios especificamente designados para determinadas articulações. Estes diretórios detalham informações acerca da amplitude e natureza dos movimentos. Por exemplo, o diretório referente à articulação do joelho recebe dados relacionados aos movimentos específicos dessa articulação, como Flexão, Extensão, Rotação Lateral e Rotação Medial. Para proporcionar uma análise precisa e consistente, cada movimento possui valores pré-definidos de amplitude, configurados dentro do ambiente *Unity*.

No contexto da Figura 119, observa-se uma interface gráfica, denominada "*Menu Inspector*", que serve como um mecanismo de entrada de dados. Através desta interface, os desenvolvedores podem inserir valores como os ângulos mínimos e máximos de cada movimento, assim como definir tolerâncias associadas. Estas tolerâncias, que podem variar, por exemplo, em 5 ou 10 graus, têm a finalidade de suavizar as transições entre diferentes estados de movimento, bem como minimizar eventuais distorções oriundas da captação de movimentos.

Vale salientar a inteligência por trás desta estruturação. Em situações em que movimentos antagônicos são acionados — como a Flexão e a Extensão ou a Rotação Medial e Lateral — a plataforma está programada para discernir e apresentar de maneira adequada as informações, garantindo uma representação fiel e compreensível dos movimentos em análise.

Figura 119 - Interface de parametrização de movimentos no *Unity*.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Cinesiologia: A paleta empregada nesta categoria ostenta uma composição de seis cores distintas, cada qual representando um grau específico de amplitude, facilitando, assim, uma demarcação clara e distinta dos respectivos movimentos. *Bike Fit*: No âmbito da avaliação de joelhos e tornozelos, a codificação cromática adota uma graduação sutil. A tonalidade verde serve como demarcação dos limites mínimos e máximos considerados aceitáveis. Eventuais desvios destes parâmetros são evidenciados através de uma transição cromática que se estende do amarelo ao vermelho, variando conforme a magnitude e a direção do desvio. Contudo, é relevante observar que, para outras articulações avaliadas sob o prisma do *Bike Fit*, a

representação cromática pode divergir, refletindo especificidades inerentes a cada articulação, podemos visualizar essa “paleta” de cores na Figura 120.

Figura 120 - Editor de gradiente do ErgoMotion no *Unity*.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Esta ilustração evidencia o mecanismo de edição de gradientes dentro do ambiente *Unity* utilizado pelo ErgoMotion. Com uma interface intuitiva, o editor permite a personalização meticulosa das transições cromáticas para representação de diferentes amplitudes de movimento.

Na parte superior, é possível observar o gradiente de cores, que vai desde um verde vivo até um vermelho intenso. Cada cor pode ser ajustada em termos de sua localização no gradiente, o que é indicado pela porcentagem, como "*Location: 33.2%*".

À direita, o seletor de cores circular fornece um espectro completo de cores, permitindo ao usuário selecionar qualquer tonalidade desejada. Além disso, detalhes precisos da cor podem ser ajustados e visualizados por meio dos valores RGB, como demonstrado pelas barras deslizantes coloridas. A representação hexadecimal da cor também é fornecida para referência e consistência.

Ponto Perfeito: Dentro da plataforma ErgoMotion, a categoria "Ponto Perfeito" é visualmente representada por uma estratégia cromática que se orienta em torno do conceito primordial de "ângulo ótimo". Assim, o tom verde-lima é eleito como o emblema cromático deste ponto ideal, marcando a posição exata de conformidade ergonômica desejada.

À medida que os movimentos se desviam deste centro ideal, o sistema utiliza um gradiente de cores para representar esses desvios. Como observado na Figura 121, a progressão cromática começa com o verde, deslocando-se para o amarelo e depois para o laranja, indicando um crescente distanciamento do "ângulo ótimo". Finalmente, o vermelho marca os movimentos que estão significativamente afastados do ideal. Paralelamente, há a categoria "*out of motion*", que indica movimentos que ultrapassam a tolerância estabelecida. Estes são representados por uma tonalidade cinza, que, com sua transparência acentuada, visualmente transmite a noção de movimentos fora do padrão desejado.

Figura 121 - Paleta cromática do "Ponto Perfeito" para *Bike Fit* no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

A segmentação cromática adotada possui uma função dual, não só proporciona uma interpretação intuitiva e rápida dos dados, mas também serve como um sistema de *feedback* para o usuário. Ao realçar visualmente os desvios do padrão ideal, o ErgoMotion oferece ao usuário uma retroalimentação visual instantânea, permitindo que as correções sejam feitas em tempo real, garantindo assim a conformidade ergonômica dos movimentos e facilitando para que novas bibliotecas e novos conceitos de cores sejam criados.

6.10 DESENVOLVIMENTO DE *SCRIPTS* EM C# PARA O ERGOMOTION.

O projeto ErgoMotion foi concebido com o objetivo de explorar modelagens e simulações de movimentos humanos em um ambiente digital em tempo real, e por isso usa um motor de jogos como sua base estrutural. Um componente central dessa iniciativa foi a criação de uma estrutura de programação. Para tal, 45 *scripts* em C# foram desenvolvidos, aproveitando a compatibilidade desta linguagem com a *game engine Unity 3D*.

O ambiente de desenvolvimento escolhido para a codificação e depuração desses *scripts* foi o *Microsoft® Visual Studio*. Esta ferramenta proporcionou as funcionalidades necessárias para a elaboração e teste dos códigos, auxiliando no processo de desenvolvimento.

Os *scripts* desenvolvidos foram organizados em três categorias principais: Comportamento, Dados e Interface. Esta estruturação visou manter a organização e a clareza, facilitando a implementação e o funcionamento integrado do *software* ErgoMotion.

Scripts de comportamento: Estes são cruciais para a dinâmica geral do projeto, definindo a mecânica subjacente de como os elementos interagem e se comportam. Isso inclui desde a movimentação básica até as alterações de cores. Entre os *scripts* mais relevantes desta categoria, encontramos o “*CameraMovement*”, que regula a movimentação da câmera; o “*Character*”, que supervisiona as animações do personagem; e o “*CharacterManager*”, que permite a seleção e gestão dos diferentes modelos de personagens.

Scripts de dados: Estes *scripts* desempenham um papel fundamental como repositórios de informações vitais para o ErgoMotion. Eles armazenam dados precisos, como ângulos de movimentos, tipos e cores, que são posteriormente acessados pelos *scripts* de comportamento para garantir ação e resposta adequadas. Alguns dos *scripts* centrais nesta categoria são o “*MovementData*”, que abriga informações detalhadas sobre os movimentos; o “*JointMovementData*”, que mantém registros dos dados de movimento de cada junta; e o “*AnimationData*”, que contém informações sobre as diversas animações disponíveis.

Scripts de interface: Estes *scripts* são essenciais para uma interação fluida entre o usuário e o aplicativo. Eles cuidam da gestão e comportamento dos elementos gráficos interativos, como botões, menus e *toggles* (“*Toggle*” é um termo que se refere, geralmente, a um interruptor binário, ou seja, um mecanismo ou interface que possui dois estados possíveis. No contexto da computação e design de interfaces, “*toggles*” são comumente utilizados para representar opções ou configurações que podem ser ativadas (“*on*”) ou desativadas (“*off*”). “*AnimationGalery*” é um exemplo proeminente, responsável por mostrar a galeria de animações. O “*MovementMenu*” gerencia as opções relacionadas aos movimentos disponíveis, enquanto o “*UiHandler*” oferece uma variedade de utilitários para otimizar a interação com a interface.

No aprofundamento do desenvolvimento do ErgoMotion, diversos *scripts* desempenharam funções fundamentais para a simulação e análise de movimentos. Estes *scripts* atendem a diferentes categorias e objetivos, proporcionando uma experiência interativa e informativa ao usuário.

Os *scripts* referentes ao comportamento, como “*CameraMovement*”, “*Character*” e “*CharacterManager*”, dão vida ao projeto. O “*CameraMovement*” especificamente controla o comportamento e movimentação da câmera, enquanto “*Character*” administra a animação do personagem. Por outro lado, “*CharacterManager*” gerencia qual modelo de personagem está ativo, correlacionando-se com diferentes idades.

Já o “*MovementData*” atua como uma biblioteca de informações relativas a movimentos específicos. Nele, são armazenados detalhes como o nome do movimento, descrição, cor associada e outros metadados que definem como um determinado movimento deve ser interpretado e visualizado na aplicação.

O “*JointMovementData*” está mais focado nos marcadores de conforto, este *script* armazena dados relacionados ao movimento das articulações. Define parâmetros como os ângulos que serão analisados, e estabelece relações entre movimentos originais e seus opostos, facilitando a análise biomecânica e a visualização de amplitude e direção de cada movimento.

O *script* “*AnimationData*” é dedicado ao gerenciamento de animações aplicadas ao modelo humano digital. Ele armazena informações detalhadas sobre cada animação, permitindo que sejam reproduzidas com precisão. Isso inclui, mas não se limita a, duração da animação, frames chave e relações entre diferentes animações. Já os *scripts* “*JointColor*” e o “*JointData*” lidam com características e informações das cores dos marcadores de conforto que existem em diferentes articulações do corpo.

Dois *scripts* são particularmente interessantes, talvez os mais importantes desta pesquisa, por conterem informações preciosas para análises ergonômicas, são o “*PerfectPointMovementData*” e o “*TwoValuesMovementData*”. O primeiro gerencia informações traduzidas diretamente do *Bike Fit*. O “*TwoValuesMovementData*”, por outro lado, é responsável por trazer informações específicas da cinesiologia com informações das amplitudes dos movimentos da goniometria.

Em relação à interação com o usuário, *scripts* de interface desempenham funções vitais. “*AnimationGalery*” responsável pelas animações sobre cinesiologia, “*MovementMenu*” e “*UiHandler*”, por exemplo, lidam respectivamente com a exibição de animações, a seleção de movimentos e utilitários gerais de interface.

Além destes, outros *scripts*, como “*Singleton*”, fundamentado no padrão de design *Singleton*, oferecem uma base robusta para funcionalidades mais amplas. O “*Direction*”, um tipo especial de *script* conhecido como enum, é utilizado para

determinar direções específicas do corpo. Os *enums* (uma abreviação de "enumerations" enumerações em português), representam um conjunto fixo de valores, oferecendo uma forma mais ou menos auto documentada, facilitando a diferenciação entre lados direito e esquerdo ou partes únicas, como cervical e lombar.

Finalmente, *scripts* como "*CanvasEnable*" e "*HumanScaleSlider*" aprimoram a experiência do usuário, permitindo ajustes finos na visualização e interação. O primeiro, por exemplo, ativa ou desativa as telas do software com base na ação do usuário, enquanto o segundo ajusta a altura do personagem através de um controle deslizante, presente no canto superior direito do *software*. Esta combinação de *scripts*, em sua totalidade, compõe a essência técnica por trás do projeto ErgoMotion.

6.11 FLUXOGRAMA ESTRUTURAL DO ERGOMOTION

Na Figura 122, apresentamos o fluxograma do software ErgoMotion e seus *scripts* responsáveis pela física virtual e acontecimentos no Modelo Humano Digital (MHD) dentro da game engine Unity. O script "MovementHandler" desempenha um papel central ao controlar o MHD e gerenciar os movimentos do personagem ("Character"), incluindo a configuração inicial e manipulação das bases de dados, além do próprio software. Este script herda da classe genérica "Singleton", projetada para garantir a unicidade da instância durante a execução do software.

Em seguida, temos o "JointValue", responsável por verificar o estado dos pontos e armazenar informações sobre as articulações, como sua habilitação. O script "JointMovementData" é fundamental para definir dados específicos de movimento, incluindo informações sobre a alternância de cores, que são carregadas pelo "JointData". Este último contém informações específicas sobre se a alteração das cores seguirá um "PerfectPointMovementData", onde as cores variam do verde central até o vermelho periférico, ou um "TwoValuesMovementData", que utiliza uma paleta de cores da Cinesiologia, indo do verde lima ao vermelho.

O "JointColor" controla e gerencia a visualização das cores das articulações no modelo tridimensional, permitindo a configuração de diversos parâmetros relacionados à cor e direção do sinalizador. Já o "CircleColor" é responsável por controlar a exibição das cores dos círculos associados a um sistema de movimento,

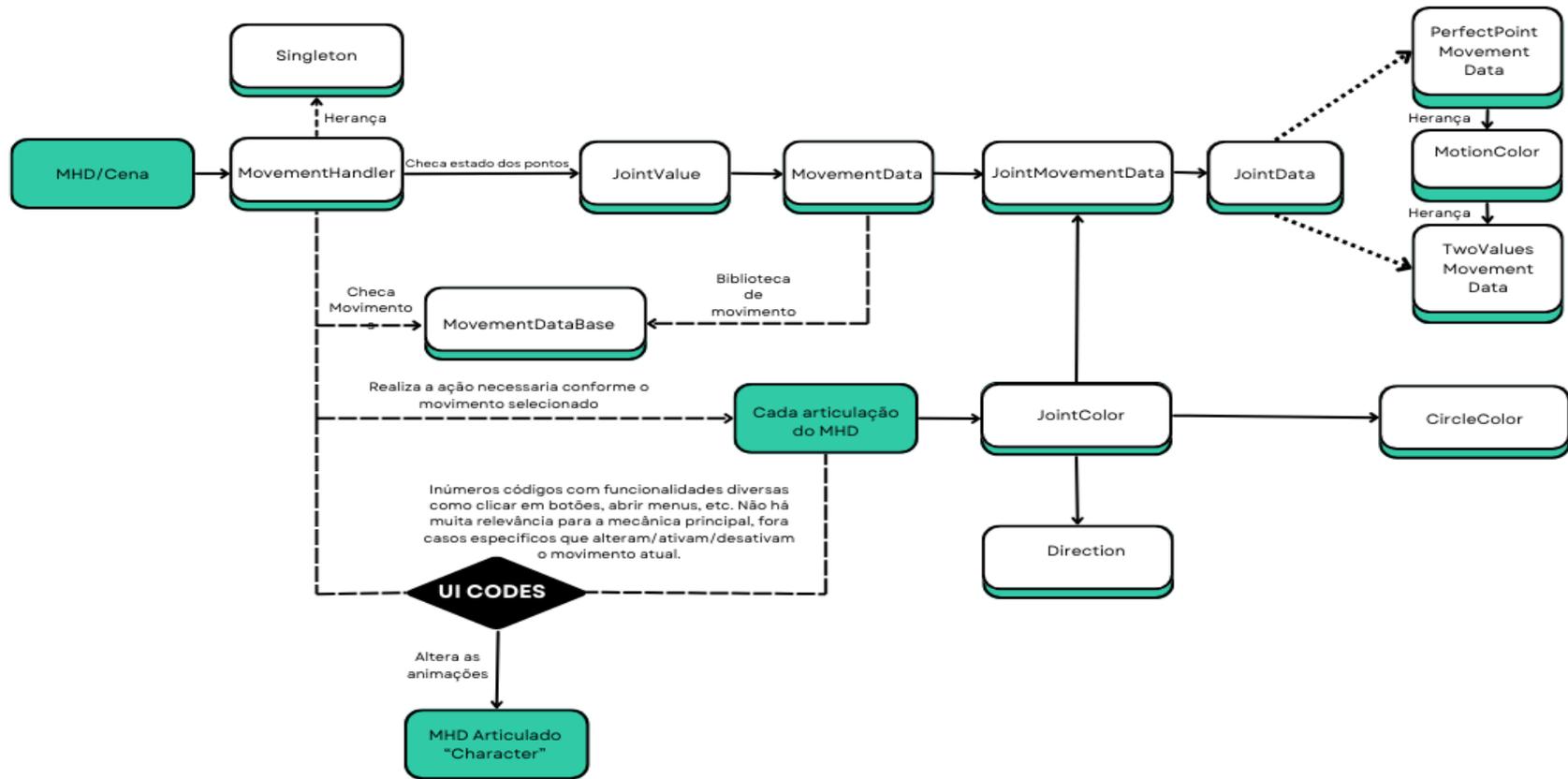
comunicando-se com o "JointMovementData" para determinar as cores dos sinalizadores de conforto.

O "Direction" é um "Enum" que, no contexto do ErgoMotion, é útil para indicar a direção na qual o personagem está se movendo e outros eventos relacionados à direcionalidade.

Por fim, temos uma série de "UI Codes" com funcionalidades diversas, como abrir menus, alterar a escala dos personagens e manipular visualmente os movimentos. Finalmente, *scripts* como "*CanvasEnable*" e "*HumanScaleSlider*" aprimoram a experiência do usuário, permitindo ajustes finos na visualização e interação. O primeiro, por exemplo, ativa ou desativa as telas do software com base na ação do usuário, enquanto o segundo ajusta a altura do personagem através de um controle deslizante, presente no canto superior direito do *software*. Esta combinação de *scripts*, em sua totalidade, compõe a essência técnica por trás do projeto ErgoMotion.

Figura 122 - Fluxograma Estrutural do ErgoMotion.

ErgoMotion C# UNITY



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2024.

6.2 CULTURA PARTICIPATIVA DA INTERNET

Dewes (2018) explanou sobre o conceito de “cultura participativa da internet”, uma representação da mudança vivenciada pela sociedade após a ascensão da internet. Esta evolução, marcada pela passagem de uma postura receptiva para uma ativa na criação de conteúdo, ressalta a capacidade dos indivíduos em compartilhar conhecimento. Henry Jenkins (2006) foi pioneiro ao identificar essa transição, enfatizando a internet como um meio para ações coletivas e criatividade alternativa.

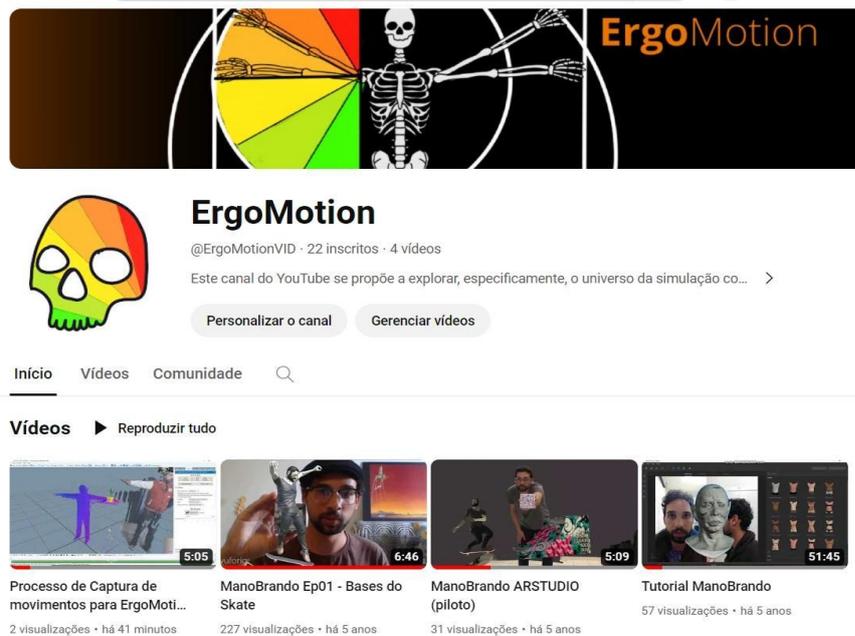
Neste contexto, surge o canal “ErgoMotion” no YouTube, uma iniciativa que reflete essa mudança de paradigma. O canal foi criado não apenas para compartilhar descobertas e conhecimentos de uma pesquisa acadêmica, mas também com o objetivo específico de apresentar o software de análises ergonômicas desenvolvido.

Reconhecendo que muitas pesquisas acadêmicas permanecem confinadas a círculos restritos, acessíveis somente através de artigos científicos, o canal busca romper essa barreira. Utilizando a cultura participativa da internet, o ErgoMotion é apresentado a um público mais amplo, demonstrando suas funcionalidades e o potencial de alcance de uma pesquisa acadêmica. Isso não apenas torna a ferramenta útil para um público mais diversificado, mas também serve como inspiração para futuros trabalhos acadêmicos e pesquisas.

Além de ampliar o alcance das descobertas acadêmicas, o canal “ErgoMotion” também se propõe a criar uma comunidade engajada e colaborativa. Os vídeos não apenas explicam como utilizar o software, mas também incentivam os espectadores a compartilhar suas próprias experiências e sugestões de uso. Essa interação constante com os usuários permite aprimorar o software de acordo com as necessidades reais do público, promovendo um ciclo virtuoso de feedback e inovação. Ademais, o canal oferece tutoriais detalhados e estudos de caso que demonstram a aplicação prática do ErgoMotion em diferentes contextos, fortalecendo o vínculo entre teoria e prática e fomentando um ambiente de aprendizado contínuo.

Para encontrar o canal e os vídeos relacionados no YouTube, deve-se buscar por “@ErgoMotionVID”. Essa nomenclatura foi escolhida para evitar confusão com uma empresa europeia de colchões de nome similar. O canal, ilustrado na Figura 123, distingue-se no espaço digital e faz referência ao Laboratório de Pesquisa Virtual Design VID, onde a pesquisa foi conduzida, reforçando a ligação entre o canal e a comunidade acadêmica.

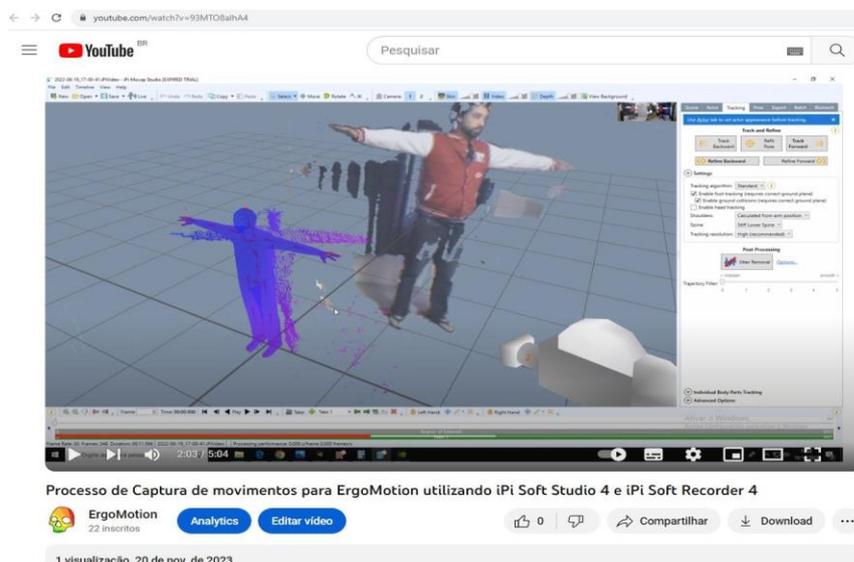
Figura 123: Visão digital do canal ErgoMotion no YouTube.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

O primeiro vídeo do canal (Figura 124), vídeo que fez parte da qualificação de doutorado, detalha o processo de captura de movimentos. Desde a calibração dos equipamentos até as fases de captura e processamento dos movimentos, este conteúdo é vital para entender o desenvolvimento das bibliotecas de movimento do *software* ErgoMotion e pode ser encontrado no *link*: Processo de Captura de movimentos para ErgoMotion utilizando *iPi Soft Studio 4* e *iPi Soft Recorder 4*.

Figura 124: Detalhamento do processo de captura de movimentos para ErgoMotion: da calibração à implementação.



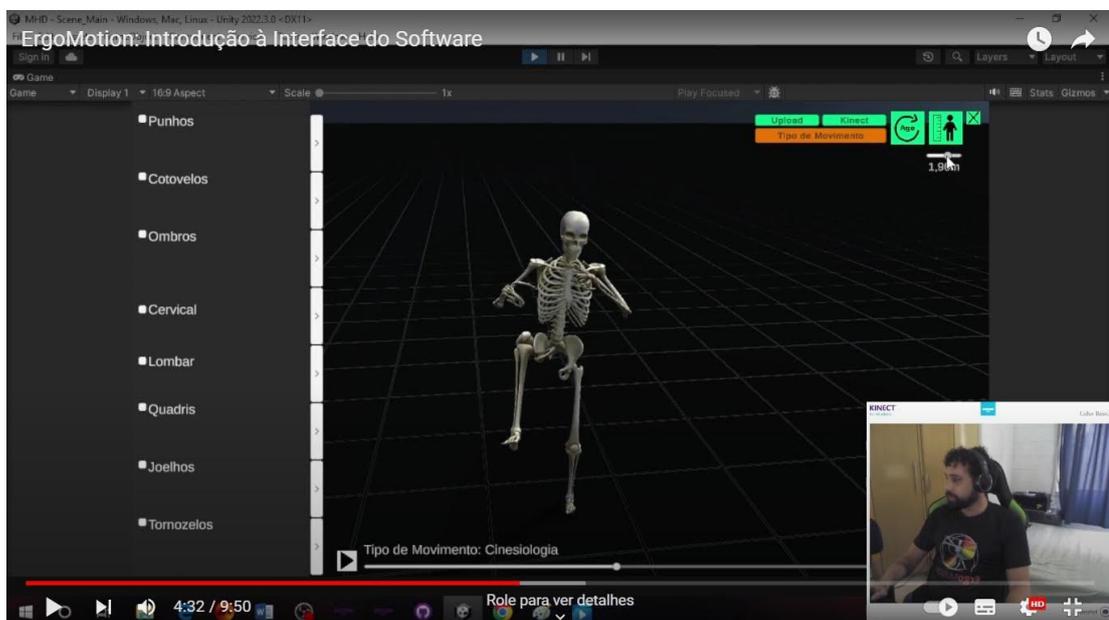
Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

No Capítulo 7, foram apresentados os resultados detalhados tanto da biblioteca de cinesiologia quanto da biblioteca de *Bike Fit* do *software* ErgoMotion. Embora, como afirmou o filósofo e político chinês Confúcio, "Uma imagem vale mais que mil palavras", neste contexto acadêmico, complementamos as imagens com uma descrição textual, conforme é típico em teses acadêmicas. No entanto, reconhecendo a importância crescente da cultura participativa da internet e a eficácia da multimídia na disseminação do conhecimento, decidimos produzir dois vídeos explicando o funcionamento do *software*.

O segundo vídeo do canal ErgoMotionVID (Figura 125), é dedicado à explicação da interface do ErgoMotion, detalhando seu funcionamento e aplicação. O terceiro vídeo (Figura 126), aborda o processo de análise de cinesiologia, oferecendo uma visão prática e aprofundada desta funcionalidade específica do *software*. O quarto e último vídeo do canal (Figura 127), é dedicado as explicações de como funciona as análises de *Bike Fit* dentro do *software*.

Estes vídeos visam facilitar a compreensão dos aspectos complexos das bibliotecas de movimento do ErgoMotion, tornando as informações acessíveis a um público mais amplo e diversificado.

Figura 125: ErgoMotion – Introdução à interface do *software*.



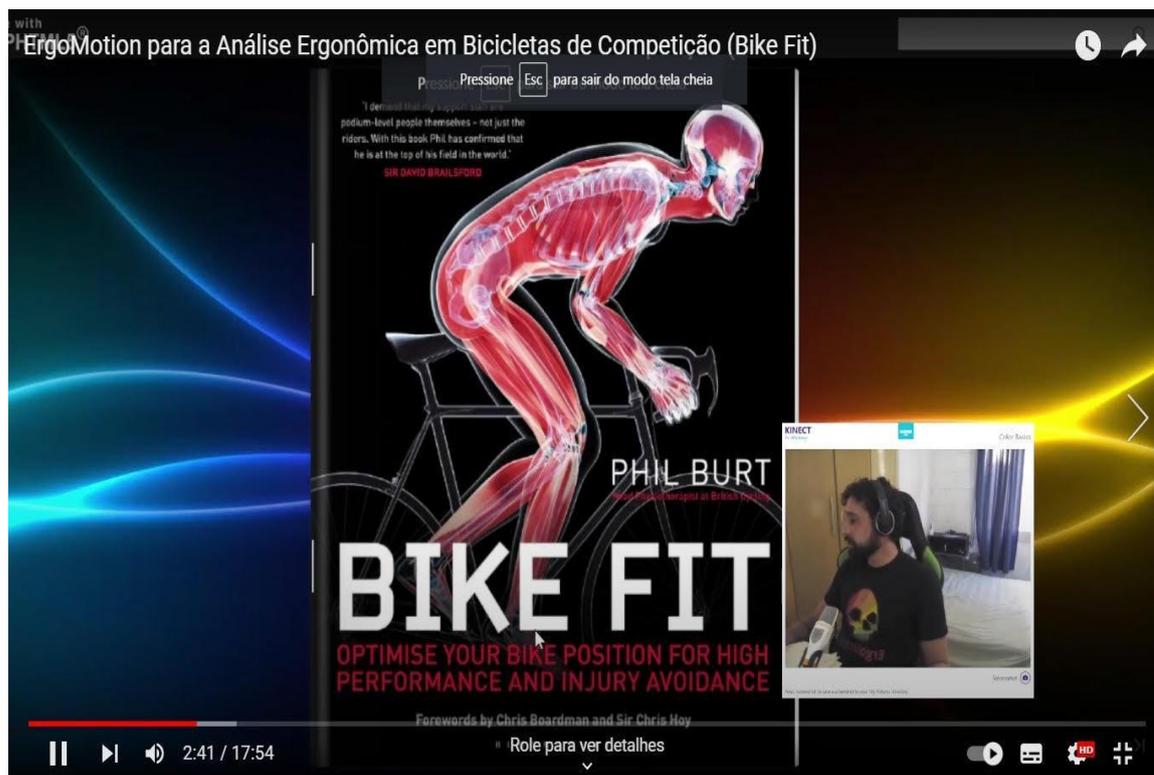
Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Figura 126: Explorando ErgoMotion – Análises biomecânicas e de cinesiologia.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Figura 127: ErgoMotion para análise ergonômica em bicicletas de competição (*Bike Fit*).



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

7. AVALIAÇÃO DO ARTEFATO.

Neste capítulo, realizamos uma análise empírica para validar a eficácia do aplicativo desenvolvido, primeiramente focando especialmente na captura de movimentos aplicados à cinesiologia. Importante destacar que, nesta fase da pesquisa, não se fez uso de goniômetro. O experimento consistiu na execução de movimentos humanos cinesiológicos, conforme descritos por Thompson e Floyd (2016) e detalhados no tópico 2.5 desta tese, os movimentos foram feitos por um ator posicionado diante de dois sensores de movimento *Kinect®* V.1.

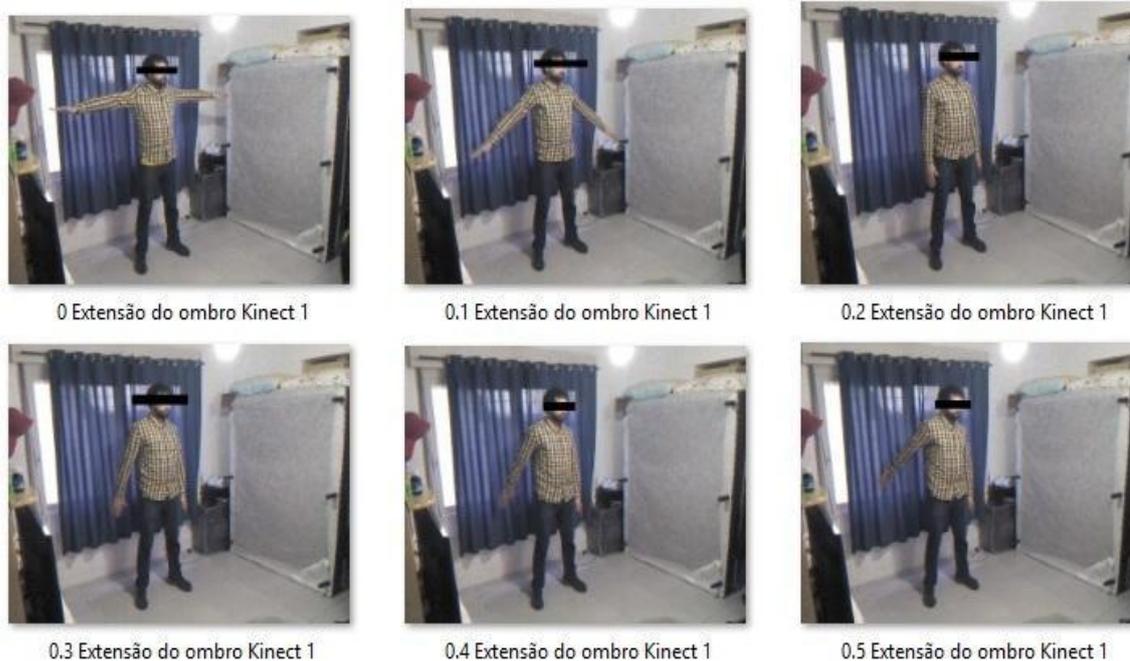
A captura desses movimentos é evidenciada pelas Figuras 128 e 129. A Figura 128 ilustra a captura do movimento de extensão do ombro com o primeiro dispositivo *Kinect,®* enquanto a Figura 129 apresenta a mesma ação capturada pelo segundo dispositivo *Kinect®*. É necessária a visão computacional por perspectivas diferentes, com câmeras dispostas paralelamente, para minimizar a oclusão de movimentos, assegurando uma coleta de dados mais abrangente e acurada. Esta abordagem é descrita em detalhes no tópico 6.3 da tese, onde o processo de captura de movimento é discutido juntamente com os *softwares* utilizados. A análise comparativa das figuras permite uma avaliação mais robusta da precisão e eficácia do aplicativo em registrar e analisar movimentos complexos, um aspecto fundamental para a validação do artefato proposto.

Na segunda parte da avaliação, a validação da biblioteca de de '*Bike fit*' foi realizada. Inicialmente, utilizaram-se gravações com uma bicicleta de estrada (*Road Bike*) feita sob medida para uma pessoa de 1 m 43 cm e uma bicicleta de montanha (*Mountain Bike*) com quadro pequeno e aro 26. Após compreender melhor o processo de '*Bike fit*', uma bicicleta ergométrica foi empregada para verificar os ângulos ideais sugeridos na literatura para quatro diferentes tipos de bicicletas de competição, e esses valores foram transferidos para cada articulação indicada para o corpo do ator. Posteriormente, utilizou-se um goniômetro sobre a tela do computador para comprovar a eficácia do *software*, verificando a correspondência dos ângulos medidos pelo aplicativo com aqueles sugeridos por Burt (2022).

No segmento final do Capítulo 7, procedemos com a avaliação detalhada de uma bicicleta ergométrica ajustada para um modelo de 1m 88 cm, com ângulos ideais para uma *Mountain Bike*. Esta etapa foi essencial para compreender a adaptabilidade e a eficácia do aplicativo em condições variadas de uso. Esta configuração permitiu

uma análise precisa da ergonomia e do desempenho do ciclista, focando em aspectos como o alinhamento postural, a eficiência dos movimentos e a interação ideal com a bicicleta.

Figura 128 - Captura dos movimentos com *Kinect 1* (Extensão do Ombro).



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Figura 129 - Captura dos movimentos com *Kinect 2* (Extensão do Ombro).



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

7.1 CINESIOLOGIA.

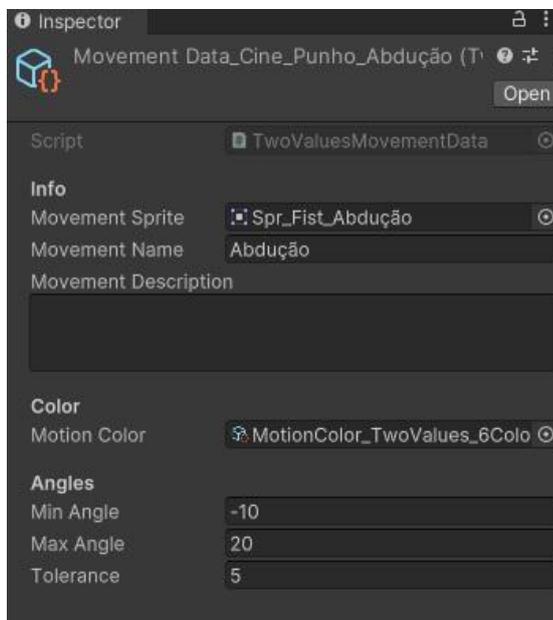
Após a fase de captura dos movimentos, procedeu-se à programação dos valores correspondentes às amplitudes máximas e mínimas. Estes foram divididos em seis estágios distintos, cada um representado por uma cor específica. É importante salientar que, quando uma articulação executa um movimento significativamente além dos ângulos estipulados, os indicadores de conforto são representados na cor cinza com transparência. Contudo, observou-se que a maioria dos movimentos capturados da cinesiologia não excedeu consideravelmente os ângulos de movimento predefinidos, resultando em uma ocorrência rara desta coloração nos indicadores. Por essa razão, essa variação específica de cor não é evidenciada nas imagens apresentadas.

Outro aspecto relevante a ser destacado é a possibilidade de o ator não ter alcançado a amplitude máxima indicada na literatura ou, em alguns casos, ter ultrapassado esse limite. O foco primordial nesta fase do projeto era o desenvolvimento de um *software* funcional, capaz de alterar dinamicamente as cores em resposta às variações de amplitude de movimento, priorizando a funcionalidade sobre a precisão absoluta em cada detalhe. Pesquisas futuras terão a oportunidade de aprofundar a precisão dos movimentos capturados pela cinesiologia, realizando comparações diretas entre as medições obtidas pelo *software* e aquelas feitas com um goniômetro, tanto para o ator em ação, quanto para o próprio *software*.

Adicionalmente, os valores referenciados na literatura foram adaptados para a nossa aplicação prática. Considerando que a captura de movimento inicia necessariamente na posição conhecida como "*T pose*", foi essencial determinar os valores X, Y e Z da articulação no espaço, para então adicionar ou subtrair os valores angulares correspondentes. Por exemplo, na abdução do punho, o intervalo de movimento varia de 0 a 20 graus, conforme mencionado no tópico 2.5 da tese. No entanto, o *software* foi programado para tolerar um intervalo ligeiramente mais amplo, começando na cor verde para valores entre -10° e culminado no vermelho em 20° (Figura 130), com o movimento ocorrendo no eixo Z e o indicador de conforto circundando a articulação no eixo Y (Figura 131). Esta adaptação foi realizada de maneira individualizada para cada articulação, iniciando com os padrões sugeridos pelo manual de goniometria de Amélia Pasqual Marques, mas ajustados conforme a

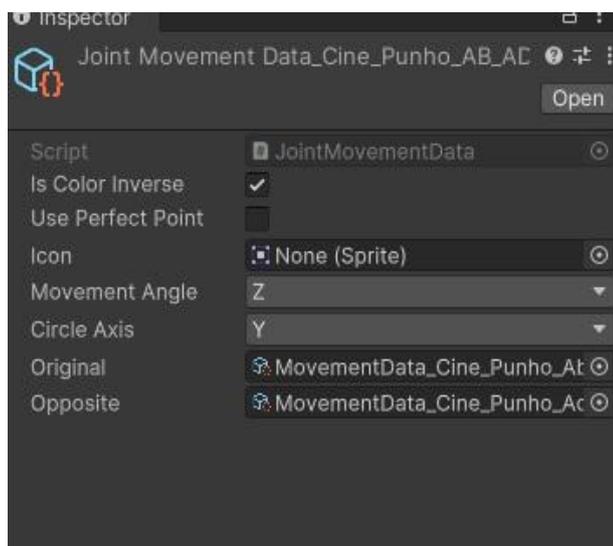
necessidade identificada durante a verificação do funcionamento do software com os movimentos capturados.

Figura 130 - Valores utilizados para abdução do punho no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Figura 131 - Eixo do movimento e sentido do círculo do sinalizador de conforto.

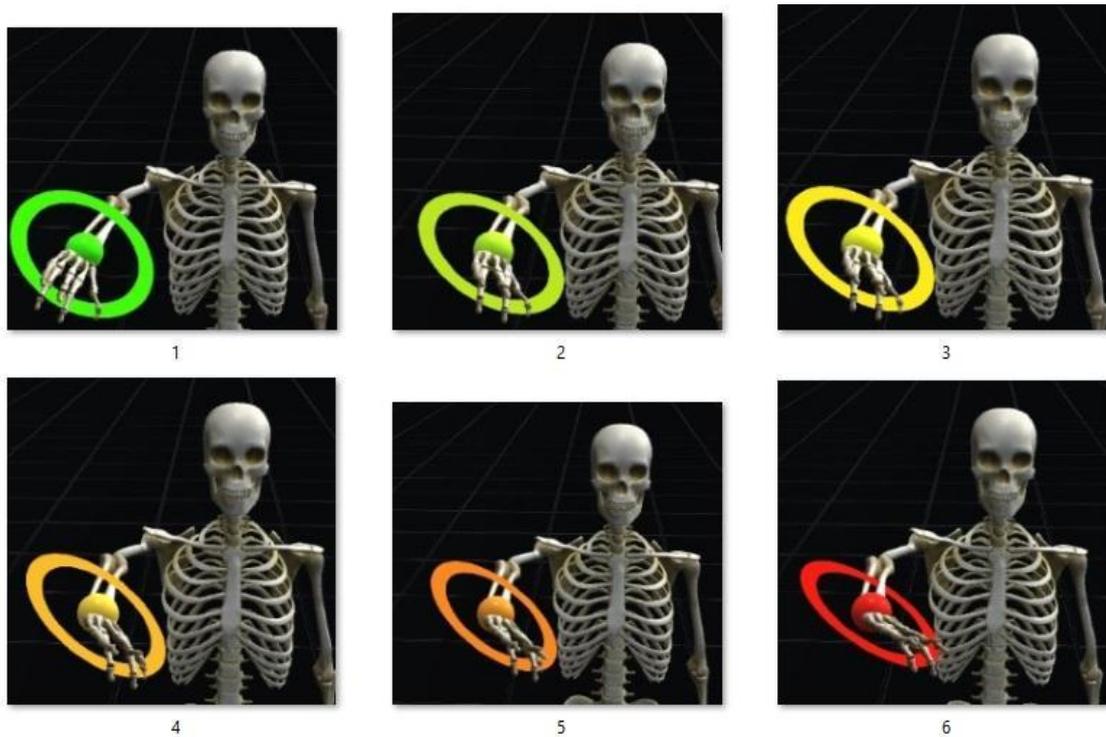


Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Punhos abdução: A Figura 132 apresenta uma sequência de seis quadros que ilustram a captura de movimento para o processo de abdução do punho, também conhecido como desvio radial, que varia de 0 a 20 graus. Observa-se o esqueleto

virtual com a mão em posição pronada movendo-se em direção ao eixo central do corpo. Cada quadro exibe um círculo colorido ao redor do punho, representando diferentes estágios da abdução capturada. Os círculos são codificados por cores, com o verde indicando a posição inicial neutra e o vermelho, a amplitude máxima de movimento. As cores intermediárias - amarelo e laranja - demonstram as variações progressivas da amplitude. A transição suave do verde ao vermelho confirma o sucesso da captura de movimento e a eficácia do sistema de cores em indicar as diferentes amplitudes de movimento durante a abdução do punho.

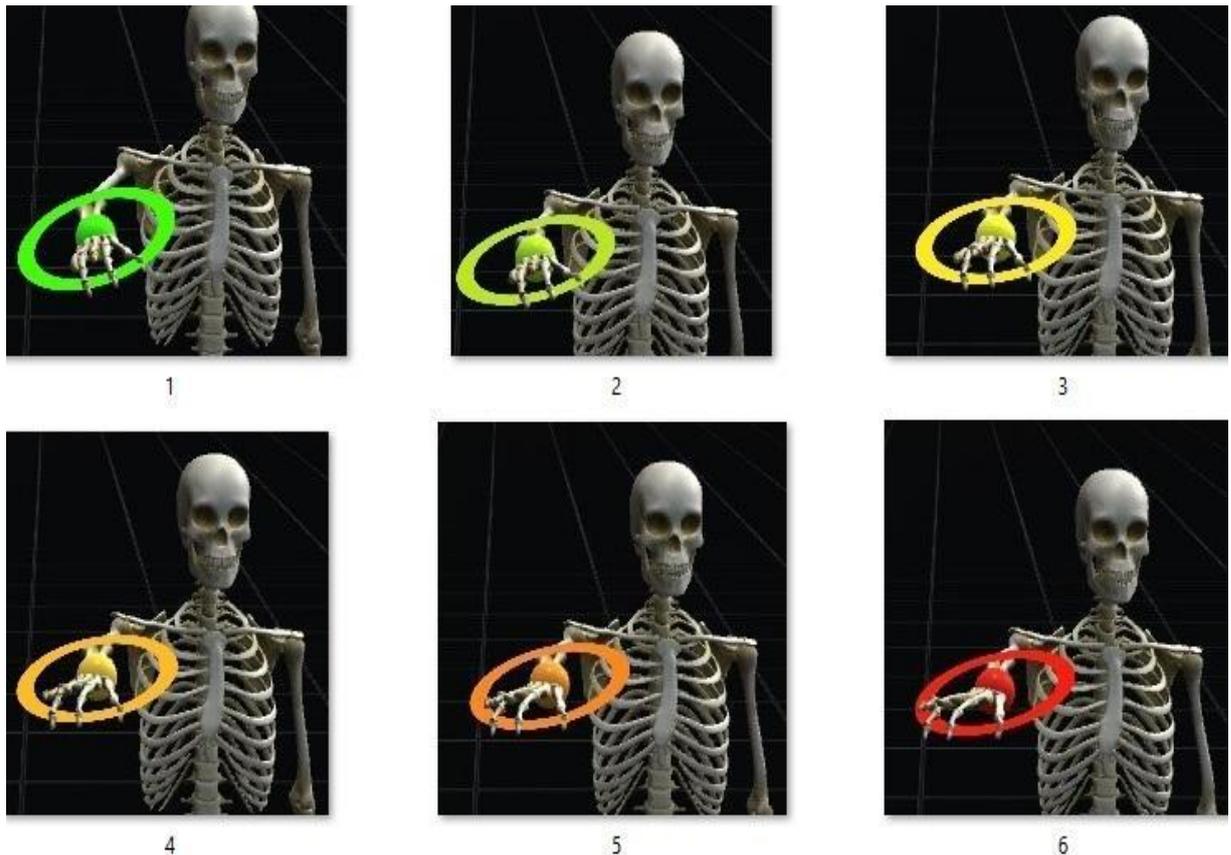
Figura 132: Representação visual da abdução do punho no Ergomotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Punhos adução: Na Figura 133, observamos uma série ilustrativa do movimento de adução do punho, também conhecido como desvio ulnar, que se estende de 0 a 45 graus. Diferentemente da abdução, a adução move a mão pronada para fora, afastando-se do eixo central do corpo. A imagem captura essa trajetória em seis quadros distintos, onde a transição de cores ao redor do punho - do verde inicial ao vermelho passando pelos seus estágios intermediários. Este espectro cromático não apenas indica o progresso da adução, mas também enfatiza a funcionalidade do ErgoMotion em registrar com precisão o alcance completo do movimento.

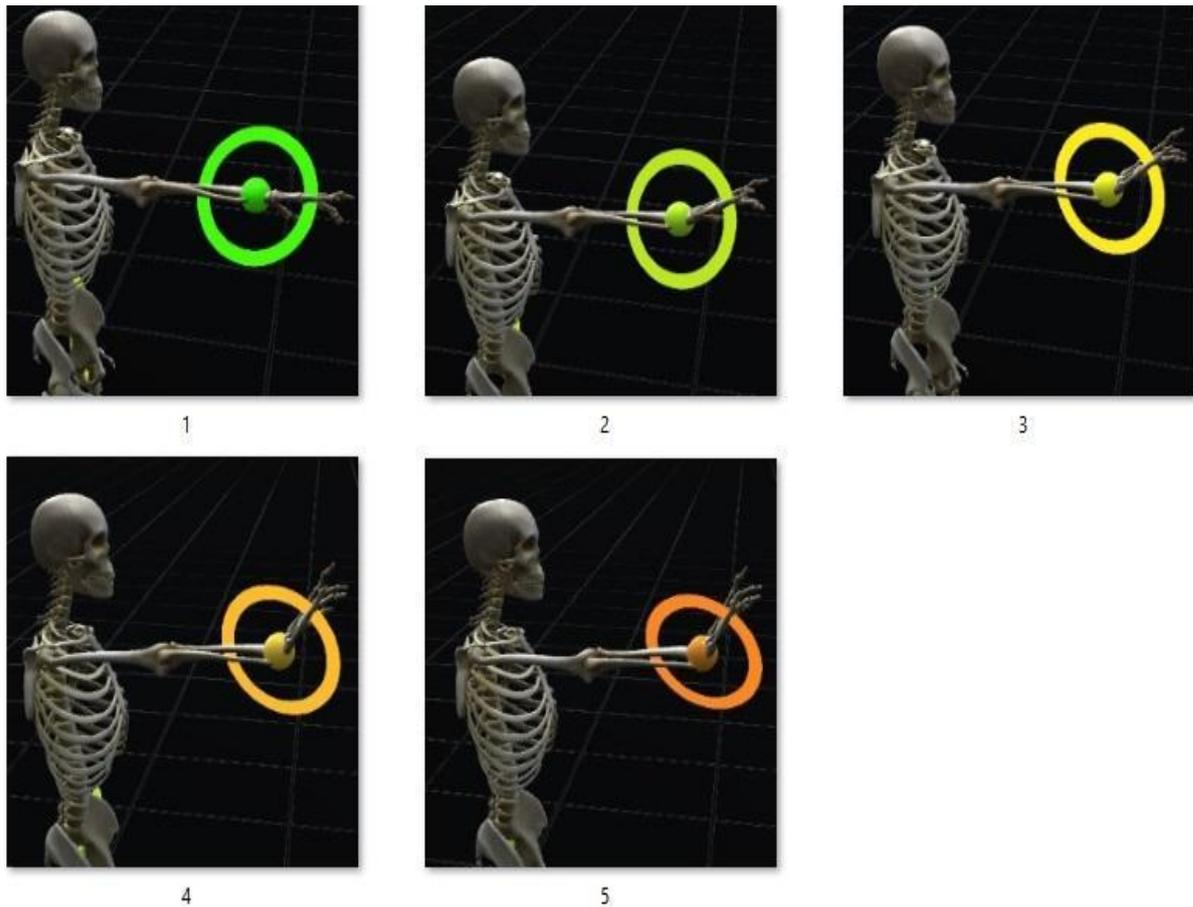
Figura 133: Sequência da adução do punho e suas amplitudes no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Punhos extensão: A Figura 134 ilustra o processo de extensão da mão, que abrange uma amplitude de movimento de 0 a 70 graus. Nesta sequência de imagens, é possível acompanhar a progressão da extensão, marcada por uma graduação de cores do ErgoMotion que vai do verde, simbolizando o início do movimento, até a tonalidade laranja, que representa um grau abaixo da amplitude máxima. Esta ligeira discrepância na representação da amplitude máxima pode ser atribuída à limitação do ator em atingir o grau extremo ou a uma eventual imprecisão na captura de movimento pelo *Kinect V1*. O espectro de cores utilizado aqui serve para evidenciar os níveis de extensão alcançados e destaca a utilidade do ErgoMotion em fornecer uma visualização quantitativa do movimento, apesar das variações observadas.

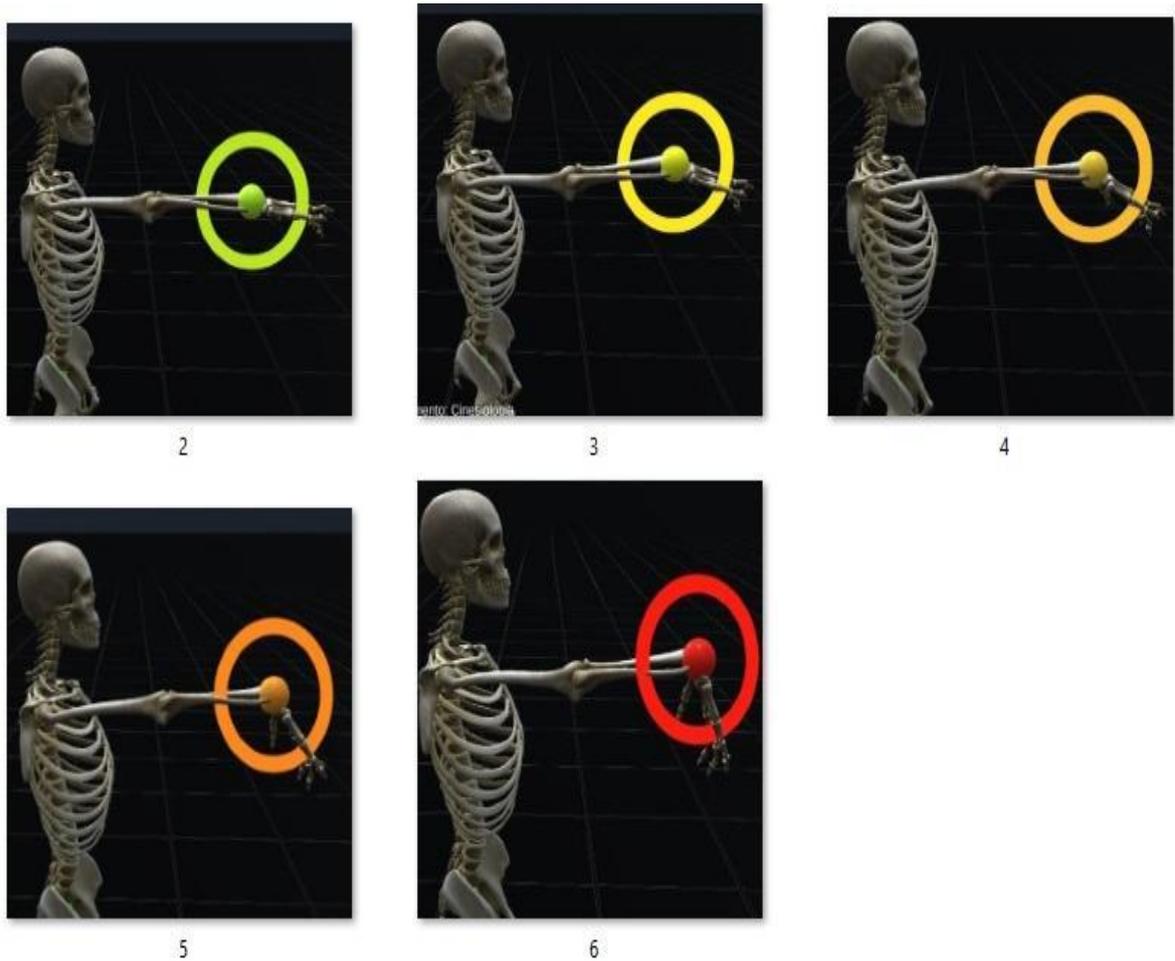
Figura 134: Visualização da extensão do punho no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Punhos flexão: A Figura 135 demonstra a flexão do punho, um movimento que abrange de 0 a 90 graus. A imagem capta a mão pronada com os dedos se movendo em direção ao antebraço, um gesto oposto ao da extensão discutida anteriormente. Notavelmente, a animação não se inicia com o verde-lima, indicativo da posição neutra, mas já em um estágio avançado, progredindo em direção ao vermelho, evidenciando cinco estágios distintos das cores do ErgoMotion. Isso pode indicar que a gravação começou com o ator já com a mão parcialmente flexionada, ou pode ser um reflexo de limitações na captura de dados pelo *Kinect V.1*. Esse detalhe sublinha a necessidade de assegurar uma calibração inicial precisa dos movimentos na captura, para garantir a acurácia dos dados ergonômicos.

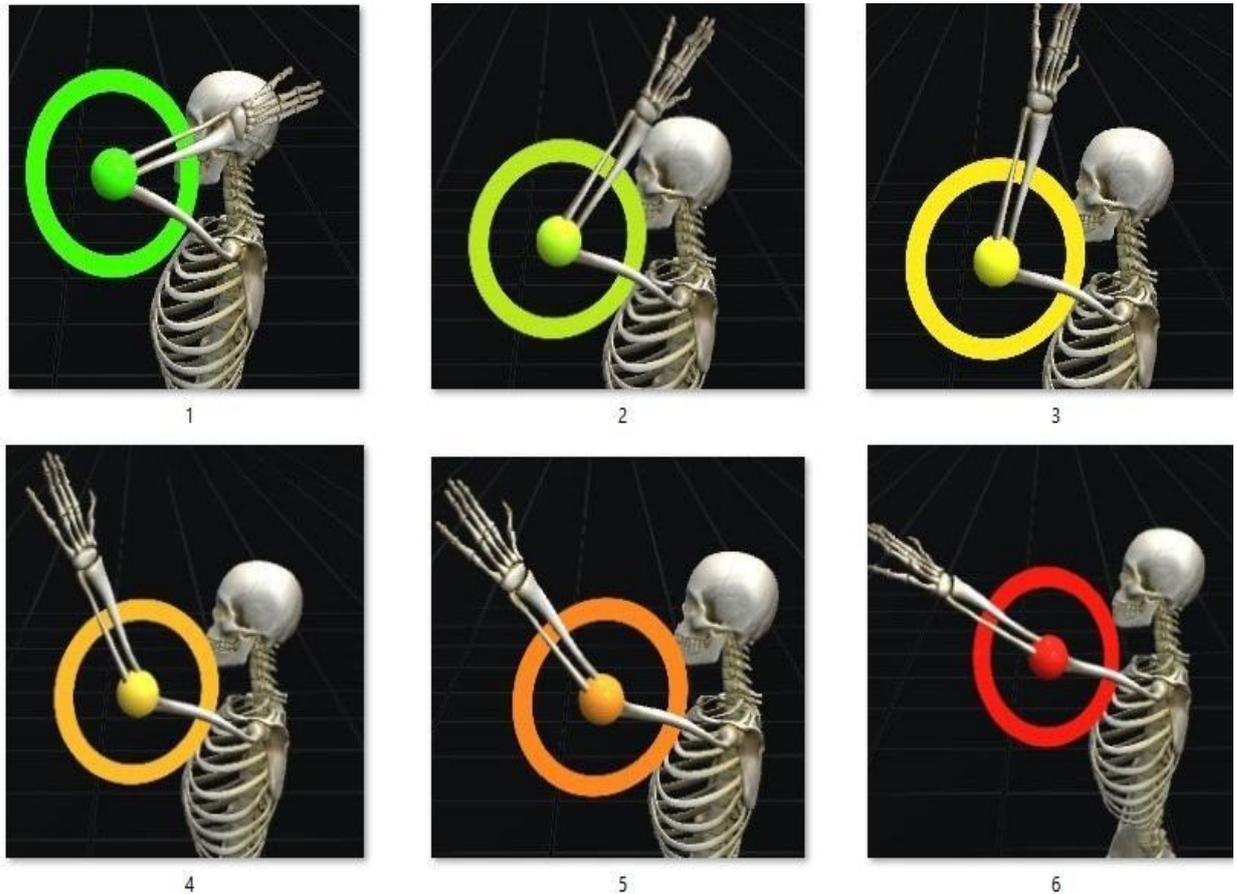
Figura 135: Visualização da flexão do punho no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Cotovelos extensão: A Figura 136 exibe com precisão a extensão do cotovelo dentro do ErgoMotion, abrangendo uma amplitude de 145 a 0 graus. As imagens revelam uma simulação detalhada do movimento, com o *software* interpretando e ilustrando cada fase da extensão do cotovelo através dos seis estágios de cor. A sequência inicia com o verde, representando o cotovelo totalmente estendido a 145 graus, e progride através dos matizes de amarelo e laranja, culminando no vermelho que indica a posição neutra de 0 graus. Esta representação visual é um testemunho da capacidade do ErgoMotion de traduzir com exatidão os diferentes níveis de movimento, evidenciando todas as cores e estágios de forma clara e distintiva.

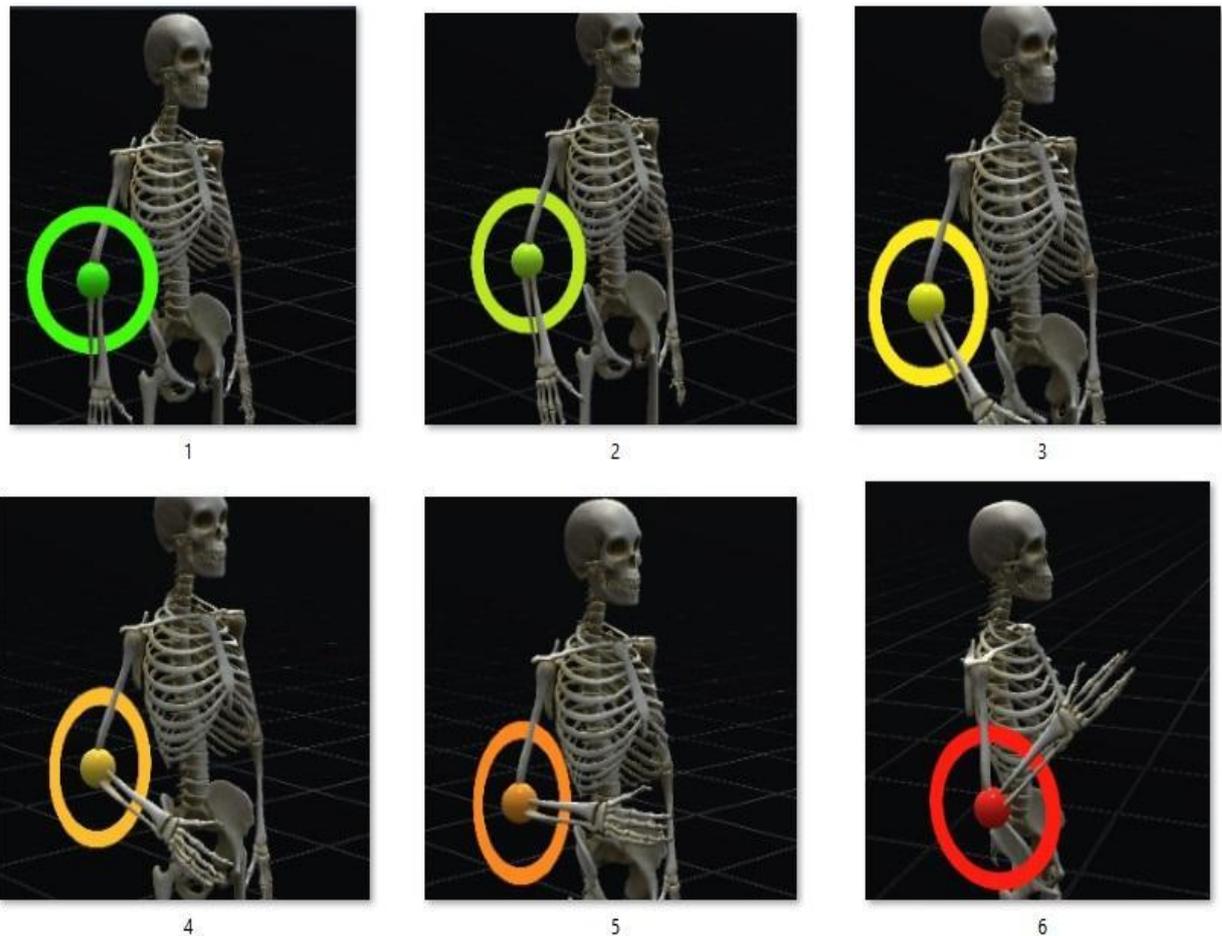
Figura 136: Interpretação visual dos estágios de extensão do cotovelo no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Cotovelos flexão: A Figura 137 captura a flexão do cotovelo, o movimento oposto à extensão, detalhado pelo ErgoMotion. Neste caso, a amplitude do movimento é inversa, indo de 0 a 145 graus. As imagens retratam a simulação do movimento de flexão com todas as cores do sistema representadas adequadamente. A sequência colorimétrica acompanha o movimento desde o estágio inicial de 0 graus, representado pela cor vermelha, passando pelas nuances de laranja e amarelo, e finalizando no verde, que simboliza o cotovelo completamente flexionado a 145 graus. A precisão com que o ErgoMotion ilustra a flexão do cotovelo demonstra a eficácia do *software* em diferenciar e visualizar cada fase do movimento de maneira nítida e exata.

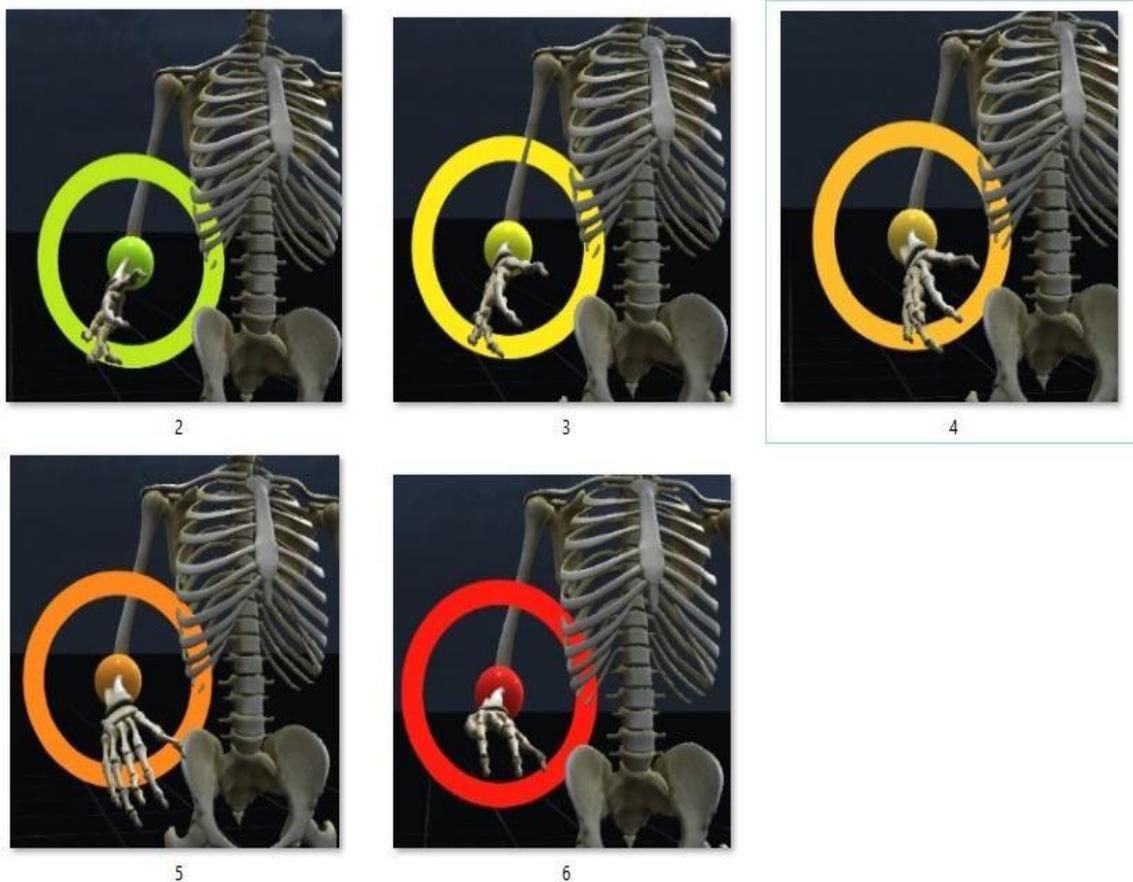
Figura 137: Visualização dos estágios de flexão do cotovelo no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Cotovelos pronação: A Figura 138 apresenta a pronação do antebraço, um movimento que varia de 0 a 90 graus. Aqui, o ErgoMotion inicia a captura já em um estágio avançado da pronação, pulando a fase inicial verde-lima, devido ao ator começar com uma leve pronação da mão. O movimento de pronação envolve girar a palma da mão para baixo a partir de uma posição inicial com o dedo voltado para cima, semelhante a um aperto de mão. As imagens mostram esse movimento com uma sequência de cinco imagens com cores que evoluem do verde já com alguns tons de amarelo e culminam no vermelho, representando a pronação máxima.

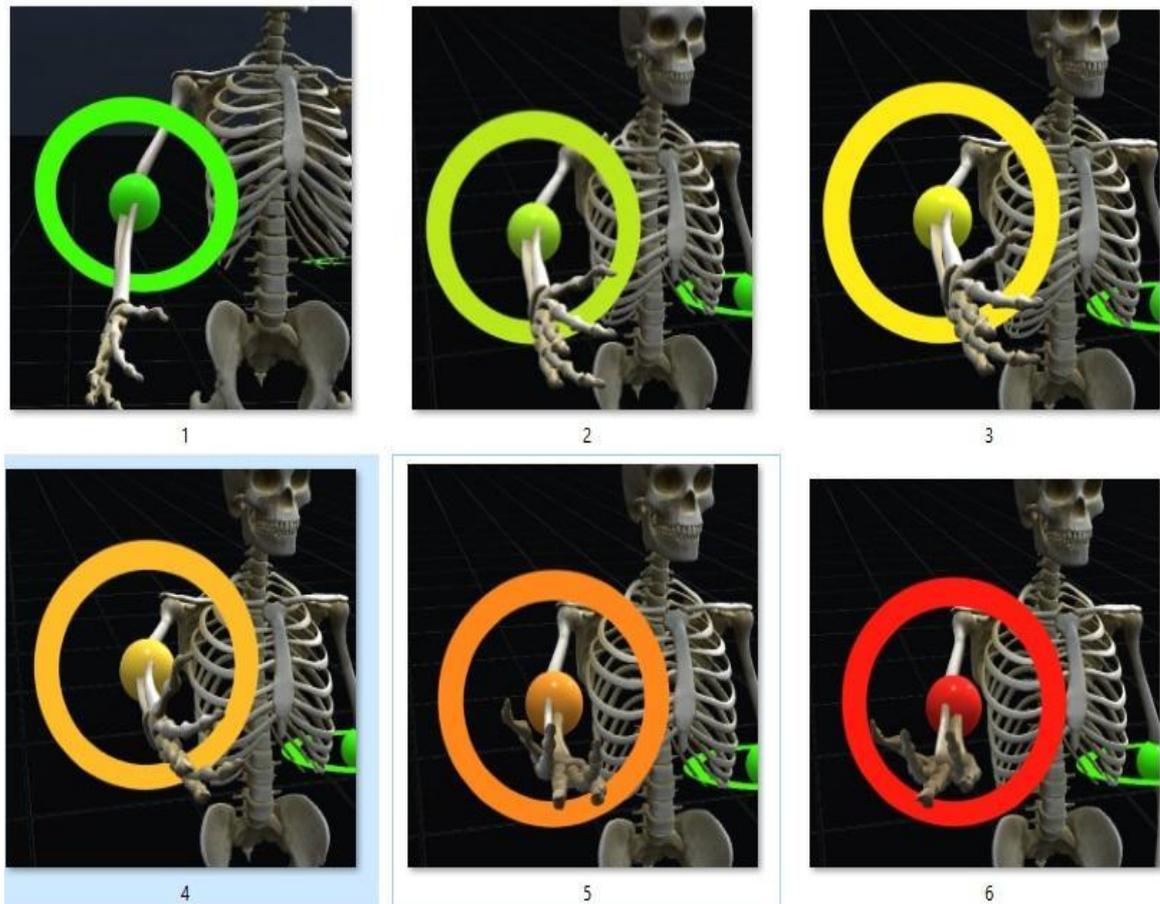
Figura 138: Demonstração visual da pronação do antebraço no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Cotovelos supinação: A Figura 139 demonstra o movimento de supinação do antebraço, que varia de 0 a 90 graus. Este movimento inicia com o dedo voltado para cima, progredindo com a rotação da mão até a palma ficar voltada para cima. No ErgoMotion, o início da supinação é representado pela cor verde, simbolizando a posição inicial neutra. Conforme o movimento avança, as cores transitam por tons de amarelo e laranja, alcançando finalmente o vermelho, indicativo da supinação máxima. Este gradiente de cores ilustra de forma eficiente e precisa as diversas fases do movimento de supinação do antebraço.

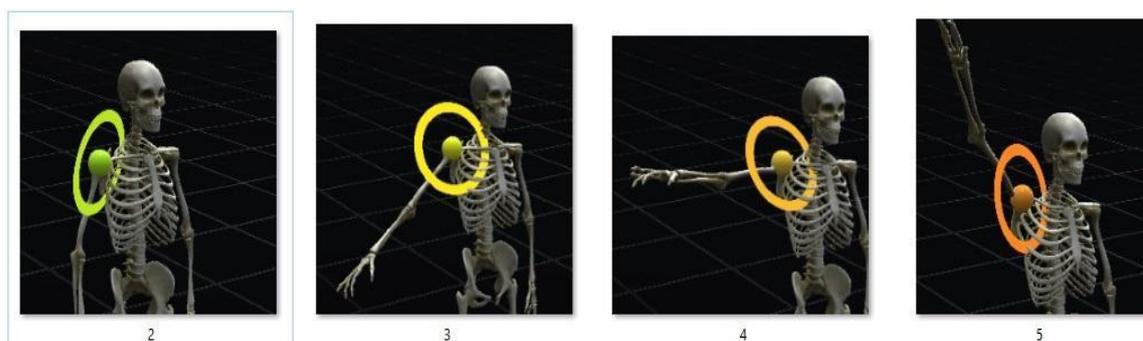
Figura 139: Visualização completa da supinação do antebraço no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Ombros abdução: A Figura 140 retrata o movimento de abdução do braço, com uma amplitude que varia de 0 a 180 graus. Este movimento consiste em elevar o braço para longe do corpo, direcionando-o em direção à cabeça. A imagem revela que, nesta experiência específica, o ErgoMotion mostra apenas quatro estágios de cores, começando a partir de um segundo estágio verde e culminando no laranja, em vez de progredir até o vermelho. Isso pode indicar que o ator não conseguiu atingir a amplitude máxima de movimento e possivelmente não iniciou o movimento na amplitude neutra, ou, pode haver uma limitação na captura de movimentos pelo *Kinect® V1*. Essa observação sugere a necessidade de avaliar a precisão da captura e a capacidade do ator em alcançar as amplitudes esperadas, para garantir a fidelidade dos dados ergonômicos coletados.

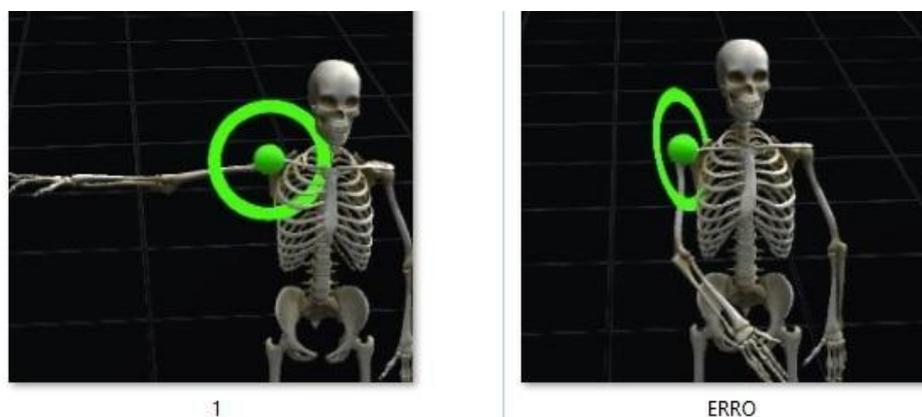
Figura 140: Visualização dos estágios de abdução do ombro no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Ombros adução: A Figura 141 apresenta o movimento de adução do braço, com uma amplitude de 0 a 40 graus. Este movimento envolve levar o braço em direção ao corpo, em um movimento oposto à abdução. Na visualização capturada pelo ErgoMotion, percebe-se que o movimento é consistentemente representado na cor verde, sem variações de amplitude. Isso pode indicar uma limitação do *Kinect® V1* em capturar este movimento específico do tubérculo maior do úmero, que envolve uma rotação interna potencialmente difícil de ser detectada pelos sensores. Este resultado aponta para a necessidade de aprimoramento na tecnologia de captura para movimentos sutis e internos do corpo, visando uma maior precisão no sistema.

Figura 141: Interpretação do movimento de adução do braço no ErgoMotion com predominância da cor verde-lima.

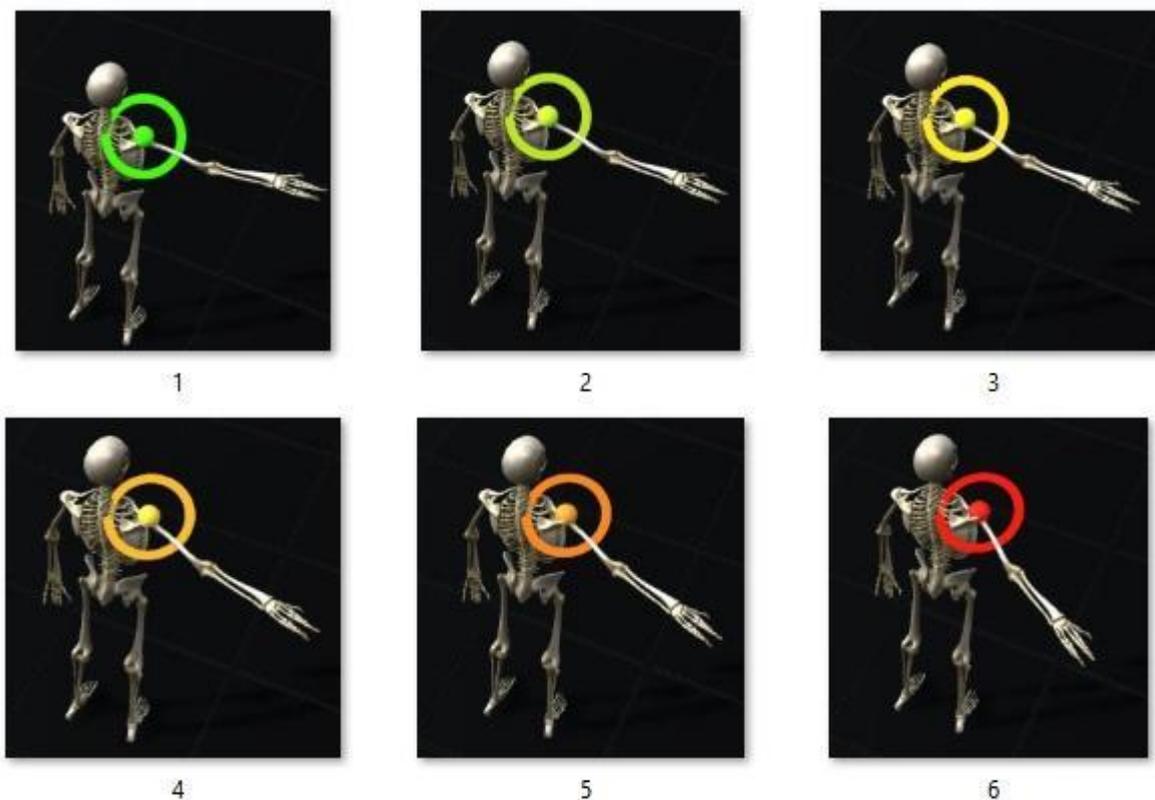


Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Ombros abdução horizontal: A Figura 142 apresenta o movimento de abdução horizontal do braço, que tem uma amplitude de 0 a 30 graus. Este movimento envolve mover o braço para fora, afastando-se da linha média do corpo. No ErgoMotion, a visualização deste movimento é feita de forma precisa e clara,

mostrando todas as cores do sistema em funcionamento. A sequência começa com o verde-lima, representando a posição inicial ou neutra, e progride através de tons de verde, amarelo e laranja, culminando no vermelho para indicar a amplitude máxima de abdução. Esta representação detalhada pelo ErgoMotion confirma sua eficácia em capturar e ilustrar as várias fases da abdução horizontal do braço, oferecendo uma ferramenta visual intuitiva e eficaz para análise ergonômica.

Figura 142: Representação detalhada da abdução horizontal do braço no ErgoMotion.

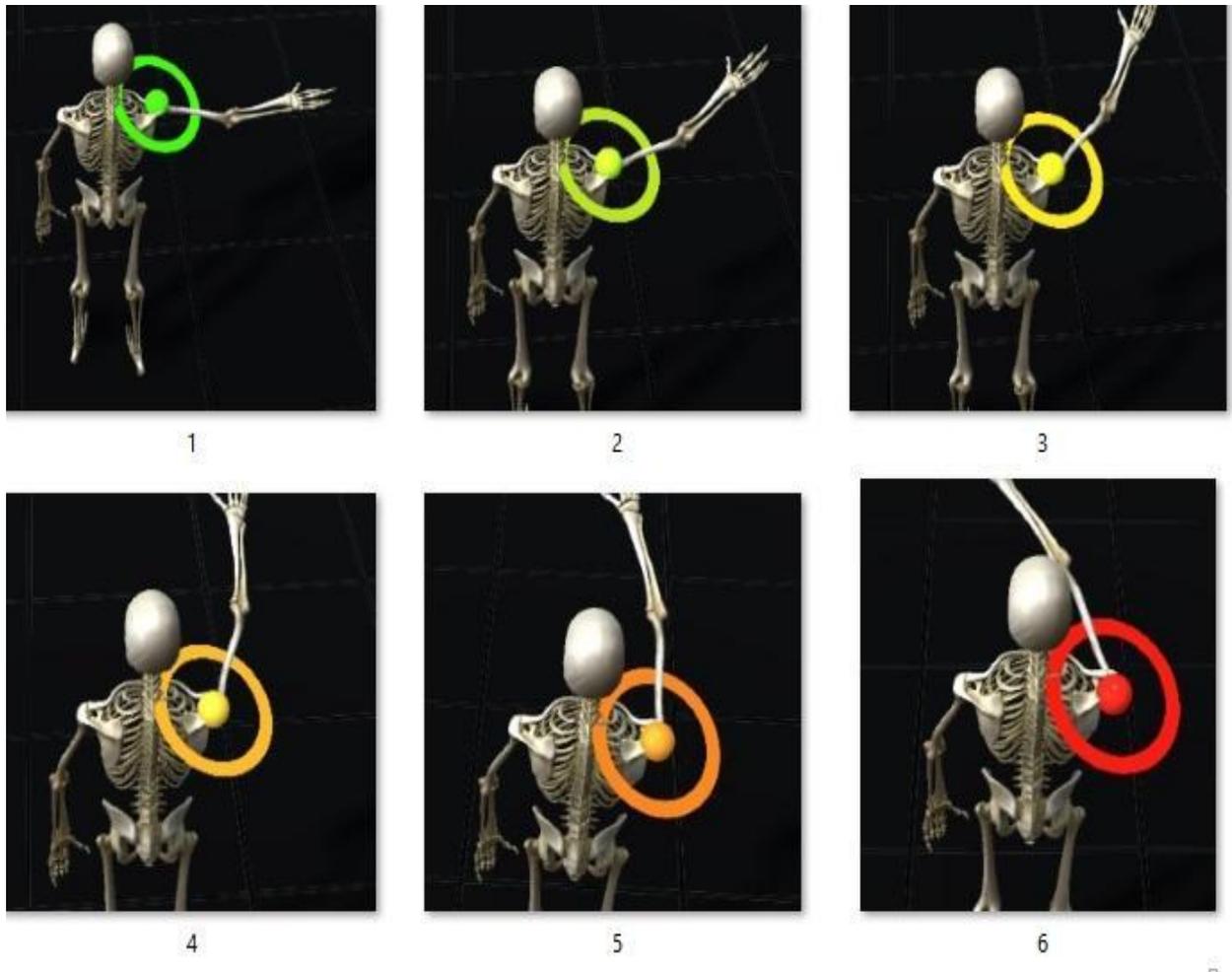


Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Ombros adução horizontal: A Figura 143 ilustra o movimento de adução horizontal do braço, com uma amplitude que vai de 0 a 140 graus. Neste movimento, o braço é deslocado para dentro, aproximando-se da linha média do corpo. A série de imagens capturadas no ErgoMotion exibe o funcionamento correto do sistema, com cada uma das seis cores representando diferentes estágios do movimento. O espectro inicia com o verde, indicando a posição inicial ou neutra, e segue através dos tons de amarelo e laranja, até chegar ao vermelho, que simboliza a máxima adução. A representação visual no ErgoMotion oferece uma interpretação precisa e clara das

várias fases da adução horizontal do braço, demonstrando sua eficácia como uma ferramenta intuitiva para análises ergonômicas.

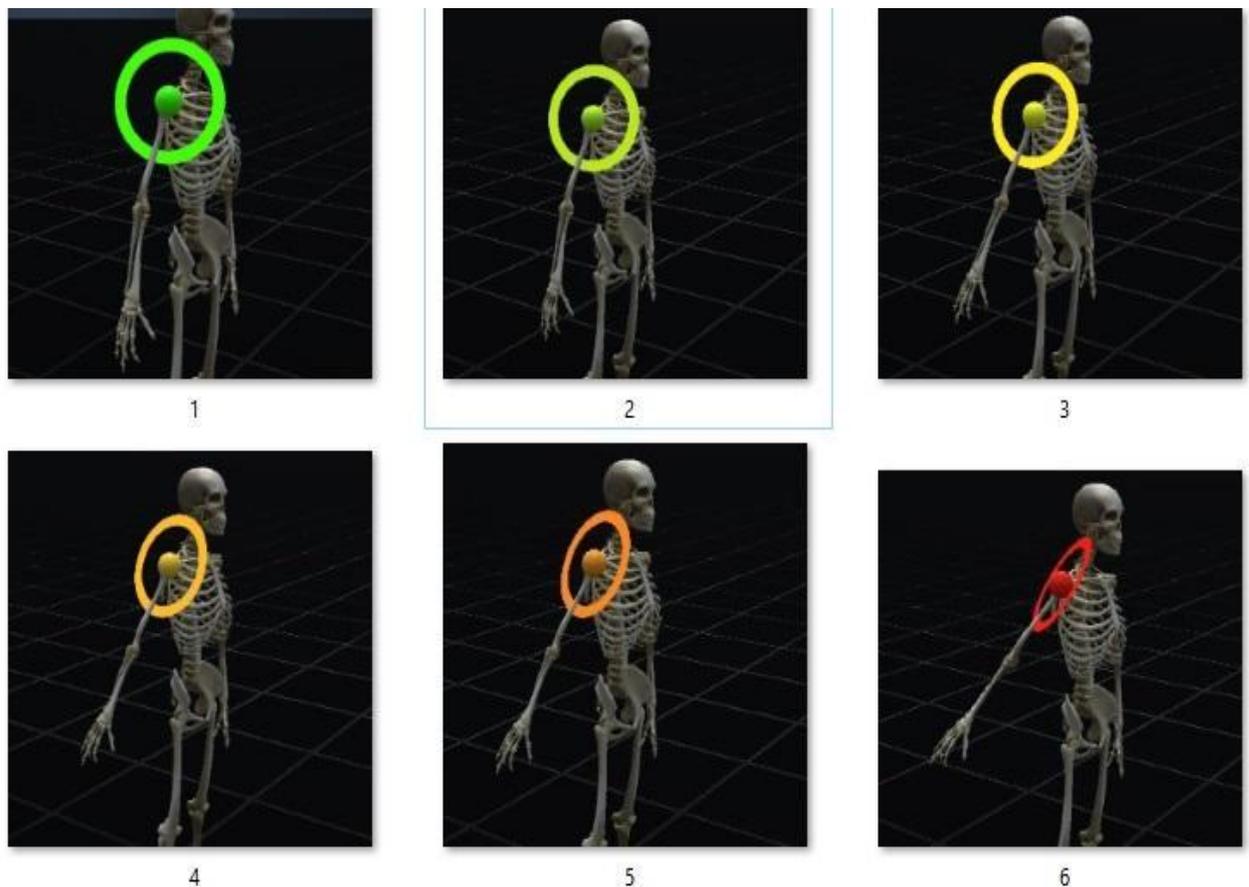
Figura 143: Visualização completa da adução horizontal do braço no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Ombros extensão: A Figura 144 apresenta o movimento de extensão do braço, com uma amplitude de 0 a 45 graus. Neste movimento, o braço é deslocado para trás, distanciando-se do corpo. No ErgoMotion, a sequência do movimento é visualizada através de um espectro completo de seis cores, iniciando com o verde-lima para a posição inicial ou neutra. À medida que a extensão progride, a representação passa por várias nuances, incluindo tons de verde mesclados com amarelo, seguidos por laranja claro e escuro, até chegar ao vermelho, indicando a extensão máxima. Esta variedade de cores no ErgoMotion ilustra com precisão cada fase da extensão do braço.

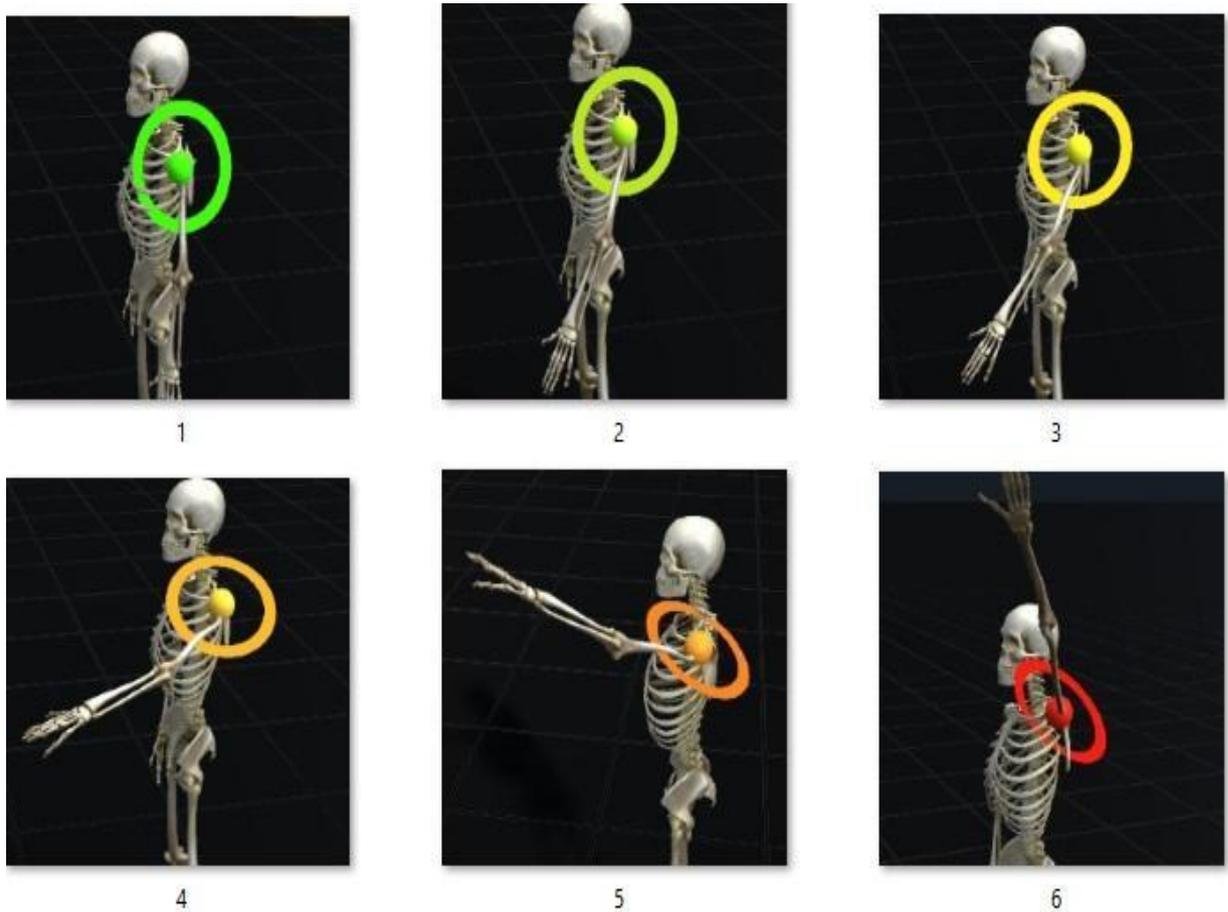
Figura 144: Ilustração completa da extensão do braço no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Ombros flexão: A Figura 145 retrata o movimento de flexão do braço, com uma amplitude de 0 a 180 graus, onde o braço é levado para a frente. A sequência de imagens no ErgoMotion mostra este movimento sendo capturado perfeitamente, refletindo a gama completa de amplitude. Iniciando com o verde-lima, que simboliza a posição inicial neutra, o espectro de cores transita através de diferentes tonalidades - passando por amarelo, laranja claro e escuro - até chegar ao vermelho, indicando a flexão máxima. Esta representação visual detalhada e colorida no ErgoMotion evidencia sua capacidade de ilustrar com precisão e clareza cada etapa da flexão do braço, proporcionando uma ferramenta valiosa para análises ergonômicas detalhadas.

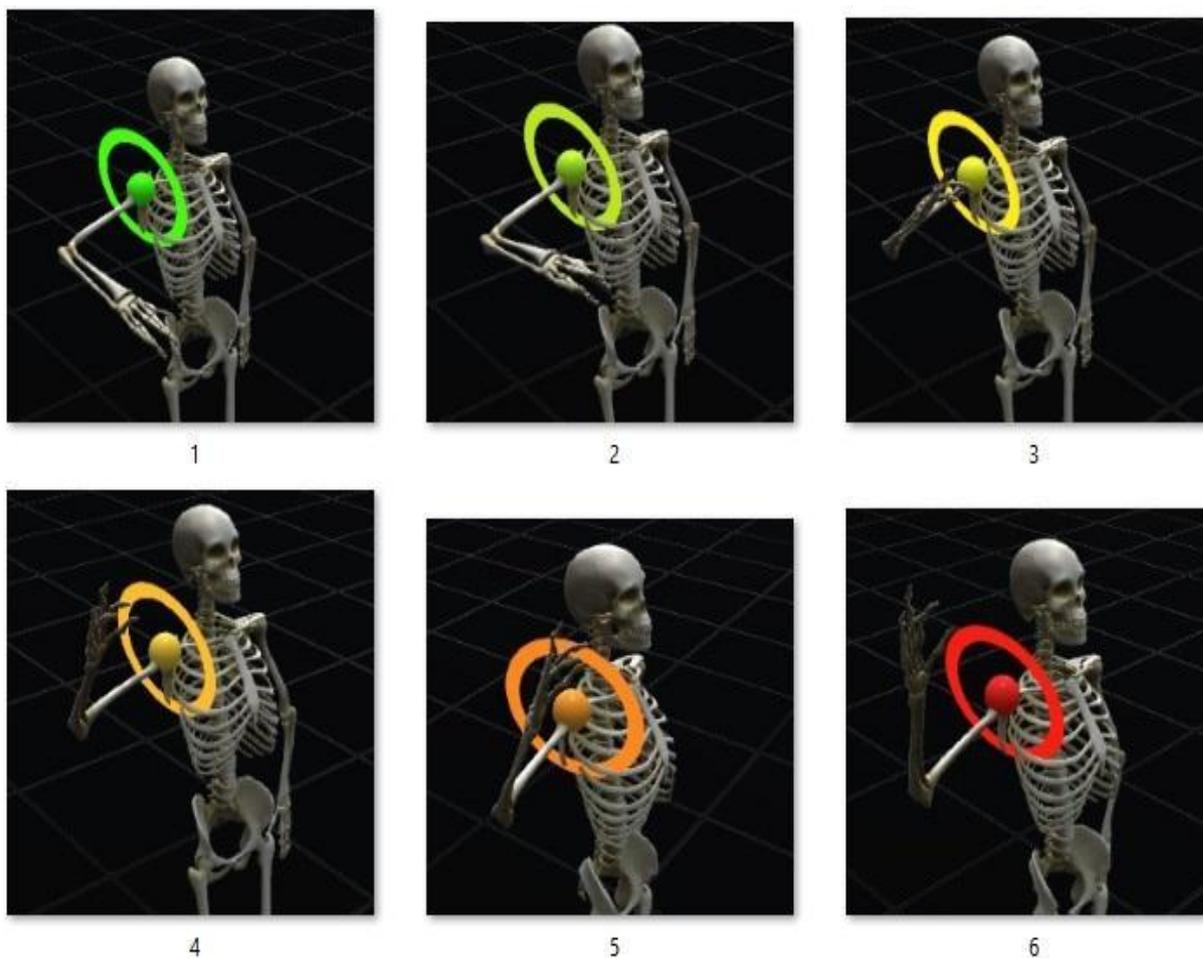
Figura 145: Visualização completa da flexão do braço no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Ombros rotação lateral: A Figura 146 exibe a rotação lateral do braço, abrangendo uma amplitude de 0 a 90 graus. Neste movimento, o braço é rotacionado para fora, distanciando-se do corpo. A visualização no ErgoMotion retrata com eficiência esta ação, apresentando uma sequência clara de cores desde a fase inicial até o limite de rotação. O espectro começa no verde-lima, avança por graduações variadas que incluem tons de amarelo até chegar ao laranja, e finaliza no vermelho, indicando o ponto de rotação máxima. Esta abordagem no ErgoMotion evidencia a capacidade do sistema em representar de forma dinâmica e intuitiva o completo arco da rotação lateral do braço.

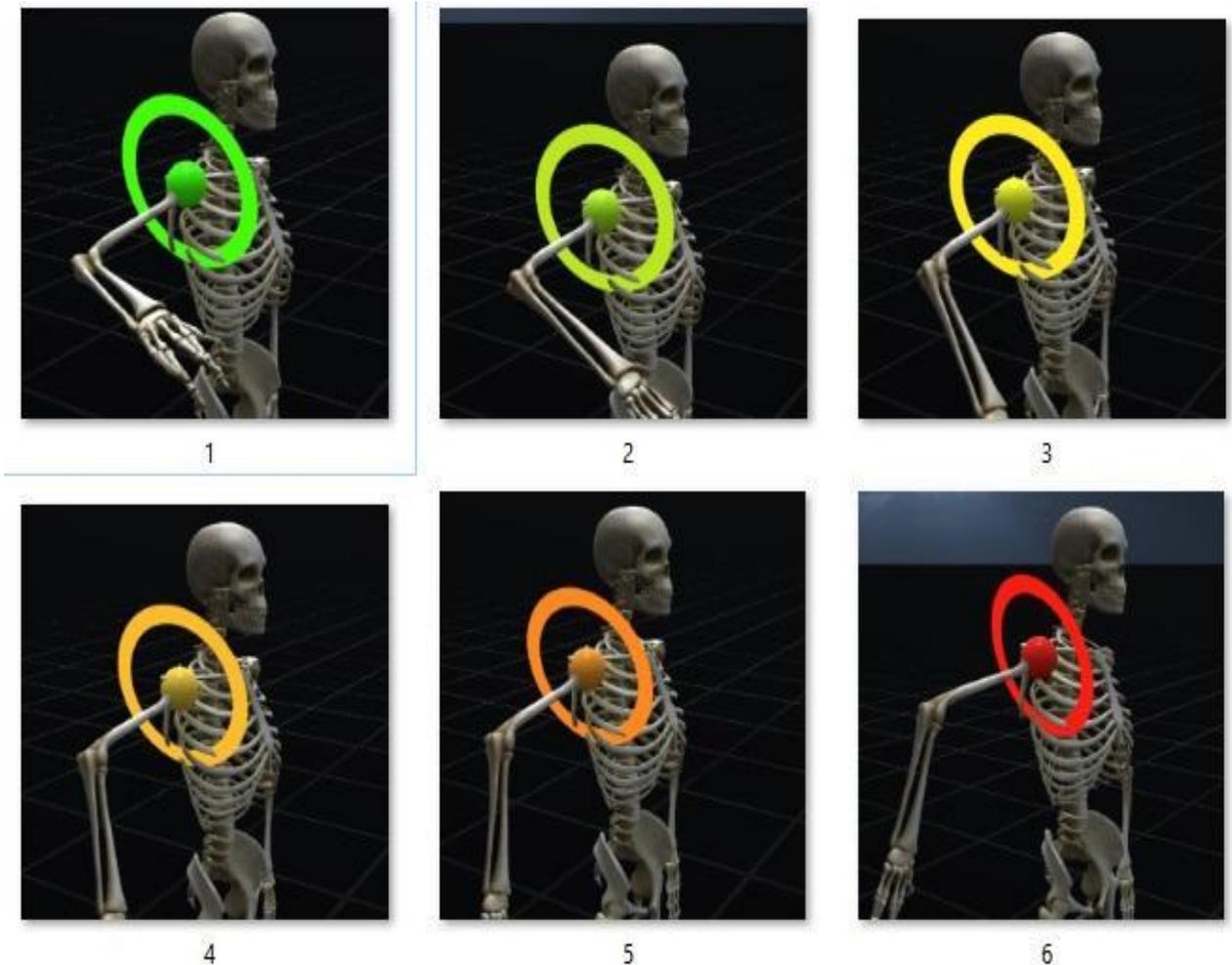
Figura 146: Ilustração da rotação lateral do braço no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Ombros rotação medial: A Figura 147 ilustra a rotação medial do braço, com uma amplitude de 0 a 90 graus, envolvendo a rotação do braço para dentro, trazendo a mão em direção ao corpo. Este movimento, oposto à rotação lateral, é capturado no ErgoMotion com uma sequência variada de cores intuitivas, destacando a eficácia do sistema. As imagens mostram a transição do movimento começando no verde-lima, que representa a posição neutra, e avançando através de diferentes cores, até atingir o vermelho, que indica a amplitude máxima de rotação. Esta representação no ErgoMotion demonstra com clareza a progressão completa da rotação medial do braço, refletindo com precisão cada estágio do movimento.

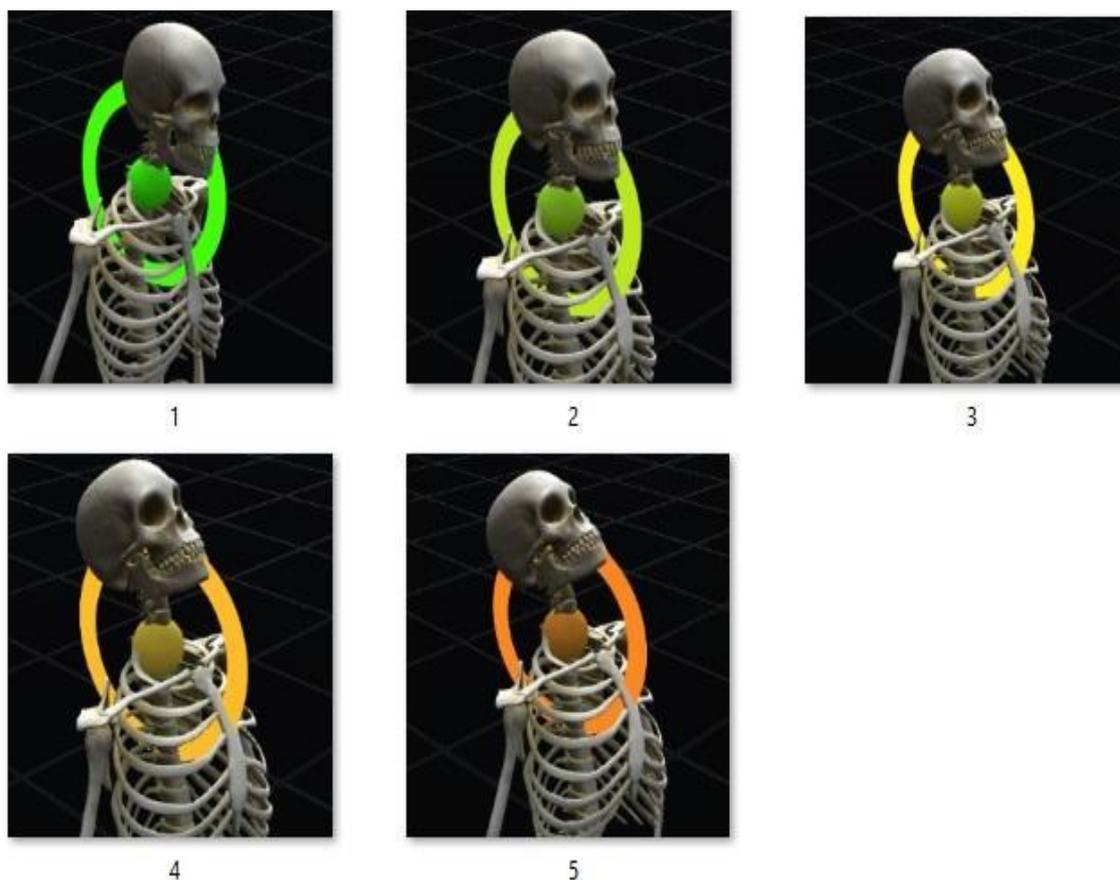
Figura 147: Visualização completa da rotação medial do braço no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Cervical extensão: A Figura 148 captura o movimento de extensão da região cervical, que é a inclinação para trás do pescoço, com uma amplitude variando de 0 a 50 graus. Nas imagens, percebe-se que a amplitude máxima, normalmente representada pela cor vermelha, não é completamente atingida. Isso pode ser devido à limitação física do ator em alcançar a extensão máxima de 50 graus. Além disso, não se descarta a possibilidade de haver erros no processo de captura do movimento pelo *Kinect V1*, o que poderia contribuir para a falta de representação total da amplitude.

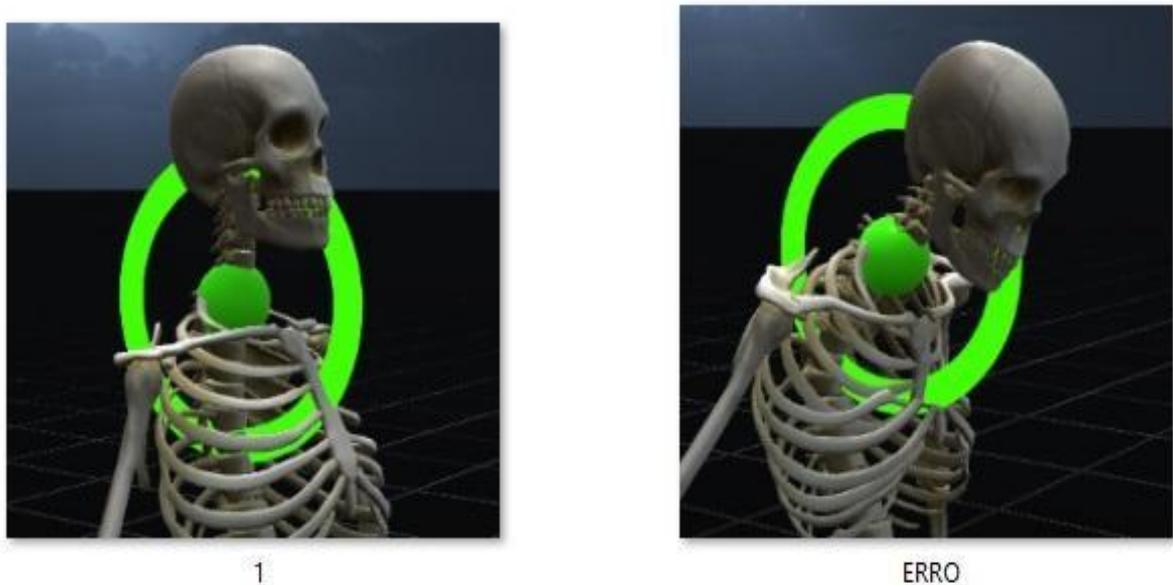
Figura 148: Visualização do movimento de extensão cervical no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Cervical flexão: A Figura 149 apresenta a flexão da região cervical, um movimento que varia de 0 a 65 graus, sendo o oposto da extensão cervical. Nas imagens, observa-se que este movimento específico não foi adequadamente representado no ErgoMotion. A ausência de resposta efetiva do sistema para a flexão cervical, enquanto a extensão é capturada com sucesso, indica uma discrepância que requer investigação mais aprofundada. Pode haver fatores técnicos associados à captação de movimentos frontais pelo *Kinect V1* que não se aplicam à captação de movimentos posteriores. Alternativamente, essa diferença pode estar relacionada à própria natureza dos movimentos cervicais e como eles são registrados pelo sistema. A identificação e análise dessas variáveis são essenciais para entender a limitação observada e para o desenvolvimento de soluções que garantam uma captura abrangente e precisa de todos os movimentos cervicais no ErgoMotion.

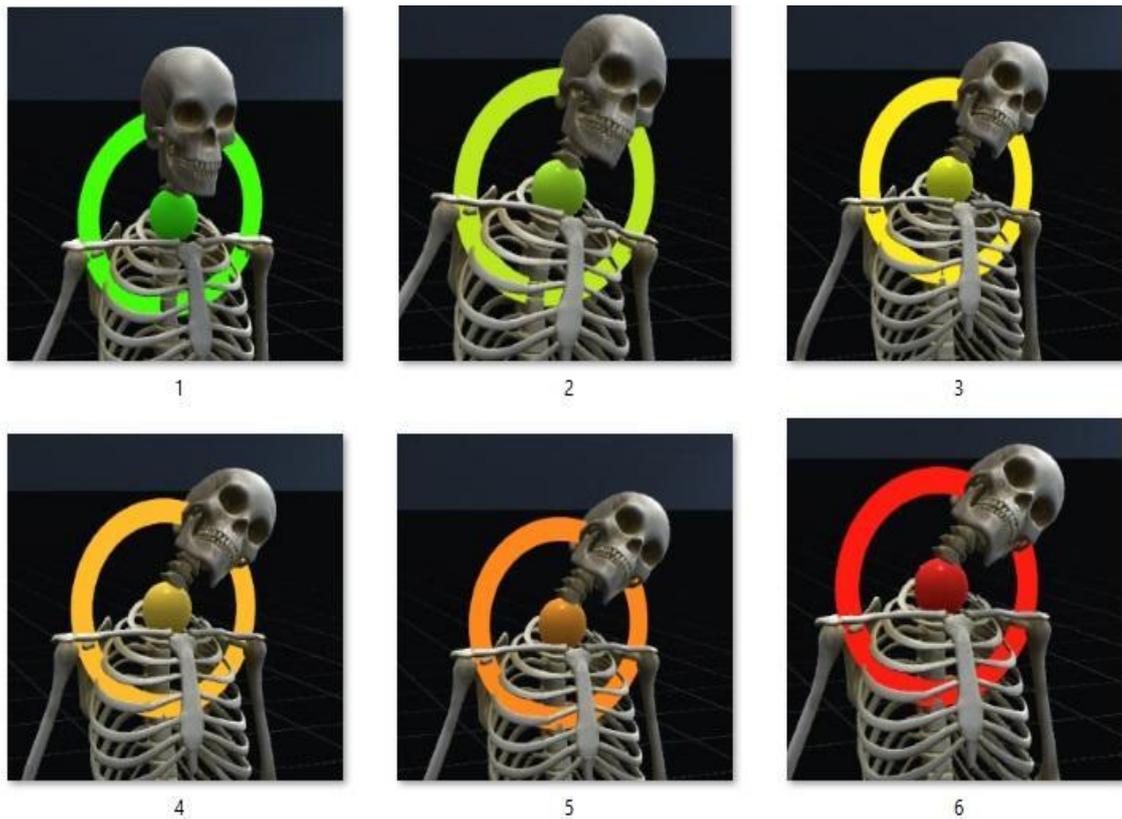
Figura 149: Análise da flexão cervical no ErgoMotion e Identificação de erro na captura do movimento.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Cervical flexão lateral: A Figura 150 exibe a flexão lateral da região cervical, um movimento que consiste na inclinação do pescoço para a direita ou para a esquerda, com uma amplitude de 0 a 40 graus. No ErgoMotion, a eficácia na captura deste movimento é claramente evidente, com as imagens mostrando a representação completa de todas as seis cores do sistema. A sequência inicia com o verde-lima, simbolizando o estado inicial ou neutro da flexão lateral, e progride através de uma graduação de outras 4 cores em uma escala tonal que culmina no vermelho, que marca a amplitude máxima alcançada. Esta representação no ErgoMotion confirma sua precisão e eficiência em mapear detalhadamente cada fase da flexão lateral cervical, proporcionando uma visualização intuitiva e detalhada para análises ergonômicas.

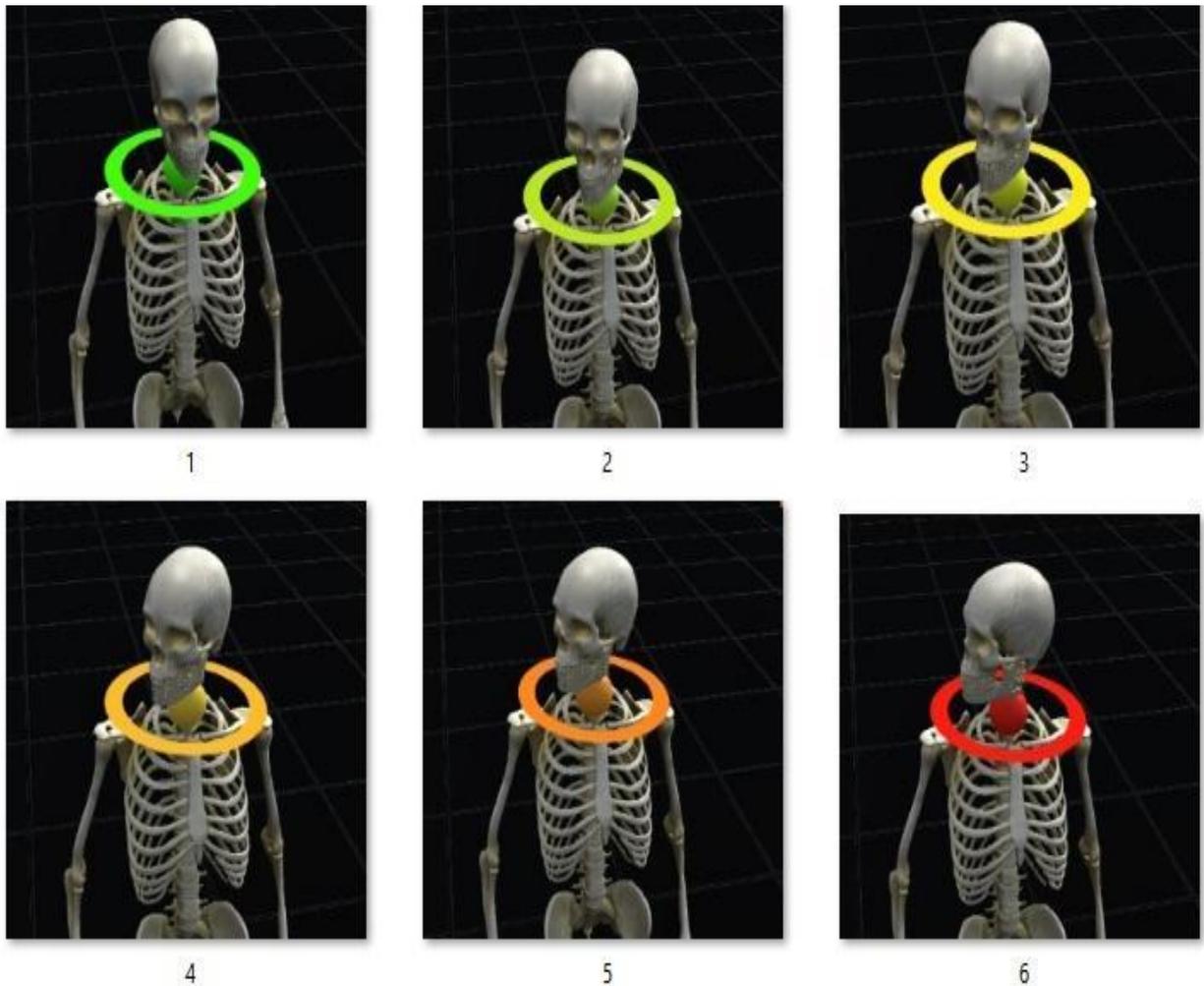
Figura 150: Visualização completa da flexão lateral cervical no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Cervical rotação unilateral: A Figura 151 ilustra com sucesso o movimento de rotação unilateral da região cervical, que consiste na torção do pescoço para a direita ou para a esquerda, com uma amplitude que varia de 0 a 55 graus. Nas imagens capturadas pelo ErgoMotion, a representação deste movimento é clara e completa, exibindo todas as cores do sistema de forma precisa. Esta representação efetiva no ErgoMotion comprova a capacidade do sistema em mapear detalhadamente cada fase do movimento de rotação unilateral, oferecendo uma ferramenta visual valiosa para análises ergonômicas.

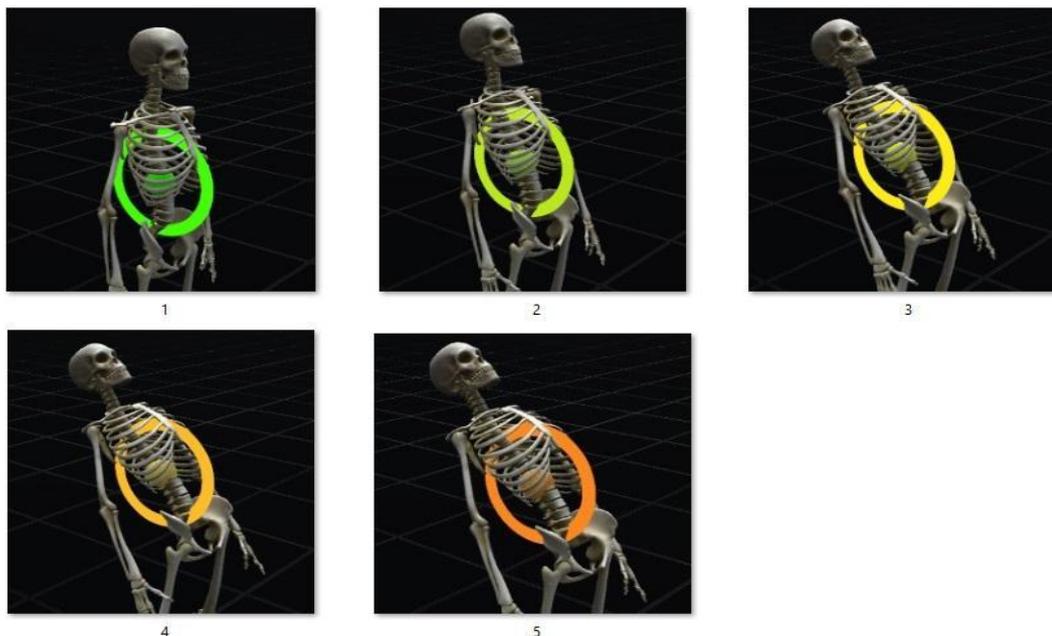
Figura 151: Análise da rotação unilateral cervical no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

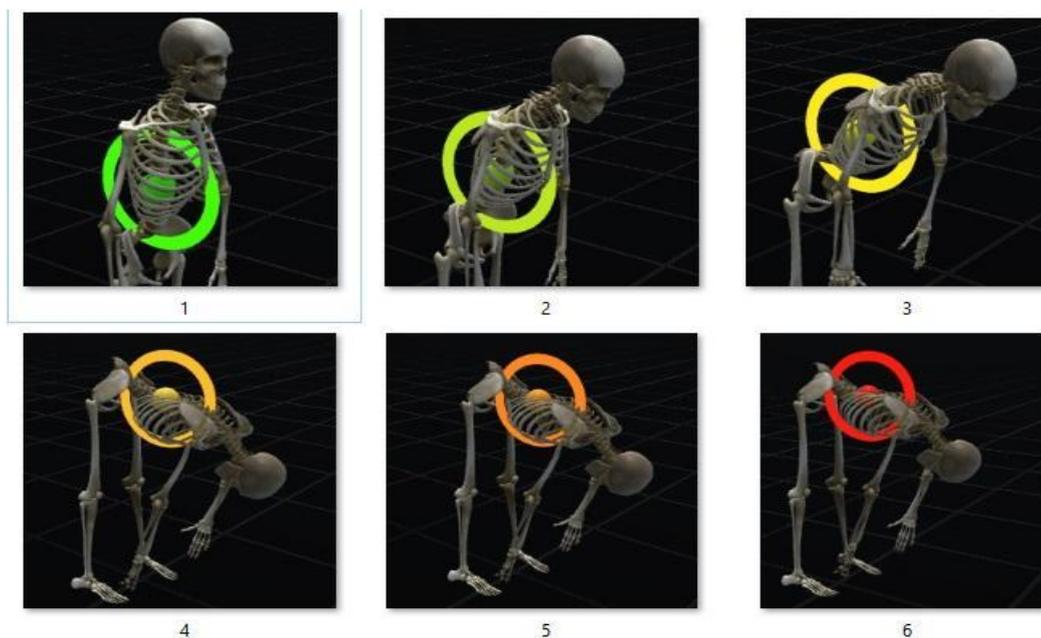
Lombar extensão: A Figura 152 retrata o movimento de extensão lombar, que é definido como um movimento para trás que ultrapassa a posição vertical, variando de 0 a 35 graus. Nas imagens geradas pelo ErgoMotion, observa-se que o sistema consegue representar a maioria dos estágios de cor com eficácia, com exceção do último estágio. A ausência do estágio final, indicado pela cor vermelha, sugere que pode haver uma limitação na captura desse movimento específico pelo *Kinect® V1* ou uma restrição física do ator em atingir a amplitude máxima de 35 graus. Esta situação destaca a necessidade de considerar tanto as capacidades técnicas dos dispositivos de captura quanto às limitações físicas dos indivíduos ao avaliar a precisão da representação de movimentos ergonômicos.

Figura 152: Visualização parcial da extensão lombar no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Figura 153: Visualização parcial da flexão lombar no ErgoMotion.

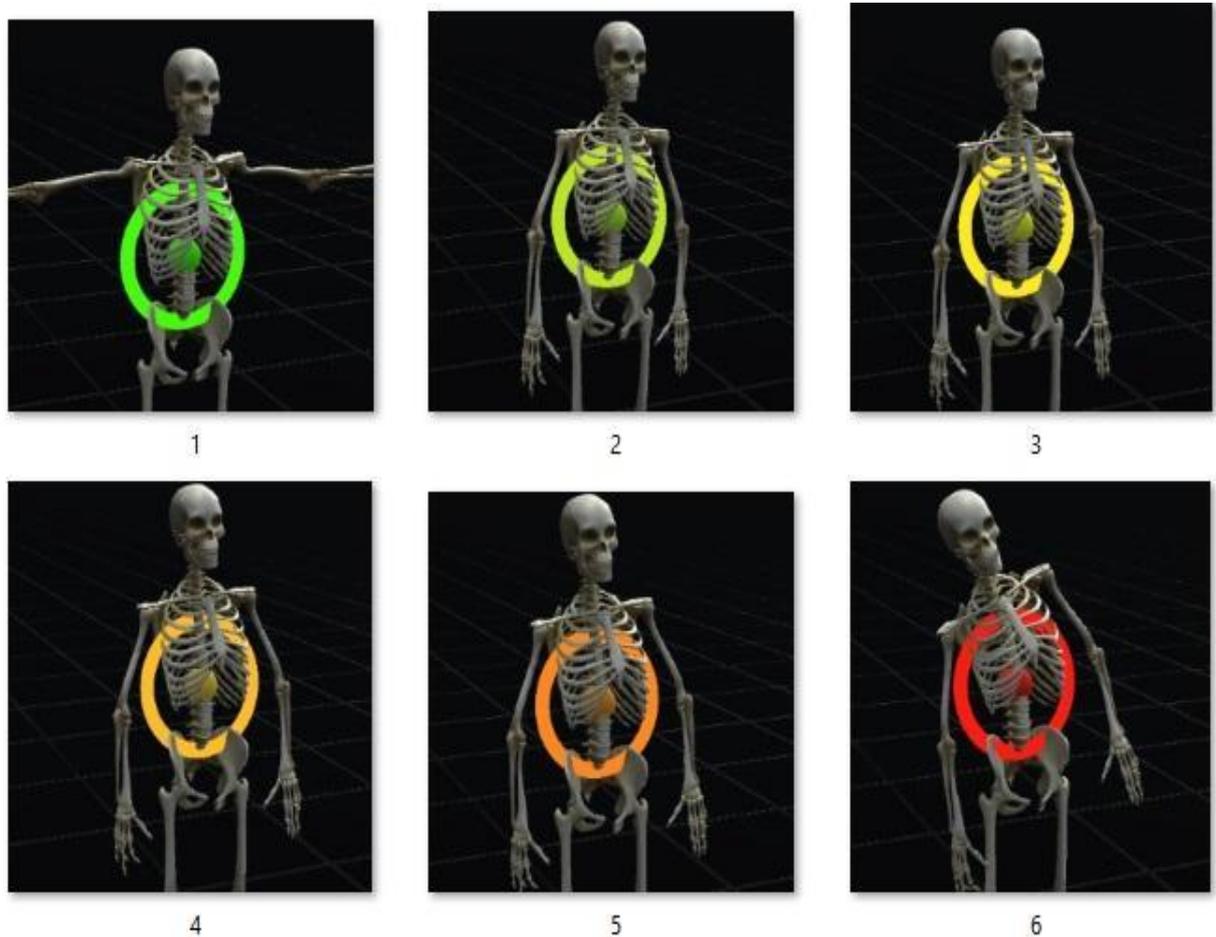


Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Lombar flexão lateral: A Figura 154 apresenta a flexão lateral lombar, um movimento de inclinação lateral que varia de 0 a 40 graus. Nas imagens capturadas pelo ErgoMotion, a representação deste movimento é exibida de forma completa e precisa, com todas as cores do espectro sendo adequadamente representadas. A

sequência de cores inicia com o verde-lima, que indica a posição inicial neutra, e progride através de tons de amarelo, laranja e chega ao vermelho, simbolizando a amplitude máxima de flexão lateral. Esta visualização detalhada no ErgoMotion demonstra com eficiência a capacidade do sistema em captar e ilustrar com clareza cada fase da flexão lateral lombar.

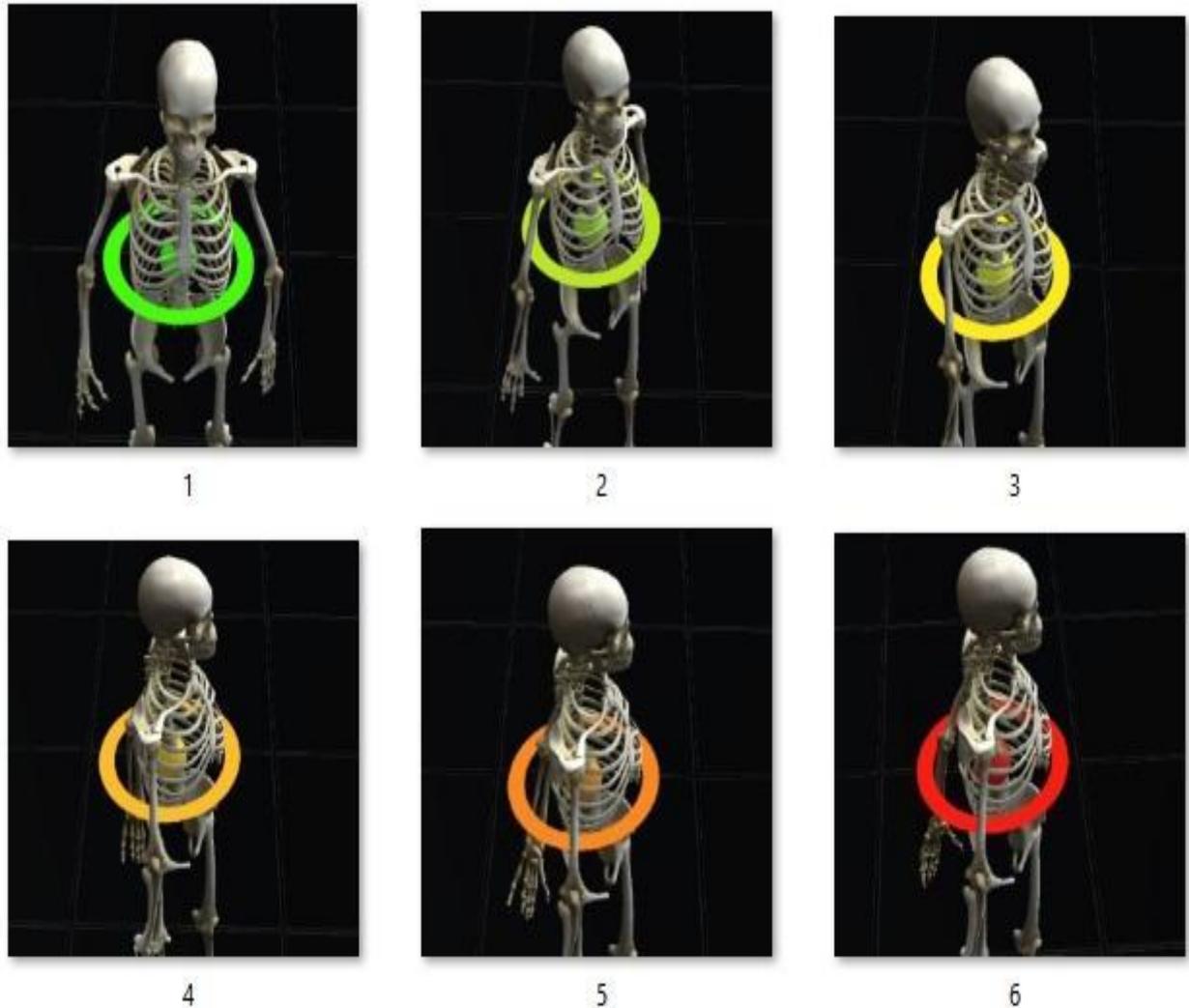
Figura 154: Representação completa da flexão lateral lombar no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Lombar rotação: A Figura 155 capta a rotação espinal lombar, um movimento giratório da espinha no plano horizontal, com uma amplitude de 0 a 35 graus. Esta ação, que inclui rotações para a esquerda e para a direita, é representada no ErgoMotion, evidenciando a eficácia do sistema. As imagens mostram uma transição suave e completa através do espectro de cores do sistema, começando com o verde-lima para a posição inicial neutra e avançando através de outras quatro cores culminando no vermelho, que indica a rotação máxima.

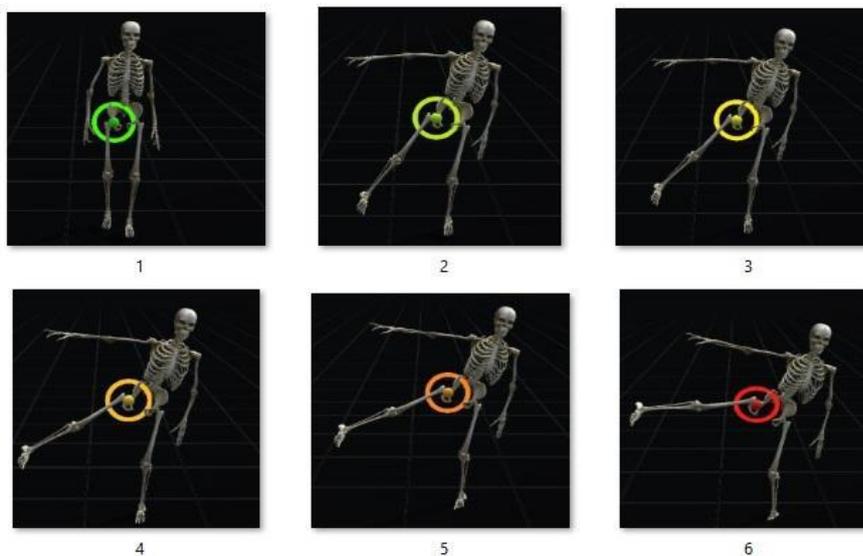
Figura 155: Visualização completa da rotação lombar no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Quadril abdução: A Figura 156 retrata com precisão o movimento de abdução da coxa, que varia de 0 a 45 graus. No ErgoMotion, este movimento é visualizado através de uma sequência completa de cores, abrangendo o espectro de seis cores do sistema. A representação inicia com dois tons de verde, representando as fases iniciais do movimento. Progressivamente, a sequência avança para um tom de amarelo, indicando um estágio intermediário, e segue com dois tons de laranja, que simbolizam as fases mais avançadas de abdução. Finalmente, o espectro conclui com o vermelho, marcando a amplitude máxima do movimento. Esta representação integral e colorida no ErgoMotion destaca sua eficácia em capturar e ilustrar de forma detalhada e intuitiva cada fase da abdução do quadril.

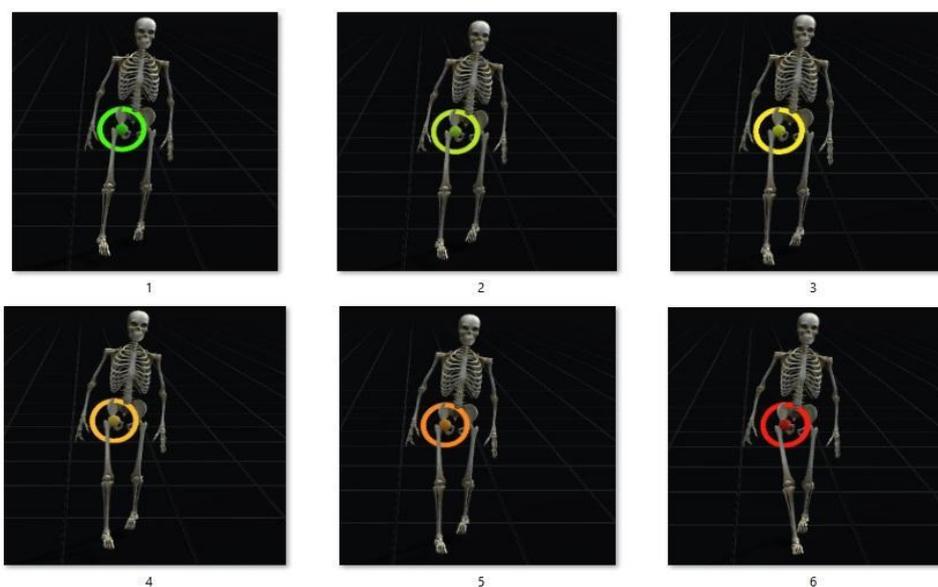
Figura 156: Representação completa da abdução do quadril no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Quadril adução: A Figura 157 mostra a adução da coxa, com amplitude de 0 a 15 graus. O ErgoMotion capta completamente este movimento, exibindo o espectro completo de cores. Inicia-se no verde-lima, passa por tons de verde, amarelo e laranja, e finaliza no vermelho, marcando a amplitude máxima. Esta visualização enfatiza a precisão e a eficácia do ErgoMotion na representação da adução da coxa.

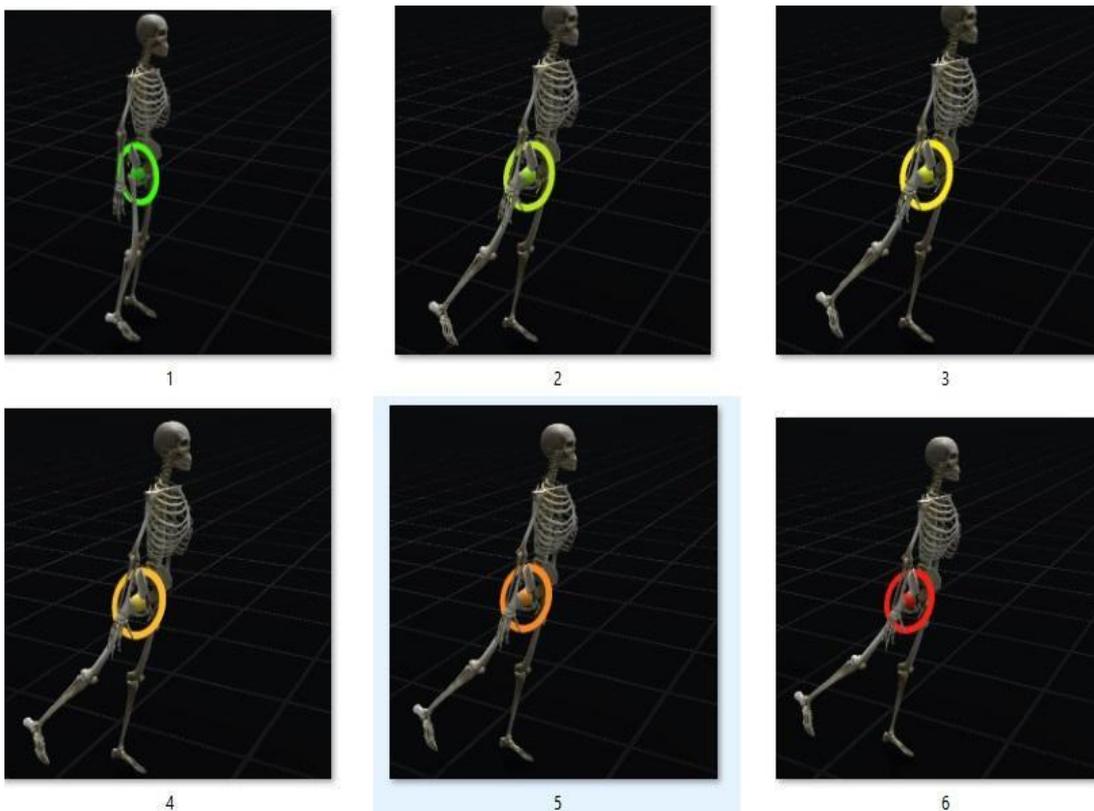
Figura 157: Visualização do movimento completo de adução do quadril no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Quadril extensão: A Figura 158 exibe a extensão da coxa, com amplitude de 0 a 10 graus. O ErgoMotion ilustra este movimento de forma abrangente, cobrindo toda a escala de cores disponível. Começando no verde-lima até chegar ao vermelho, indicando a extensão máxima. Essa representação visual eficaz demonstra a capacidade do ErgoMotion em detalhar a extensão da coxa.

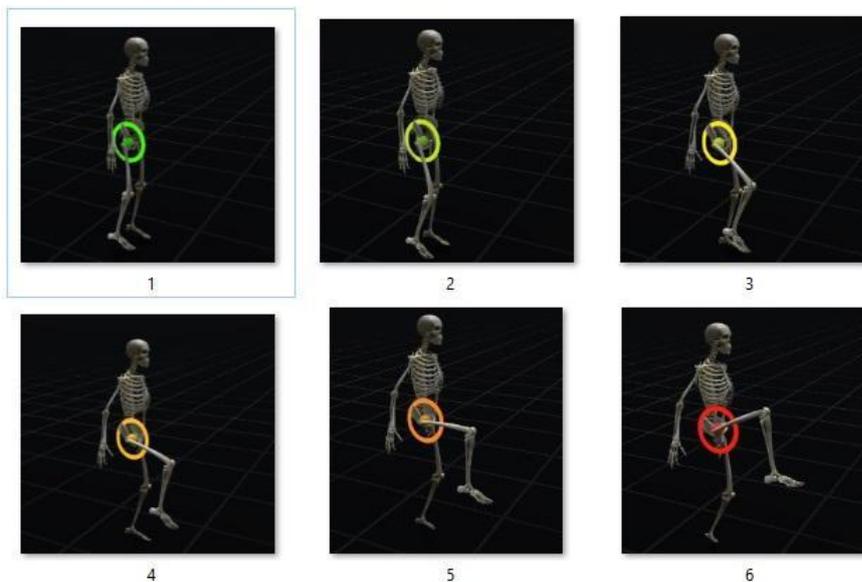
Figura 158: Representação completa da extensão do quadril no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Quadril flexão: A Figura 159 apresenta a flexão da coxa, com uma amplitude que se estende de 0 a 125 graus. Nesta captura do ErgoMotion, o movimento é ilustrado de forma completa, abrangendo todo o espectro de cores do sistema. A visualização começa no verde-lima, simbolizando o ponto inicial, e avança por uma variedade de cores até chegar ao vermelho, que representa a flexão máxima. Esta exibição confirma a eficiência do ErgoMotion em mostrar com detalhe e precisão a flexão da coxa.

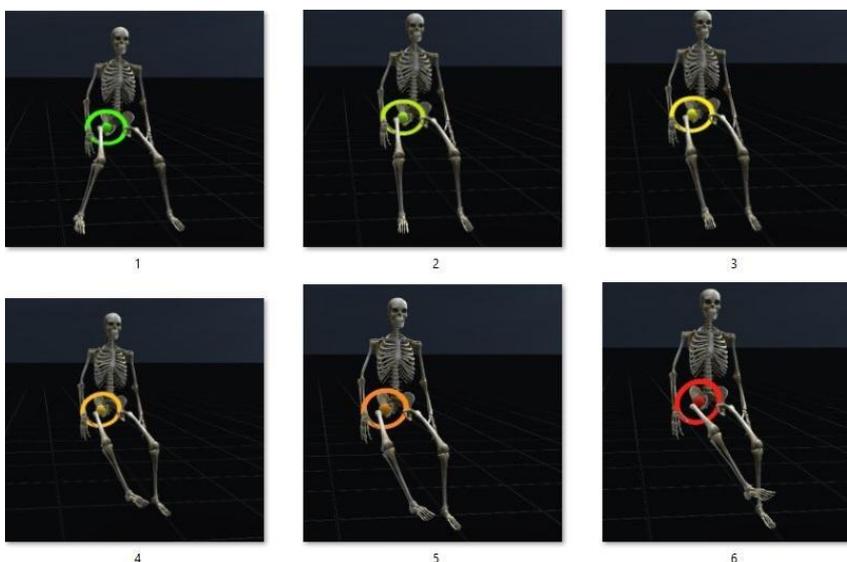
Figura 159: Representação total da flexão do quadril no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Quadril rotação lateral: A Figura 160 ilustra a rotação lateral da coxa, com uma amplitude que vai de 0 a 45 graus. No ErgoMotion, este movimento é representado em sua totalidade, com cada cor do sistema claramente exibida. O espectro inicia no verde-lima, passando gradualmente por tonalidades de verde, amarelo e laranja, até atingir o vermelho, sinalizando a rotação máxima. A precisão e a clareza desta representação destacam a eficácia do ErgoMotion em visualizar a rotação lateral da coxa em todas as suas fases.

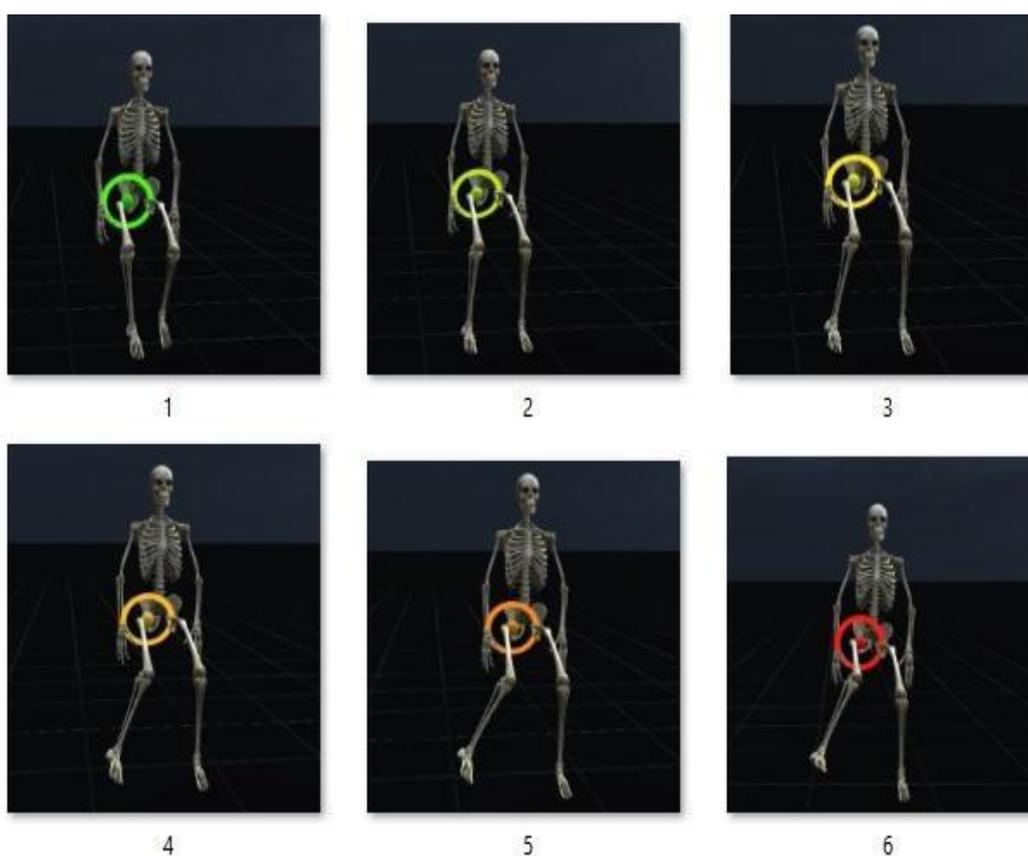
Figura 160: Visualização completa da rotação lateral do quadril no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Quadril rotação medial: A Figura 161 mostra a rotação medial da coxa, um movimento com amplitude de 0 a 45 graus. No ErgoMotion, este movimento é capturado com êxito, refletindo todas as fases através do sistema de cores. A representação começa no verde-lima, avançando progressivamente por uma gama de cores até alcançar o vermelho, que indica a rotação máxima. Esta visualização completa e detalhada evidencia a capacidade do ErgoMotion em mapear com precisão a rotação medial da coxa.

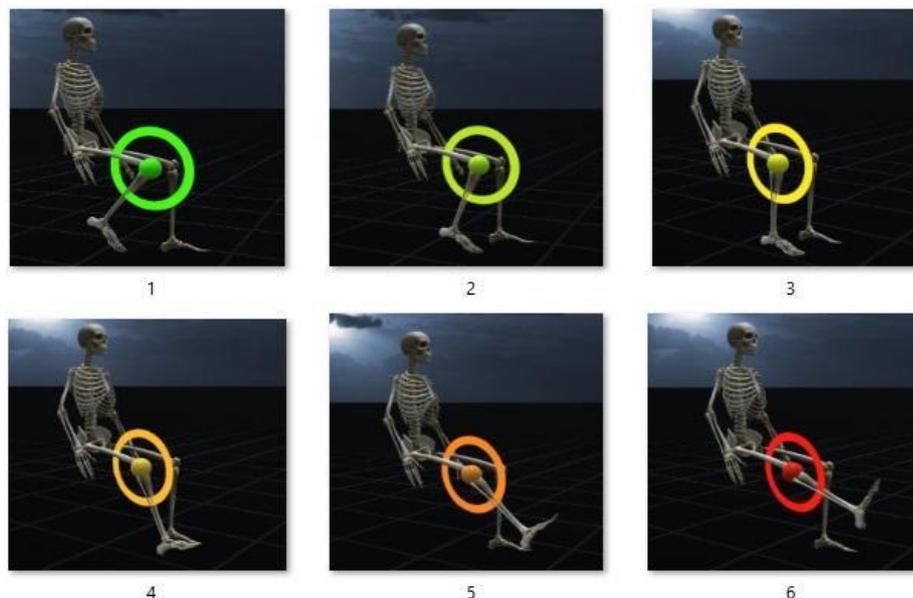
Figura 161: Representação completa da rotação medial do quadril no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Joelho extensão: A Figura 162 captura com eficácia a extensão do joelho, alcançando uma amplitude de 0 a 180 graus e, potencialmente, uma hiperextensão de até 10 graus. Nesta representação do ErgoMotion, o movimento é ilustrado através de um espectro dinâmico de cores. Iniciando com o verde-lima, o sistema progride, mostrando uma variedade de tonalidades até o vermelho, que sinaliza o limite máximo do movimento. A abordagem de cores no ErgoMotion revela com sucesso a amplitude completa da extensão do joelho.

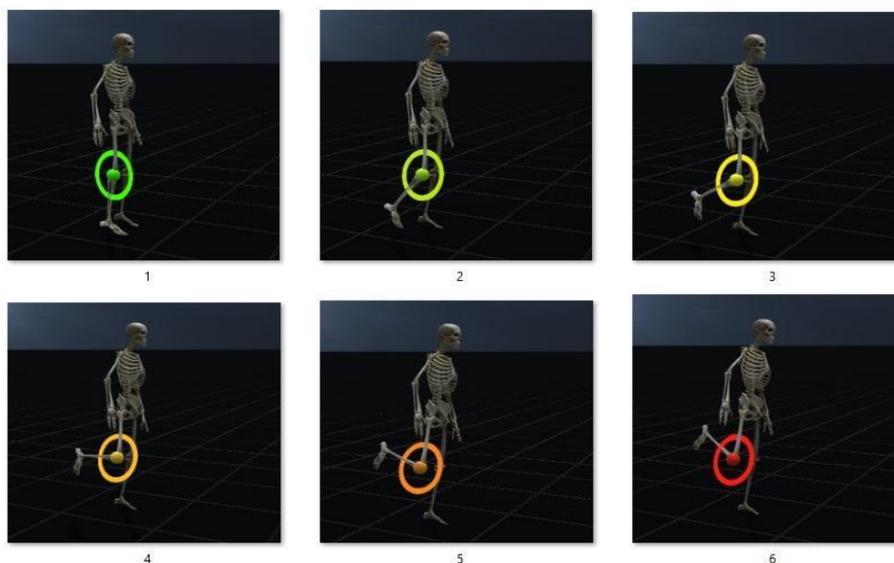
Figura 162: Visualização detalhada da extensão do joelho no ErgoMotion com variedade de cores.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Joelho flexão: A Figura 163 apresenta a flexão do joelho, um movimento com amplitude de 0 a 150 graus. No ErgoMotion, essa ação é visualizada de maneira exemplar, refletindo todo o alcance do movimento através de um espectro de cores bem definido. Desde o início no verde-lima, representando a posição inicial, até o vermelho, que indica a flexão máxima, o sistema percorre uma série de tonalidades distintas.

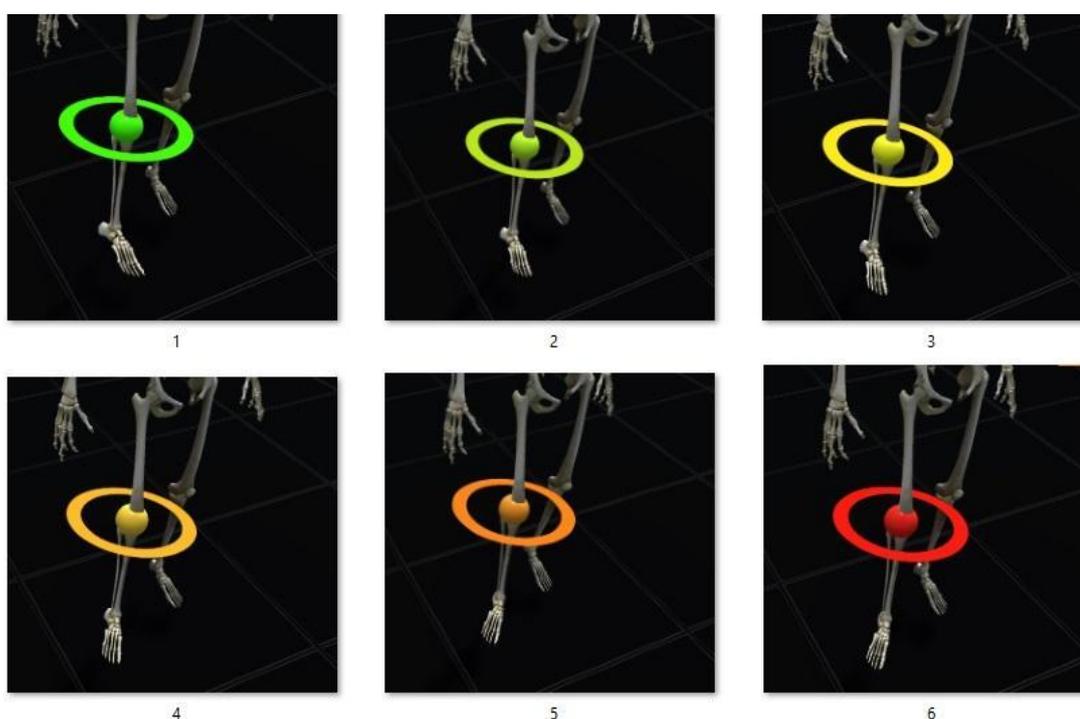
Figura 163: Ilustração da flexão do joelho no ErgoMotion com todos os estágios de cores.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Joelho rotação lateral: A Figura 164 ilustra a rotação lateral do joelho, um movimento que ocorre com uma flexão de cerca de 30 graus ou mais e pode alcançar até 45 graus. No ErgoMotion, a representação deste movimento é completa, com todas as cores do sistema sendo exibidas de forma clara e precisa. A visualização inicia no verde-lima, indicando a posição neutra, e avança através de uma sequência variada de cores, culminando no vermelho para indicar a amplitude máxima da rotação lateral. Essa representação detalhada no ErgoMotion destaca sua capacidade de capturar e ilustrar com precisão as diferentes fases da rotação lateral do joelho.

Figura 164: Demonstração da rotação lateral do joelho no ErgoMotion com espectro completo de cores.

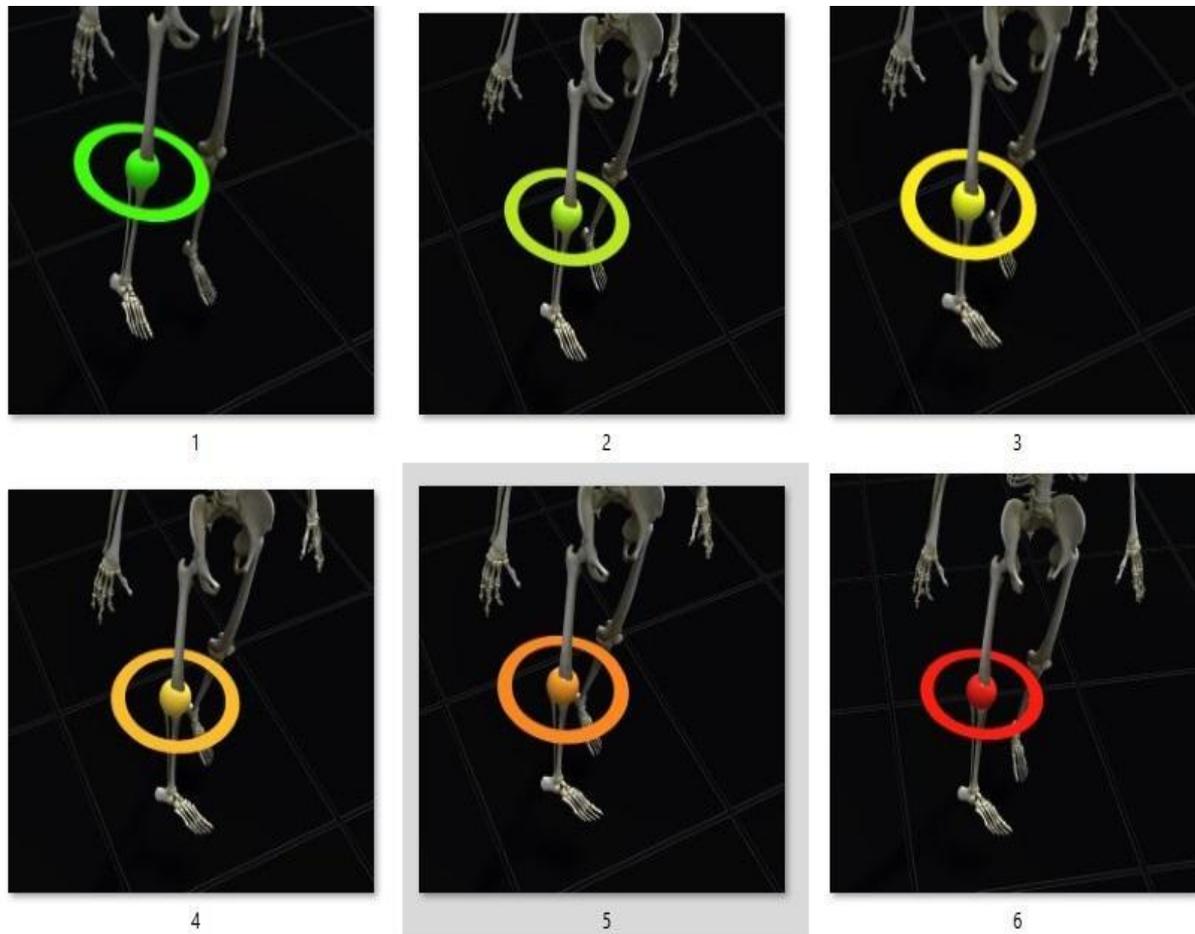


Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Joelho rotação medial: A Figura 165 ilustra a rotação medial do joelho, um movimento realizado com uma flexão de cerca de 30 graus ou mais e que alcança aproximadamente 30 graus em sua amplitude. No ErgoMotion, essa ação é retratada com eficácia, mostrando todos os estágios de cor no sistema. A visualização inicia-se com o verde-lima, que representa a posição neutra, e avança por uma escala de cores, passando por nuances de verde e amarelo, até chegar ao vermelho, indicando a rotação máxima medial. Esta representação completa e detalhada no ErgoMotion

ressalta a capacidade do sistema em mapear com precisão cada fase da rotação medial do joelho.

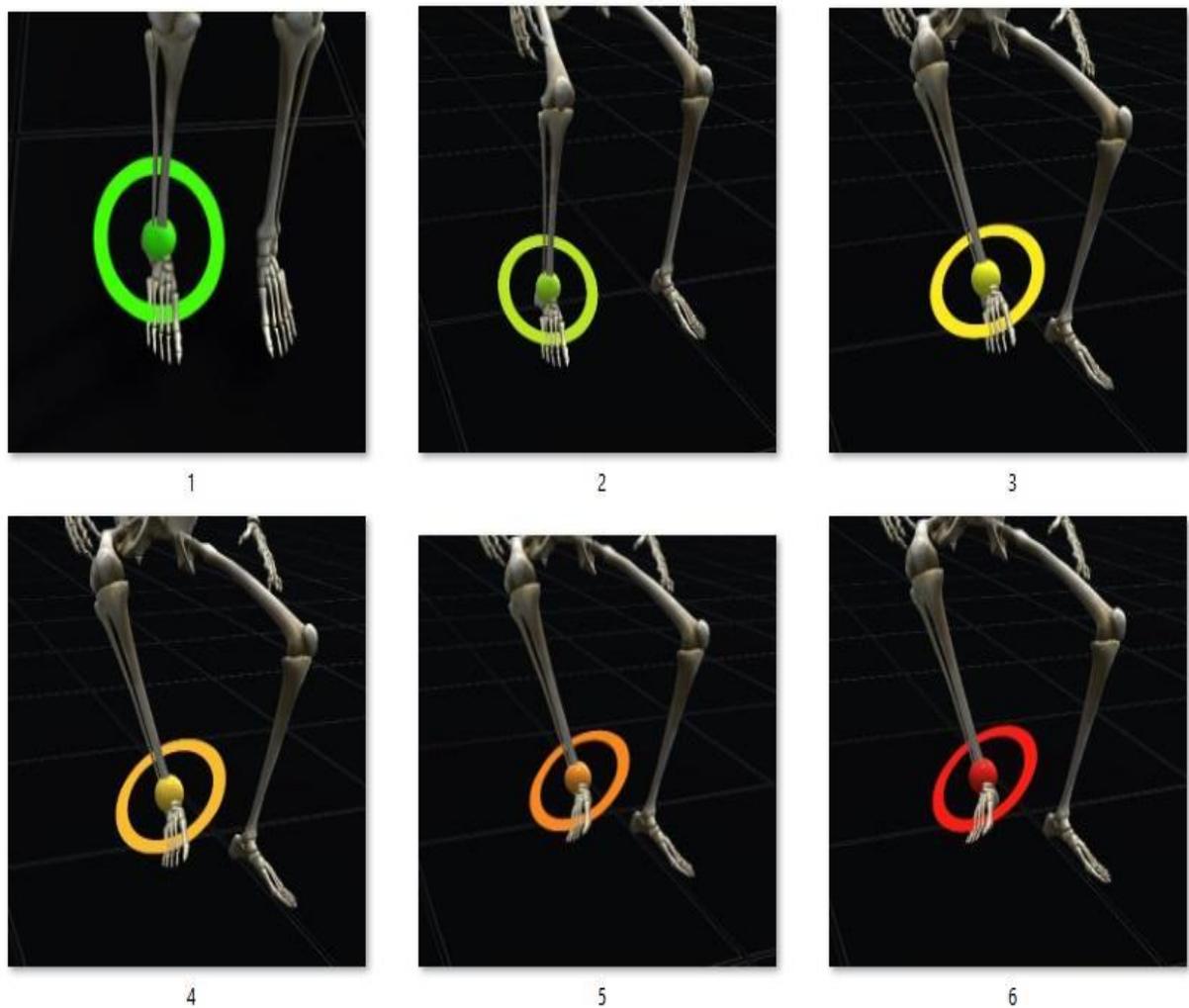
Figura 165: Demonstração da rotação medial do joelho no ErgoMotion com espectro completo de cores.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Tornozelo abdução: A Figura 166 mostra o movimento de abdução ou eversão do pé na articulação do tornozelo, com uma amplitude de 0 a 20 graus. No ErgoMotion, este movimento é retratado de forma integral, com todos os seis estágios de representação de amplitude claramente visíveis. A sequência começa no verde-lima, indicativo da posição inicial neutra, e passa por uma variedade de cores, incluindo tonalidades de verde, amarelo, laranja e chega até o vermelho, que representa a amplitude máxima de abdução ou eversão do pé. Esta representação completa no ErgoMotion demonstra a sua eficácia em captar com detalhe e precisão o movimento do tornozelo.

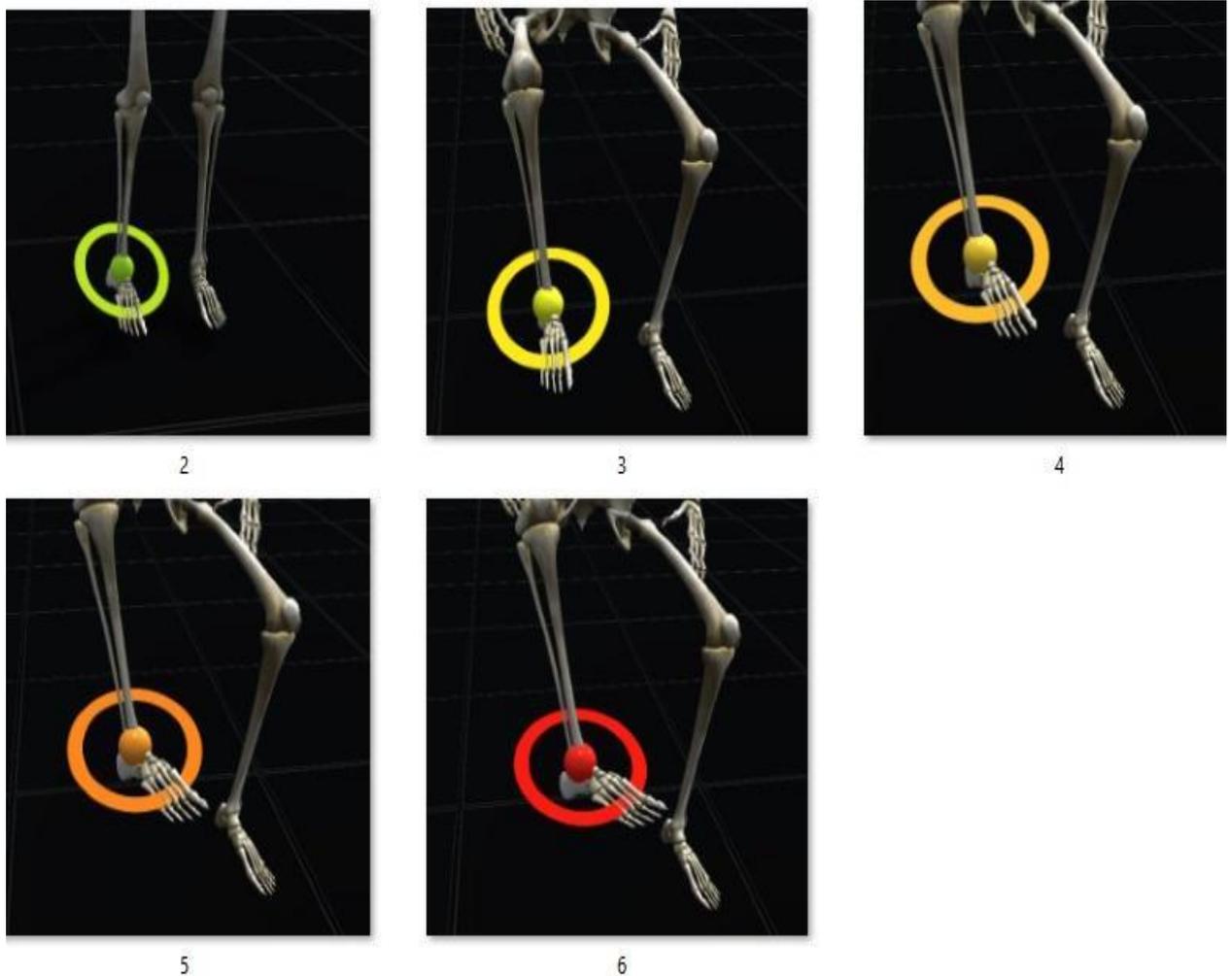
Figura 166: Representação completa da abdução do tornozelo no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Tornozelo adução: A Figura 167 aborda o movimento de adução ou inversão do pé na articulação do tornozelo, que varia de 0 a 40 graus. Nas imagens geradas pelo ErgoMotion, nota-se uma irregularidade: o sistema não mostra o primeiro tom de verde, que representa a posição neutra. Este fato sugere que o ator pode ter iniciado a captura de movimento já com o pé levemente em adução, ou pode indicar uma limitação na captura do movimento pelo *Kinect V.1*. A falta de representação da fase inicial do movimento aponta para a necessidade de revisão e ajustes na abordagem da captura para garantir a precisão e a completude da representação dos movimentos do tornozelo no ErgoMotion.

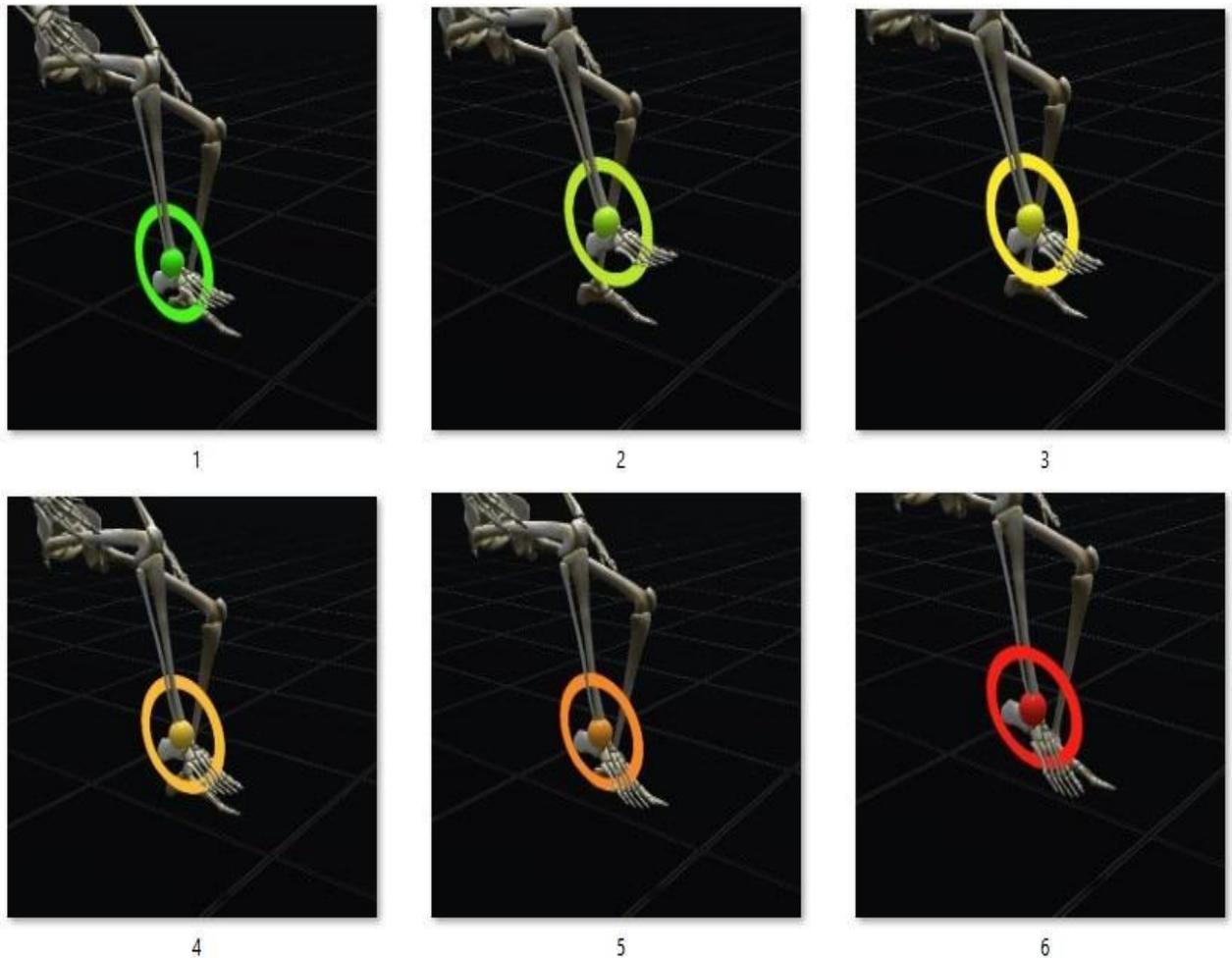
Figura 167: Análise do movimento de adução do tornozelo no ErgoMotion, com ausência da fase inicial.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Tornozelo extensão: A Figura 168 apresenta o movimento de extensão ou flexão plantar do pé na articulação do tornozelo, com uma amplitude que varia de 0 a 45 graus. O ErgoMotion capta esse movimento com total eficácia, exibindo todos os estágios de cor do sistema. O processo começa com o verde-lima, indicando a posição inicial, e progride através de uma variedade de tonalidades até atingir o vermelho, que representa a extensão máxima do tornozelo. Esta representação completa no ErgoMotion destaca sua habilidade em detalhar cada etapa do movimento, proporcionando uma ferramenta visual rica e informativa para análises ergonômicas.

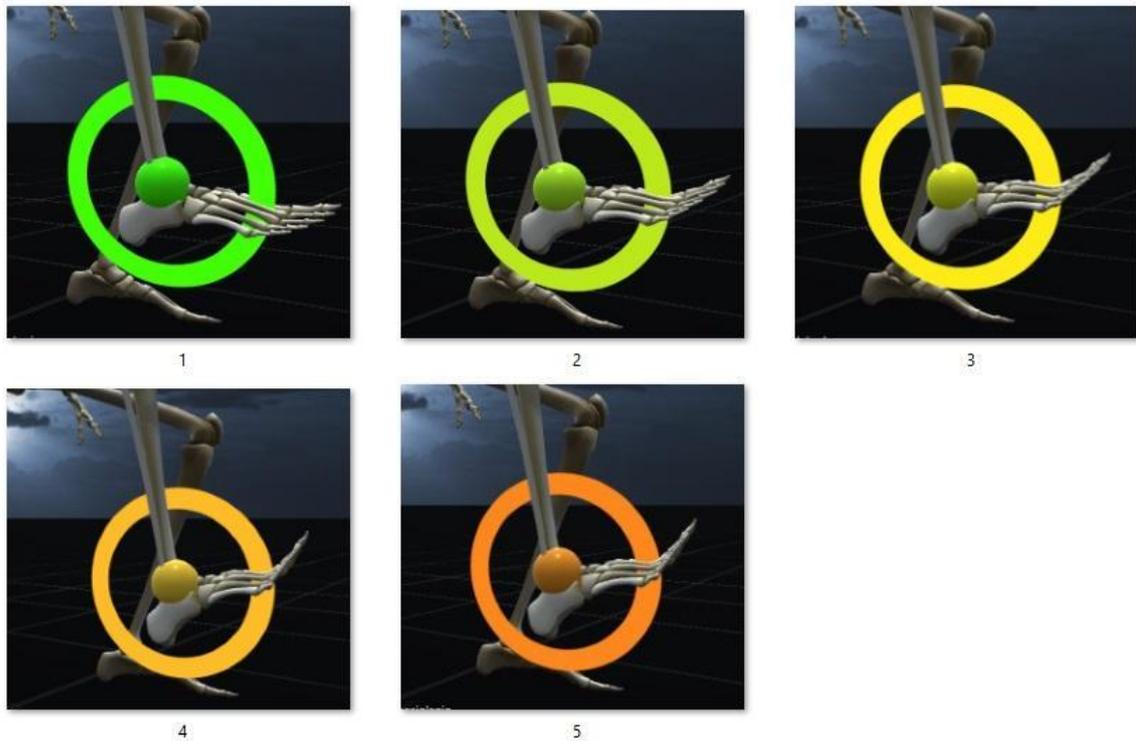
Figura 168: Visualização completa da extensão do tornozelo no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Tornozelo flexão: A Figura 169 exibe o movimento de flexão ou dorsiflexão do pé na articulação do tornozelo, um movimento que se estende de 0 a 20 graus. O ErgoMotion demonstra a capacidade de retratar esse movimento de forma eficiente, cobrindo todas as etapas de cores. A representação inicia no verde-lima, que simboliza a posição inicial neutra, e avança progressivamente por uma gama de cores até chegar ao vermelho, marcando a dorsiflexão máxima. Esta representação no ErgoMotion destaca a precisão do sistema em mapear cada fase da flexão do tornozelo.

Figura 169: Representação completa da flexão do tornozelo no ErgoMotion.



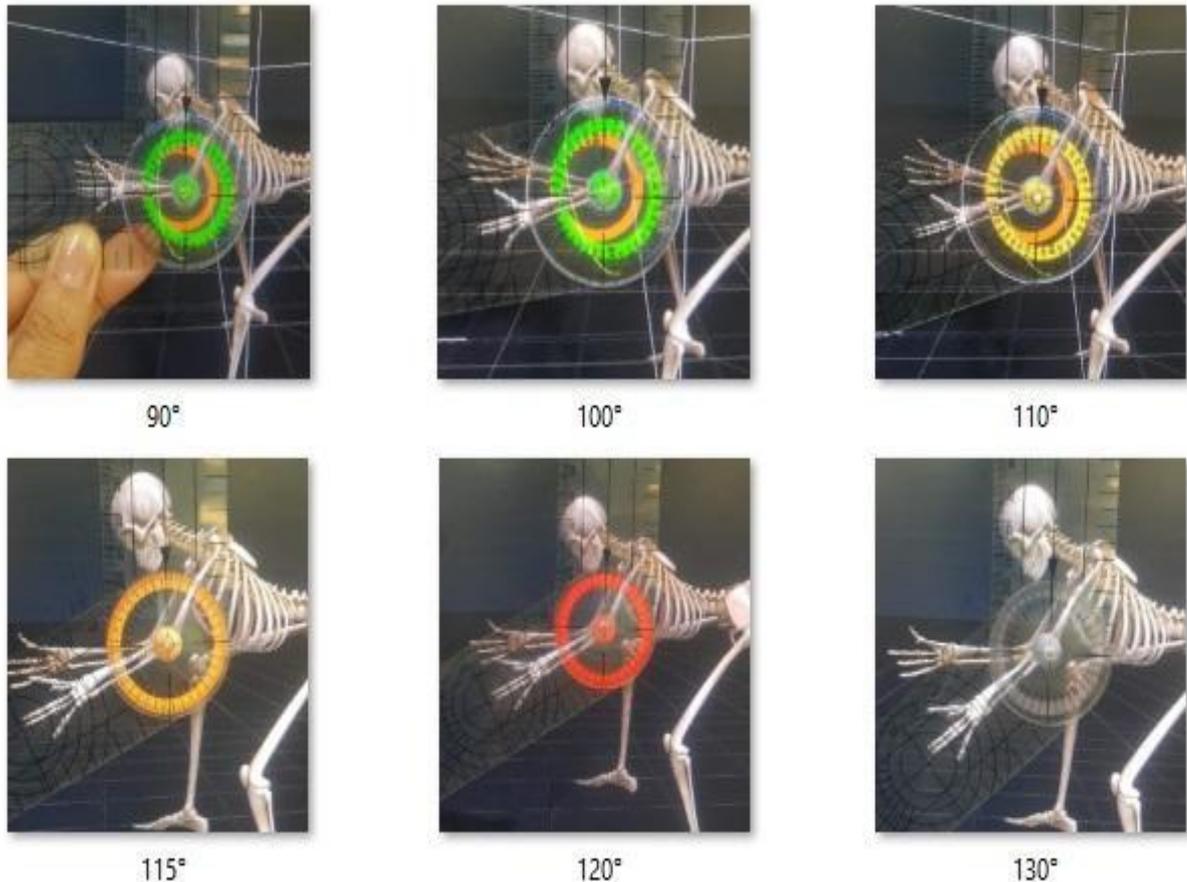
Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

7.2 BIKE FIT.

Análise de cotovelo em posição *Time Trial* com verificação por goniometria: A Figura 170 apresenta uma análise dos ângulos ideais do cotovelo para a posição de *Time Trial*, baseada nas diretrizes adaptadas de Burt (2022) e descritas no Quadro 1 do Tópico 2.10 desta tese. Os ângulos ótimos estão definidos entre 90 e 100 graus, com uma margem de tolerância de 5 graus antes da mudança para a cor amarela em 110 graus, laranja em 115 graus e vermelho em 120 graus. A cor cinza transparente, indicando uma posição excessivamente fora do ideal, é atribuída a partir de 130 graus. Para verificar a precisão do ErgoMotion e confirmar a funcionalidade do movimento, um goniômetro de acetato foi aplicado sobre a tela, seguindo as técnicas de medição estabelecidas por Âmelia Pascal Marques (2003). A mesma metodologia foi empregada para os graus menores de extensão do cotovelo, onde, por exemplo, 80 graus resultam na cor amarela, 75 graus na laranja, 70 graus

no vermelho, e a cor cinza transparente seria utilizada para representar 70 graus, destacando uma amplitude abaixo do ideal.

Figura 170: Análise de cotovelo em posição *Time Trial*, com verificação por goniometria, no ErgoMotion.

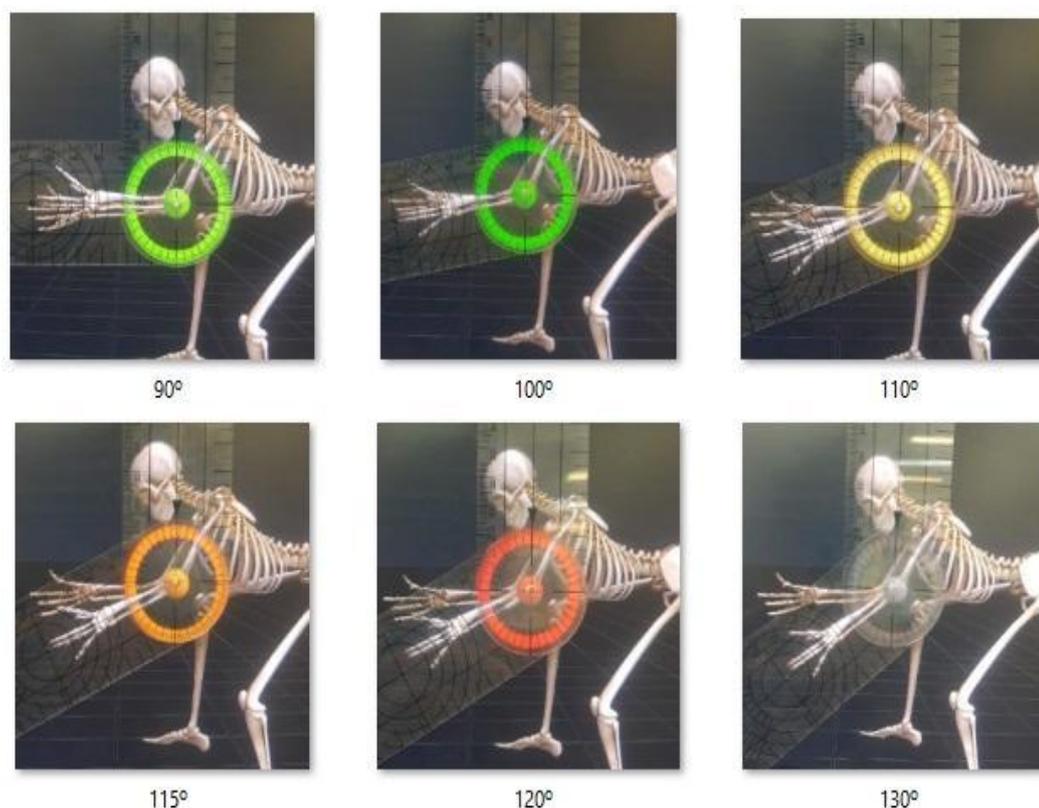


Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Análise de cotovelo em posição *Triathlon*: A Figura 171 destaca a análise dos ângulos de cotovelo para a posição de *Triathlon*, onde o sistema ErgoMotion reflete com precisão a faixa de movimento recomendada. O verde marca o ângulo ideal de 90 graus e se mantém até os 100 graus. À medida que o ângulo se amplia para 110 graus, o indicador muda para amarelo, e para ângulos de 115 graus, a cor laranja é apresentada. Atingindo os 120 graus, o vermelho sinaliza a aproximação do limite de tolerância, e aos 130 graus, o cinza transparente indica uma clara extrapolação do ângulo aconselhado. Além disso, angulações inferiores como 80 graus são representadas em amarelo, e 75 graus em laranja, seguindo a mesma lógica de graduação cromática para a interpretação dos dados. Este modelo de

codificação de cores facilita o reconhecimento visual das faixas de movimento apropriadas e impróprias.

Figura 171: Codificação cromática de ângulos de cotovelo, em posição *Triathlon*, no ErgoMotion.

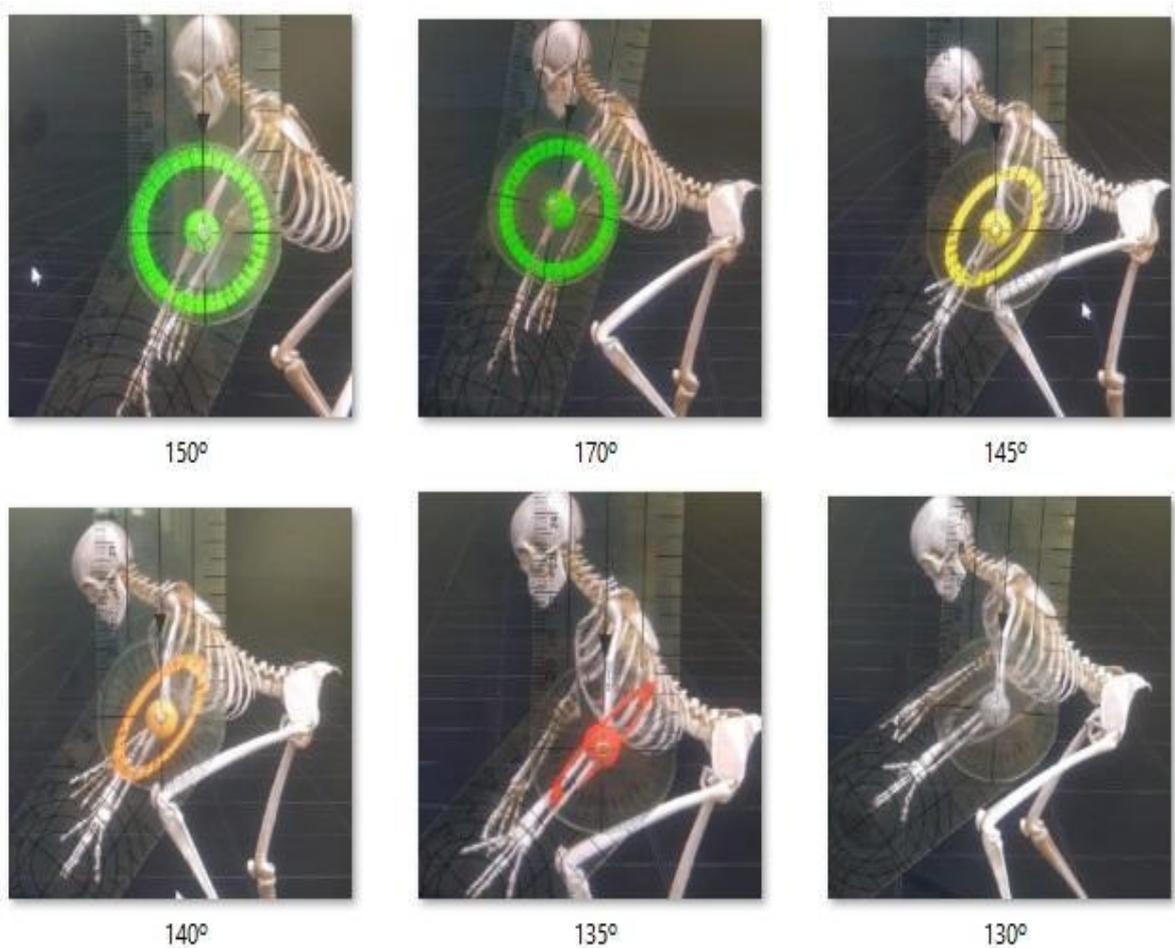


Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Análise de cotovelo em bicicleta *Mountain Bike*: A Figura 172 apresenta a análise dos ângulos de cotovelo para a posição em uma bicicleta *Mountain Bike*. No ErgoMotion, o ângulo ideal de cotovelo, que oscila entre 150 e 170 graus é representado pela cor verde. A figura ilustra a eficiência do sistema ao diminuir a angulação: em 145 graus, o indicador muda para amarelo, em 140 graus para laranja, em 135 graus para vermelho e, finalmente, aos 130 graus, o cinza transparente denota uma posição completamente fora do padrão recomendado. De forma similar, a extensão do cotovelo além do ideal é mapeada com cores correspondentes à superação desses ângulos: amarelo em 175 graus, laranja em 180, vermelho em 185 e cinza em 190 graus. A validação da funcionalidade do ErgoMotion foi realizada utilizando um goniômetro de acetato aplicado sobre a tela do computador, em uma vista isométrica do modelo musculoesquelético, assegurando uma mensuração

precisa dos ângulos de cotovelo em conformidade com as práticas de goniometria estabelecidas.

Figura 172: Avaliação de ângulos de cotovelo em posição *Mountain Bike*, validada por goniometria, no ErgoMotion.

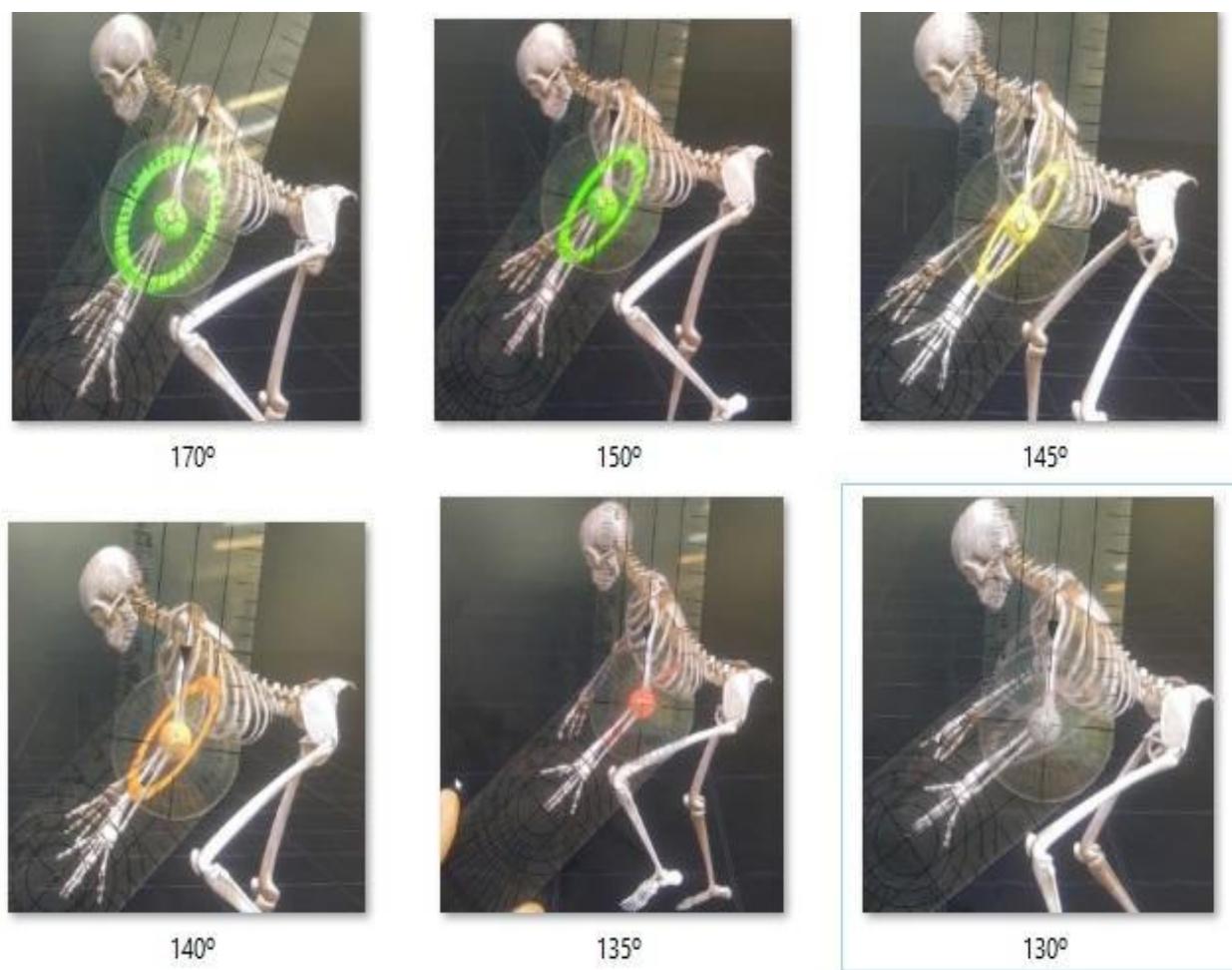


Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Análise de cotovelo em bicicleta *Road Bike*: A Figura 173 captura a análise dos ângulos de cotovelo ideal para ciclistas em uma bicicleta *Road Bike*. No *software* ErgoMotion, o intervalo entre 150 e 170 graus é marcado em verde, simbolizando o ângulo ergonômico apropriado para a atividade de ciclismo, tanto para um bom rendimento com aerodinâmica, quanto para evitar lesões. À medida que os graus diminuem, o sistema indica 145 graus com amarelo, 140 graus com laranja, 135 graus com vermelho e, ao atingir 130 graus, o cinza transparente destaca uma flexão excessiva, fora do intervalo ideal. Esta abordagem de representação visual e o uso de um goniômetro de acetato sobre a tela durante a análise em uma vista isométrica do

modelo musculoesquelético garantem a validade e a precisão da avaliação ergonômica realizada com o ErgoMotion.

Figura 173: Avaliação de ângulos de cotovelo em bicicleta *Road Bike*, com verificação por goniometria, no ErgoMotion.

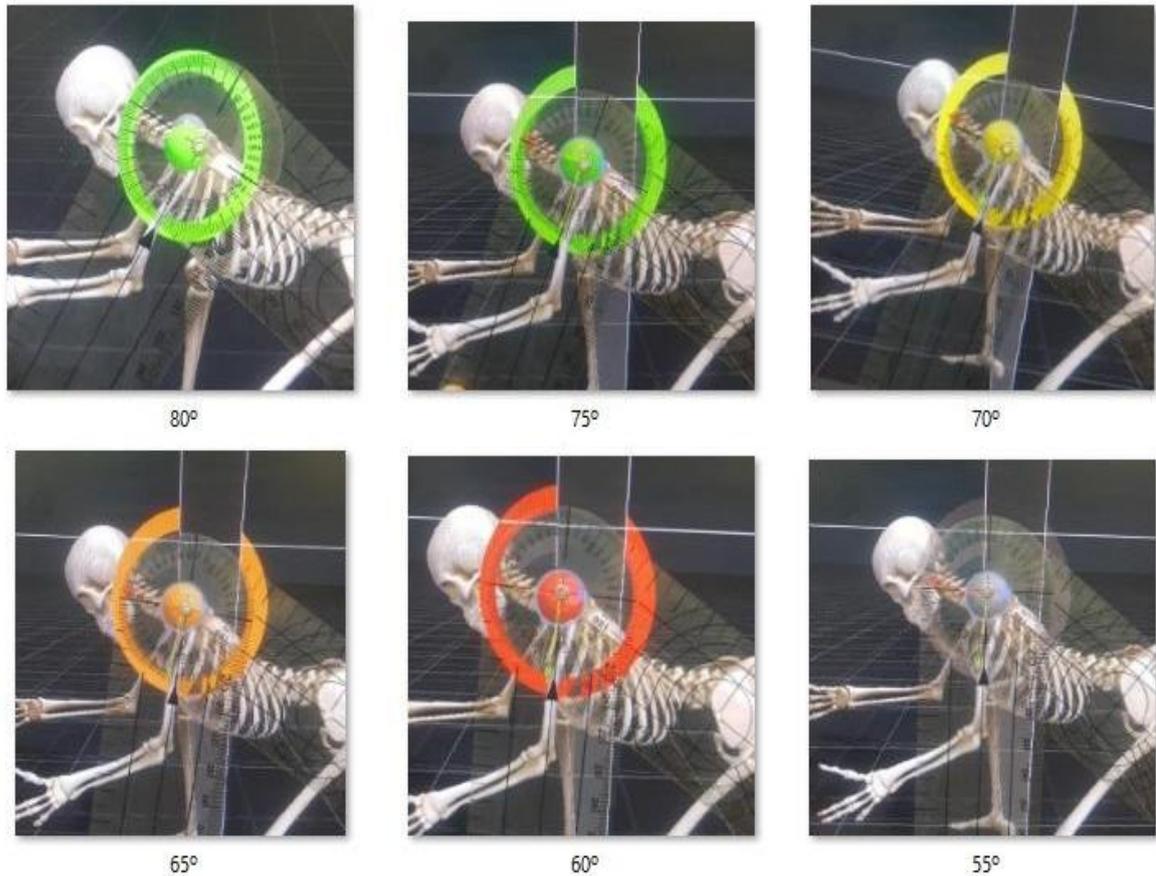


Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Análise de ombro em posição *Time Trial*: No sistema ErgoMotion, a análise começa com um ângulo ideal, situado entre 80 e 75 graus, representado pela cor verde. À medida que o ângulo diminui, observa-se uma mudança nas cores do indicador: 70 graus é marcado em amarelo, indicando um afastamento leve do ideal; 65 graus em laranja, sinalizando um desvio maior; e 60 graus em vermelho, representando um ângulo significativamente fora do ideal. Quando o ângulo atinge 55 graus, a cor cinza transparente é utilizada, denotando uma posição consideravelmente inadequada. O movimento inverso também afeta as cores demonstradas no ErgoMotion. Ao aumentar o ângulo do ombro além do ideal, observa-se 175 graus representados em amarelo, 180 graus em laranja, 185 graus em vermelho, e 190

graus em cinza transparente. Essa representação de cores indica que movimentos para além deste intervalo não são ergonomicamente favoráveis (Figura 174).

Figura 174: Avaliação de ângulos de ombro em posição *Time Trial*, com goniometria, no ErgoMotion.

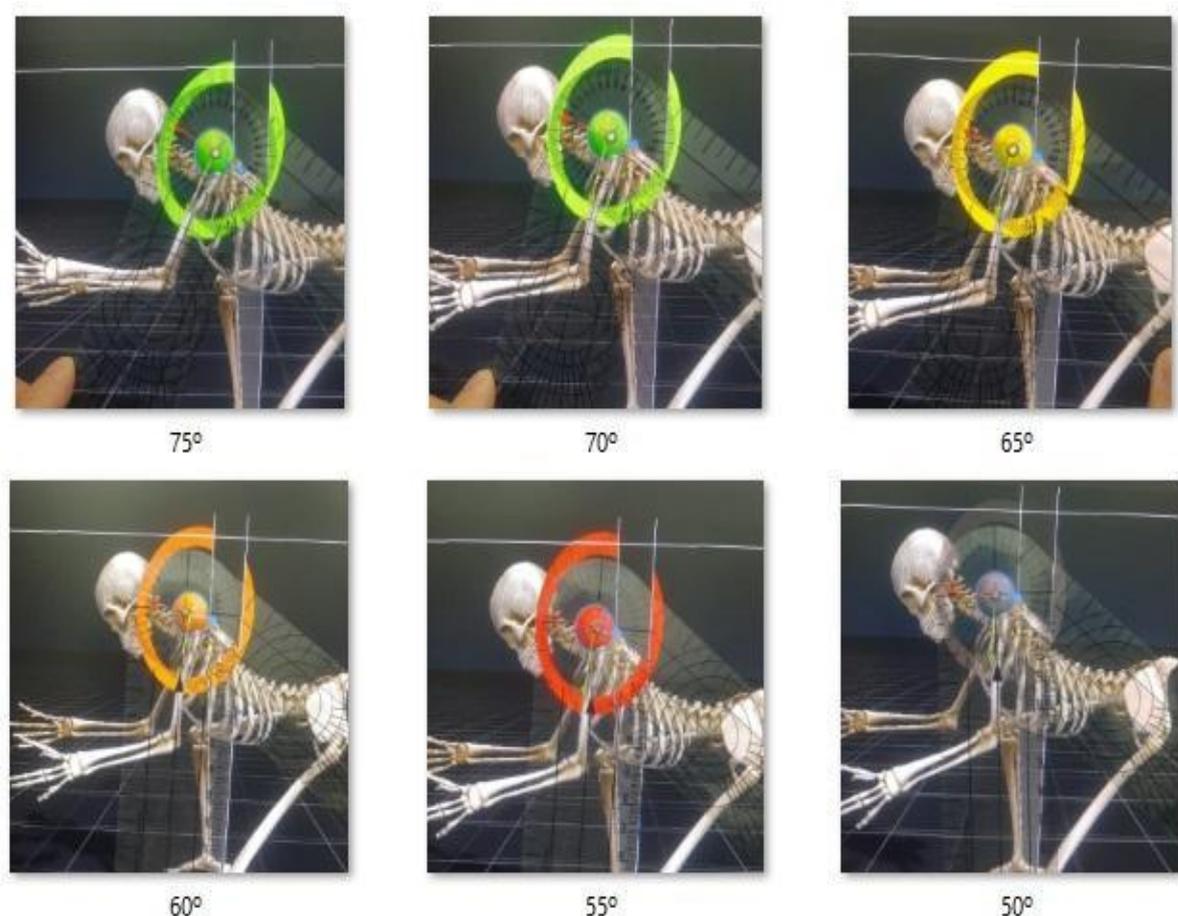


Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Análise de ombro em posição *Triathlon*: A Figura 175 ilustra a análise dos ângulos de ombro para a posição de *Triathlon* em ciclismo. No ErgoMotion, o intervalo ideal de ângulo para os ombros é entre 75 e 70 graus, representado pela cor verde. À medida que o ângulo diminui para 65 graus, o sinalizador muda para amarelo, indicando um afastamento do ideal. Em 60 graus, a cor se transforma em laranja, e aos 55 graus, o vermelho sinaliza uma postura incorreta. Um ângulo de 50 graus é marcado em cinza transparente, indicando que está completamente fora do movimento apropriado. O mesmo padrão de cores aplica-se ao aumento da angulação: 80 graus são marcados em amarelo, 85 em laranja, 90 em vermelho, e 95 graus, significando uma extensão excessiva, são representados pelo cinza

transparente. Esta análise colorida oferece uma visualização intuitiva e precisa das variações angulares e sua adequação ergonômica para a prática de *Triathlon*.

Figura 175: Avaliação ergonômica dos ângulos de ombro em posição *Triathlon* no ErgoMotion.

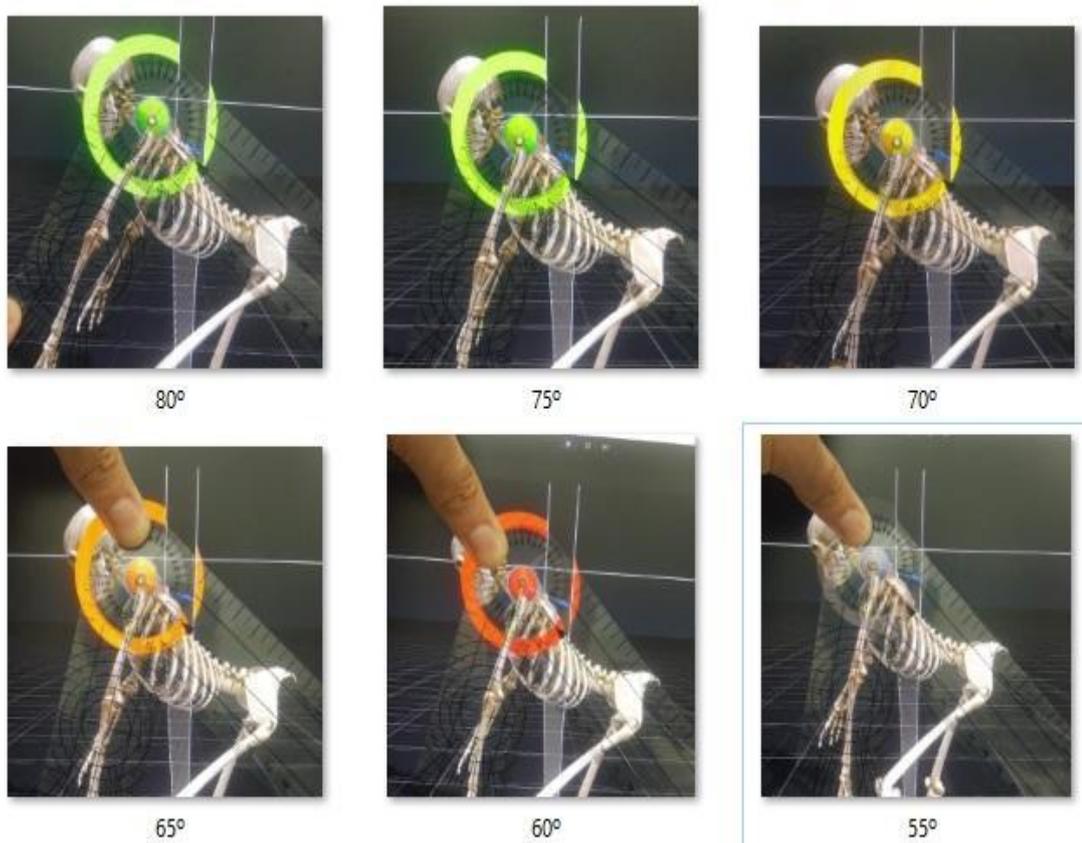


Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Análise de ombro em posição *Mountain Bike*: A Figura 176 exibe a avaliação dos ângulos de ombro para a posição de *Mountain Bike*, realizada através do ErgoMotion. O intervalo ideal de ângulo de ombro é estabelecido entre 80 e 75 graus, visualizado na cor verde. Quando o ângulo decresce para 70 graus, o indicador muda para amarelo, sinalizando uma discrepância leve. A redução para 65 graus resulta em laranja, e 60 graus em vermelho, indicando uma divergência crescente do ideal. Aos 55 graus, o cinza transparente destaca um movimento claramente fora do padrão adequado. Para validar a precisão dessas medições, foi utilizado um goniômetro de acetato sobre a tela do computador, assegurando uma avaliação precisa e alinhada

com as práticas de goniometria, e confirmando a efetividade do ErgoMotion em mapear as variações angulares em conformidade com os parâmetros ergonômicos para ciclismo de montanha.

Figura 176: Avaliação de ângulos de ombro em posição *Mountain Bike*, com verificação por goniometria, no ErgoMotion.

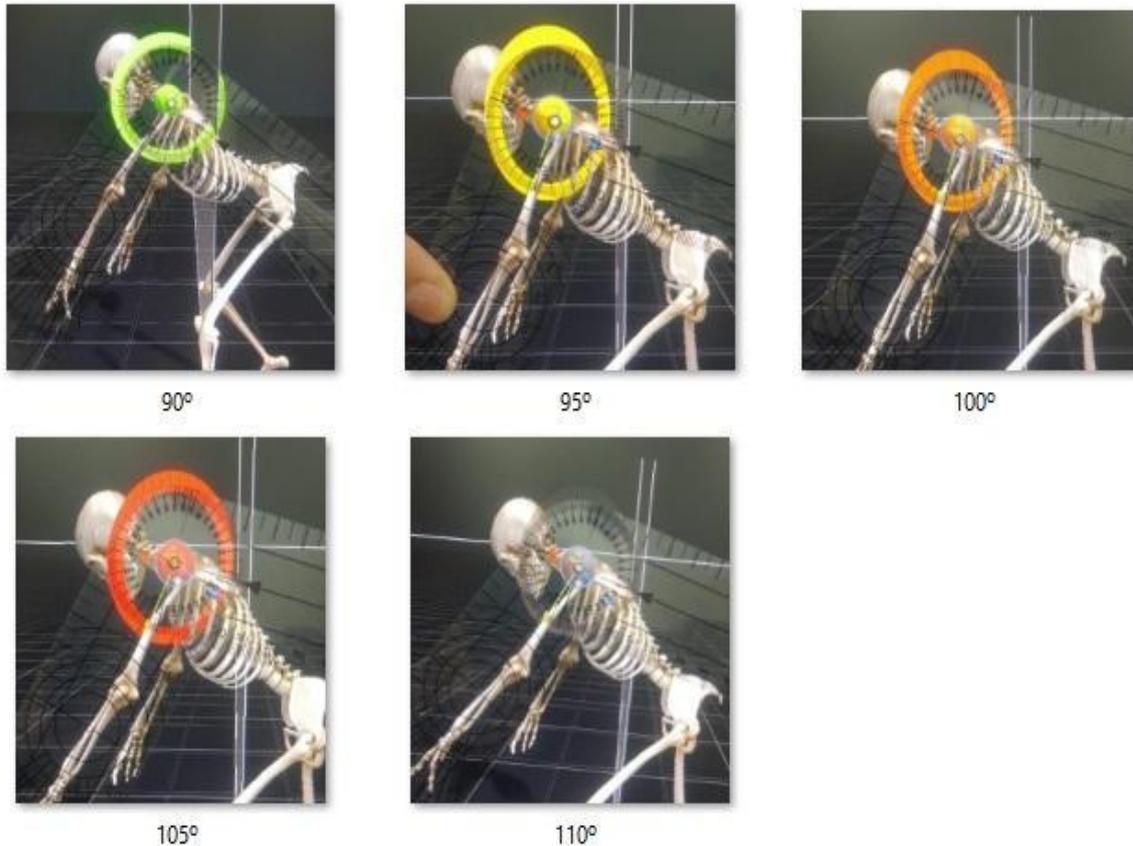


Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Análise de ombro em posição *Road Bike*: A Figura 177 apresenta a avaliação dos ângulos de ombro na posição de *Road Bike*, conforme analisado pelo ErgoMotion. Neste caso, o ângulo ideal é estritamente definido em 90 graus, demonstrando uma tolerância menor em comparação a outros movimentos. Uma variação de 5 graus para mais ou para menos, como 95 graus ou 85 graus, é visualizada na cor amarela, indicando um leve desvio do ideal. À medida que o ângulo se distancia ainda mais do padrão, com 100 graus ou 80 graus, a cor muda para laranja. Atingindo 105 graus ou 75 graus, o vermelho é empregado para sinalizar uma divergência significativa. Extremos como 110 graus ou 70 graus são marcados em cinza transparente, indicando que o movimento está completamente fora dos limites aceitáveis. Para assegurar a precisão destas medições, um goniômetro de acetato foi

utilizado sobre a tela do computador, permitindo uma validação precisa e alinhada com as técnicas de goniometria, e confirmando a eficácia do ErgoMotion em mapear as variações angulares para a posição de *Road Bike*.

Figura 177: Análise de ângulos de ombro em posição *Road Bike*, com verificação por goniometria, no ErgoMotion.

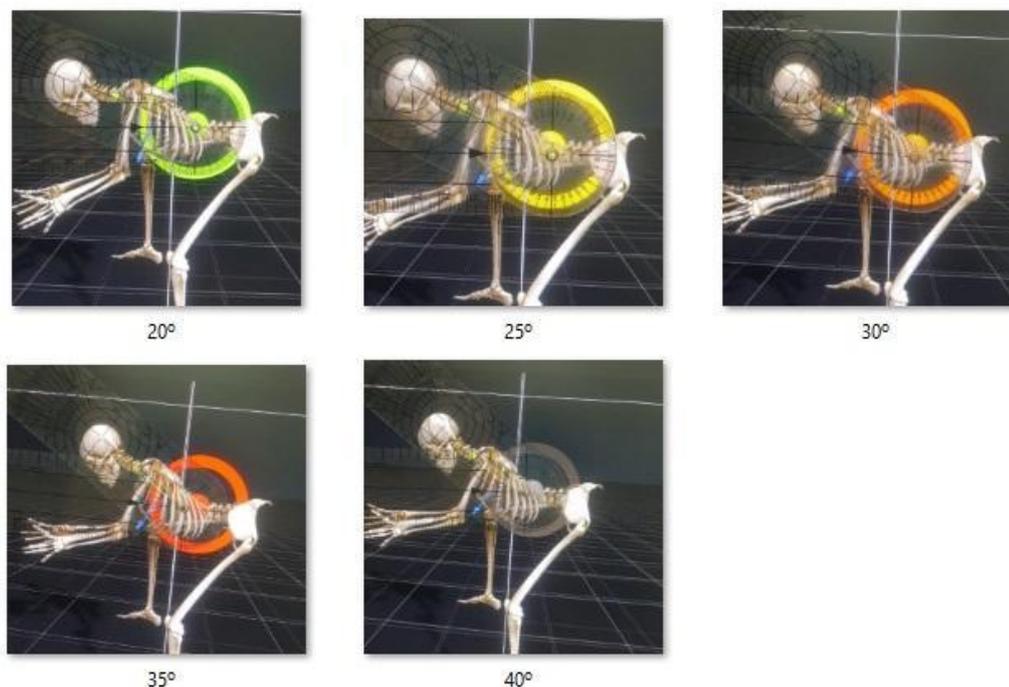


Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Análise lombar em posição *Time Trial*: A Figura 178 apresenta a análise da região lombar para a posição de *Time Trial* em ciclismo, utilizando o sistema ErgoMotion. O ângulo lombar ideal é identificado em 20 graus. A cor amarela é empregada para indicar um ângulo ligeiramente maior, de 25 graus, sugerindo uma pequena variação do ideal. A cor laranja representa um ângulo de 30 graus, e o vermelho, um ângulo de 35 graus, ambos indicando um desvio progressivamente maior do ângulo ideal. Um ângulo de 40 graus é marcado em cinza transparente, sinalizando que o movimento está fora da faixa de análise aceitável. A análise para ângulos menores que 20 graus, como 15 graus, também é representada em amarelo, embora seja uma posição rara e extremamente desafiadora para o corpo humano, particularmente em uma competição de *Time Trial*. Esta avaliação destaca a

relevância de manter uma postura lombar ergonômica ideal para otimizar o desempenho do ciclista e não tanto o conforto.

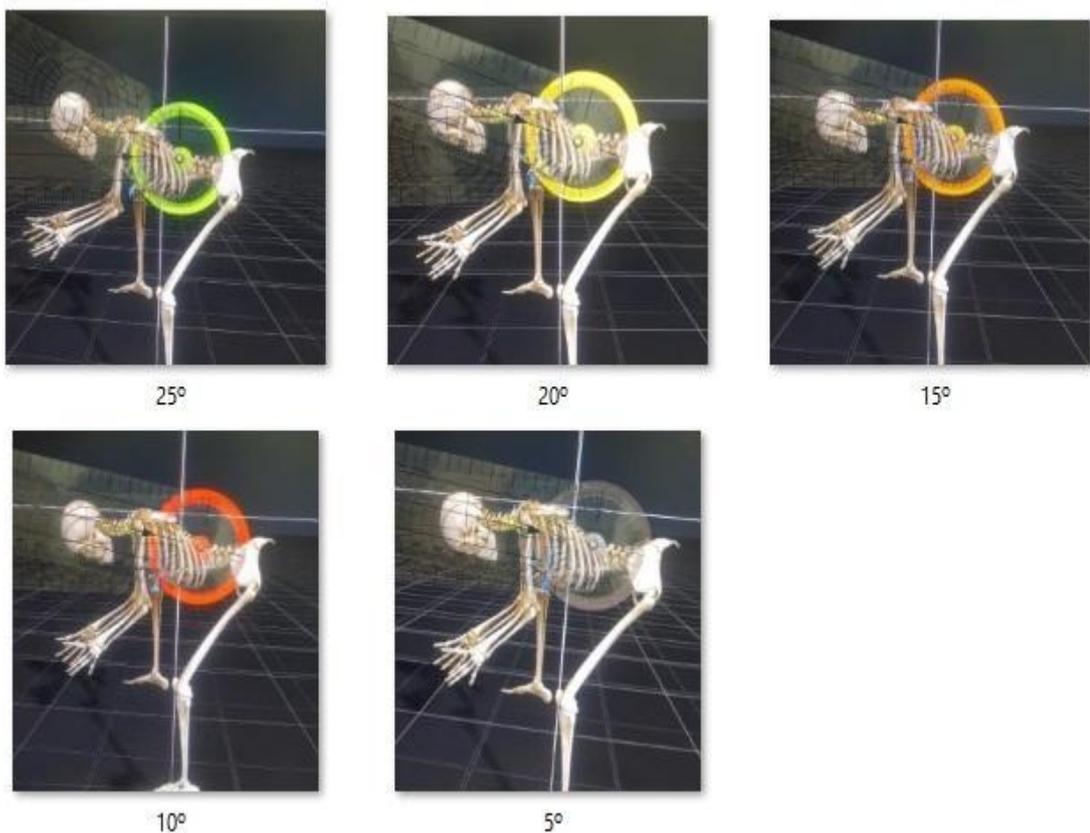
Figura 178: Análise ergonômica da região lombar, em posição *Time Trial*, no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Análise lombar em posição *Triathlon*: A Figura 179 mostra a análise da região lombar para ciclistas na posição de *Triathlon*, conduzida com o auxílio do sistema ErgoMotion. Nesta modalidade, o ângulo lombar ideal é definido em 25 graus, que é um pouco mais aberto do que o necessário para uma bicicleta de *Time Trial*. A cor amarela indica um ângulo de 20 graus, ligeiramente abaixo do ideal. A redução para 15 graus muda a cor para laranja, enquanto 10 graus são representados em vermelho, ambos indicando um afastamento progressivo do ângulo ideal. Um ângulo extremamente fechado de 5 graus é representado em cinza transparente, sinalizando que está fora do padrão aceitável. Da mesma forma, ângulos mais abertos são codificados: amarelo para 30 graus, laranja para 35, vermelho para 40 e cinza para 45 graus, indicando um ângulo demasiadamente aberto para a posição de *Triathlon*. A eficácia do ErgoMotion na representação destes ângulos foi verificada com o uso de um goniômetro de acetato sobre a tela do computador.

Figura 179: Avaliação ergonômica da região lombar em posição *Triathlon*, com verificação por goniometria, no ErgoMotion.



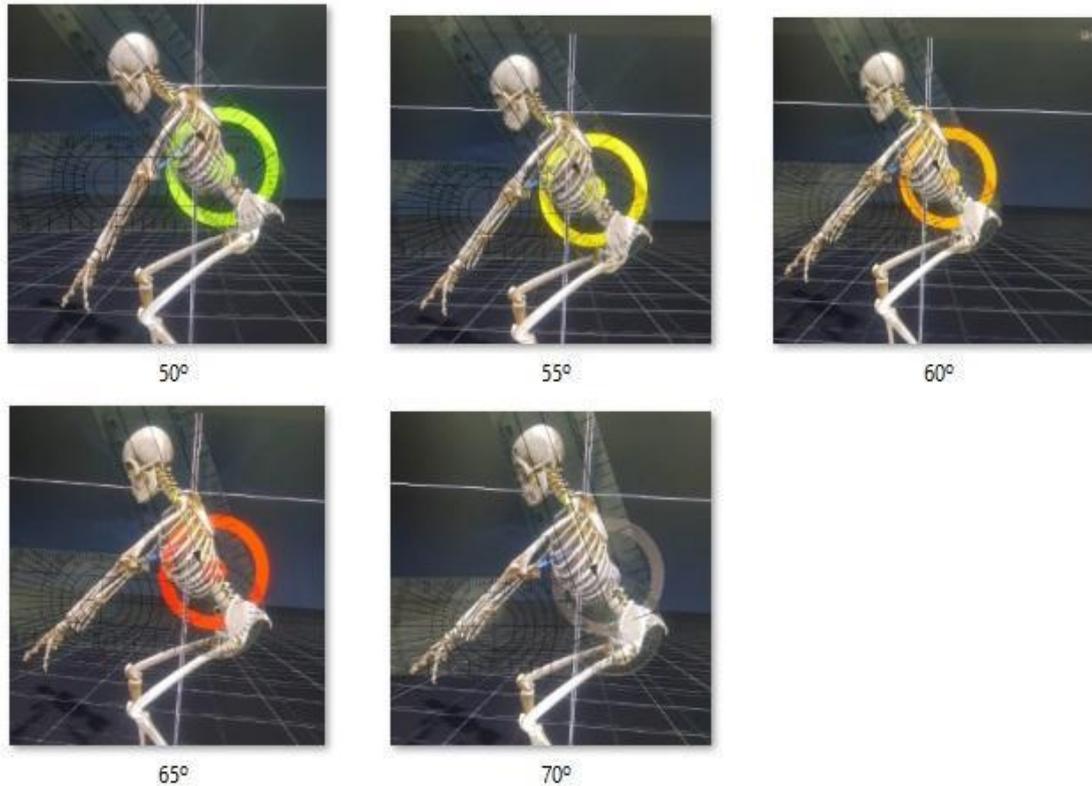
Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Análise lombar em posição *Mountain Bike*: A Figura 180 exibe a análise ergonômica da região lombar para a posição de *Mountain Bike*, conforme representado no sistema ErgoMotion. Para ciclistas em *Mountain Bikes*, o ângulo lombar ideal é determinado em 50 graus. À medida que este ângulo aumenta para 55 graus, a representação visual muda para amarelo, indicando um ligeiro desvio do ideal. Com um ângulo de 60 graus, a cor altera-se para laranja, e em 65 graus, o vermelho sinaliza um afastamento ainda maior do ângulo ergonômico recomendado. Um ângulo de 70 graus é marcado em cinza transparente, demonstrando que está completamente fora do movimento apropriado.

De forma inversa, ângulos menores que 50 graus são igualmente codificados com cores. Um ângulo de 45 graus é representado em amarelo, 40 graus em laranja,

35 graus em vermelho e, aos 30 graus, o cinza transparente indica um ângulo muito fechado e fora da faixa de análise aceitável.

Figura 180: Avaliação ergonômica da região lombar em posição *Mountain Bike* no ErgoMotion.



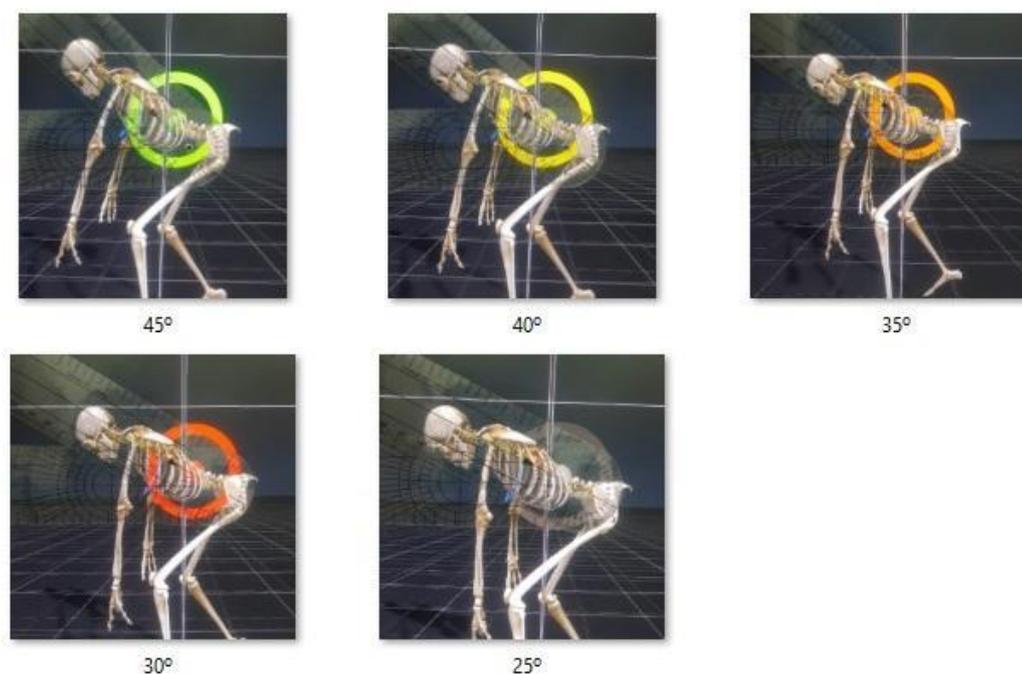
Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Análise lombar em posição *Road Bike*: A Figura 181 mostra a avaliação ergonômica da região lombar para a posição de *Road Bike* no sistema ErgoMotion. Interessante notar que o ângulo lombar ideal para uma *Road Bike* é definido em 45 graus, sendo 5 graus mais fechado do que o ângulo ideal para uma *Mountain Bike*. Uma redução para 40 graus é visualizada em amarelo, indicando um desvio leve do ideal. Ao atingir 35 graus, a cor muda para laranja, e aos 30 graus, para vermelho, sinalizando um afastamento significativo do ângulo ideal. Um ângulo muito fechado de 25 graus é representado em cinza transparente, evidenciando que está fora do movimento padrão para *Road Bikes*.

Da mesma maneira, ângulos superiores ao ideal são marcados com cores correspondentes: amarelo para 50 graus e assim por diante, a cada intervalo de 5 graus. A precisão da análise foi assegurada com o uso de um goniômetro de acetato

sobre a tela do computador, garantindo uma avaliação precisa e alinhada com as práticas de goniometria. A Figura 176 ilustra essa técnica, destacando a capacidade do ErgoMotion em fornecer uma representação visual eficaz das variações angulares e sua adequação ergonômica para o ciclismo de estrada.

Figura 181: Avaliação ergonômica da região lombar em posição *Road Bike*, com verificação por goniometria, no ErgoMotion.



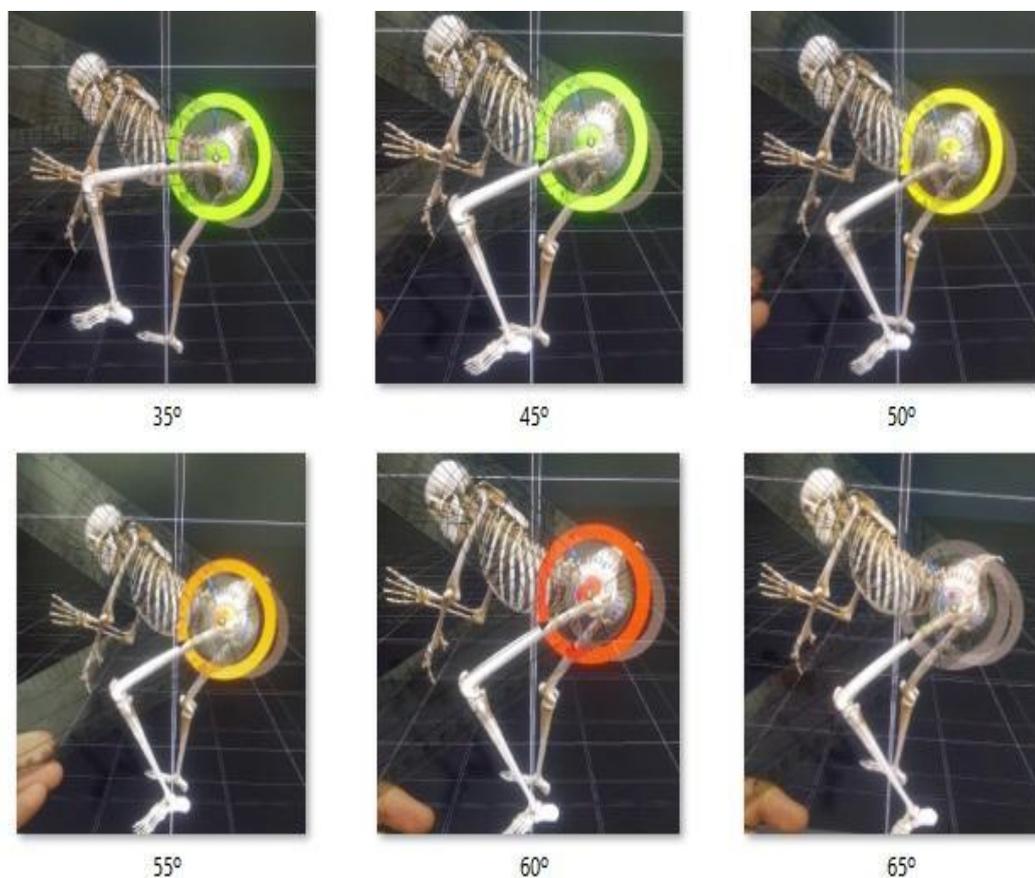
Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Análise de quadril em posição *Time Trial*: A Figura 182 apresenta a análise ergonômica da região do quadril em uma bicicleta *Time Trial*, utilizando o sistema ErgoMotion. Nesta posição, o ciclista atinge o ponto mais fechado do ciclo de pedalada, que pode ser comparado ao ponteiro do relógio marcando 12 horas, momento em que o quadril alcança seu ângulo ideal. Este ângulo ideal está situado entre 35 e 45 graus. Um aumento do ângulo para 50 graus muda o sinalizador de conforto para amarelo, indicando um leve desvio do ideal. Aos 55 graus, a cor altera-se para laranja e, aos 60 graus, para vermelho, apontando para um desvio mais significativo do ângulo ideal. Um ângulo de 65 graus é representado em cinza transparente, sinalizando que o movimento está fora do padrão aceitável.

De forma inversa, ângulos menores que 35 graus são igualmente representados: 30 graus em amarelo, 25 em laranja, 20 em vermelho e 15 graus em

cinza transparente, marcando um ângulo excessivamente fechado e fora do padrão para a posição de *Time Trial*.

Figura 182: Avaliação ergonômica da região do quadril em posição *Time Trial* no ErgoMotion.



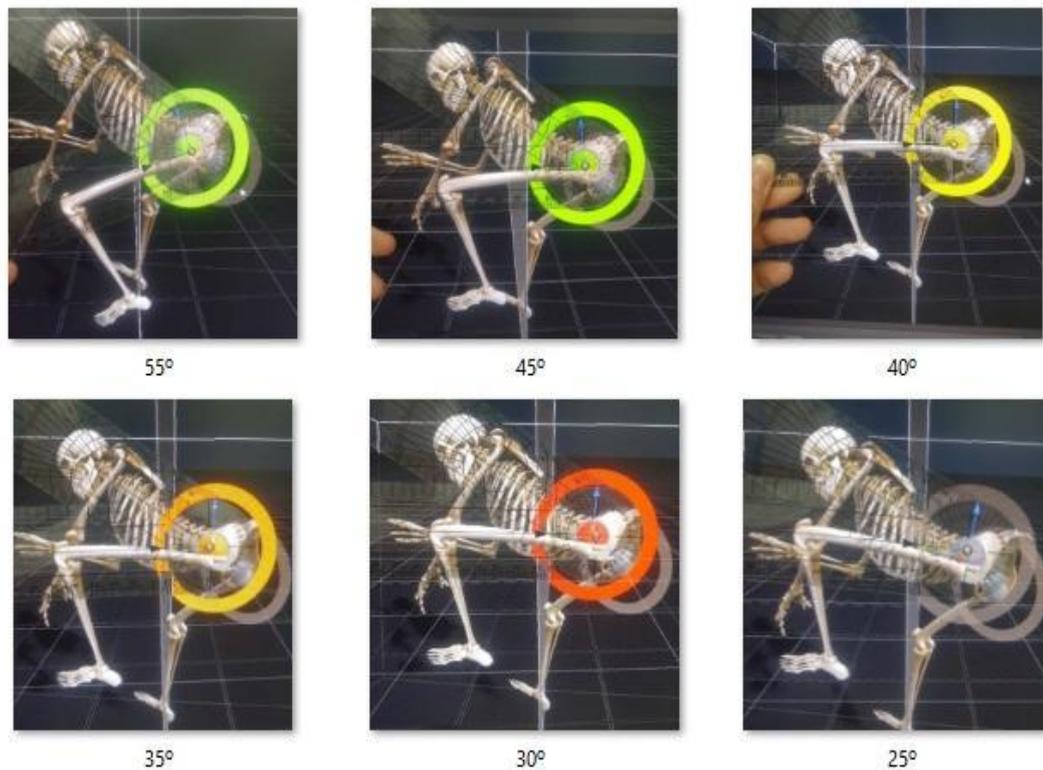
Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Análise de quadril em posição *Triathlon*: A Figura 183 demonstra a análise ergonômica da região do quadril em uma bicicleta *Triathlon*, utilizando o sistema ErgoMotion. Para esta modalidade, o ângulo ideal do quadril é definido entre 55 e 45 graus. As variações de ângulo são representadas em um espectro de cores que mudam em incrementos de 5 graus, tanto para aumentos quanto para diminuições em relação ao ângulo ideal.

Para confirmar a precisão destas medições, um goniômetro de acetato foi utilizado sobre a tela do computador durante a análise, assegurando uma avaliação precisa e alinhada com as técnicas de goniometria. Esta abordagem destaca a eficácia

do ErgoMotion em mapear visualmente as variações angulares e sua adequação ergonômica para o ciclismo em *Triathlon*.

Figura 183: Avaliação ergonômica da região do quadril em posição *Triathlon*, com verificação por goniometria, no ErgoMotion.



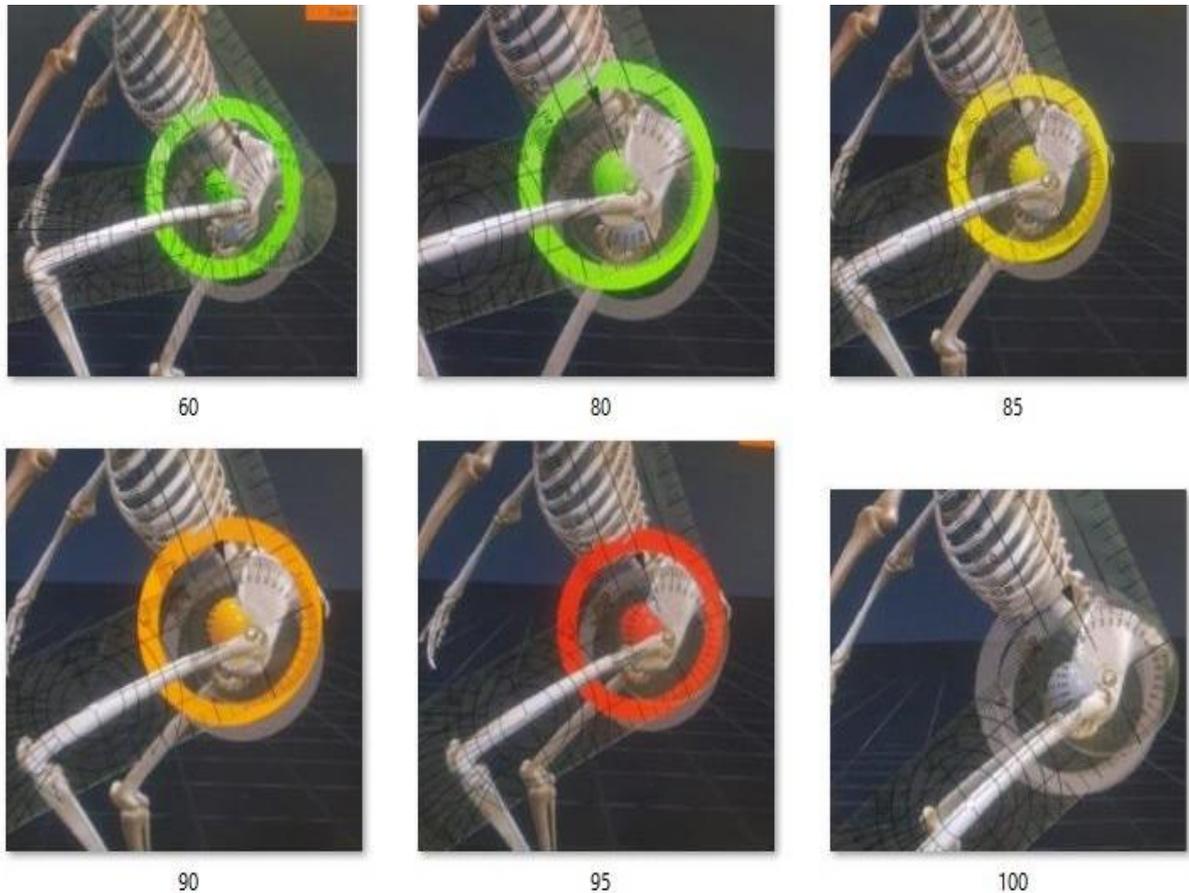
Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Análise de quadril em posição *Mountain Bike*: A Figura 184 ilustra a análise ergonômica da região do quadril para a posição de *Mountain Bike* no sistema ErgoMotion. Nesta modalidade de ciclismo, o ângulo ideal do quadril é identificado entre 60 e 80 graus, correspondente ao momento em que o pedal está na posição de 12 horas.

Um ângulo mais aberto de 85 graus é representado pela cor amarela no ErgoMotion, indicando uma ligeira ampliação em relação ao ângulo ideal. Um aumento para 90 graus muda a cor para laranja, e em 95 graus para vermelho, ambos sinalizando um afastamento progressivo do ângulo ideal. Aos 100 graus, o cinza transparente é utilizado, mostrando que o movimento está substancialmente fora do padrão aceitável.

De forma inversa, ângulos menores que 60 graus são igualmente representados: 55 graus em amarelo, 50 em laranja, e 45 graus em vermelho. Para garantir a precisão desta análise, um goniômetro de acetato foi empregado sobre a tela do computador.

Figura 184: Avaliação ergonômica da região do quadril em posição *Mountain Bike*, com verificação por goniometria, no ErgoMotion.



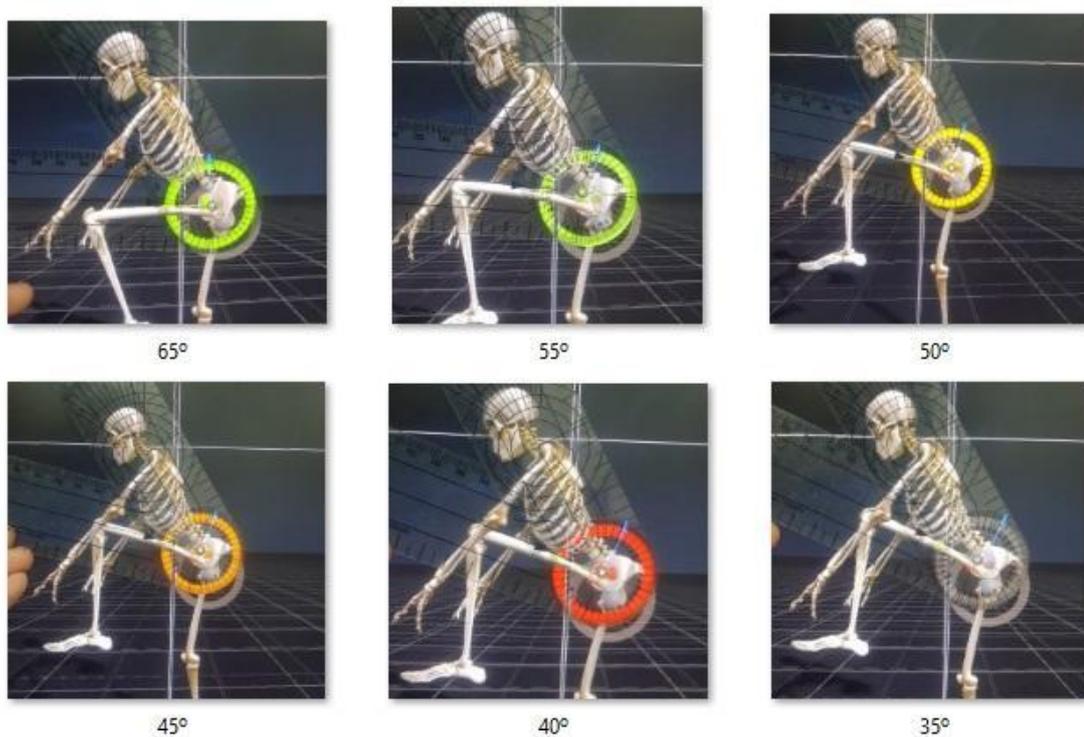
Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Análise de quadril em posição *Road Bike*: A Figura 185 apresenta a análise ergonômica da região do quadril para a posição de *Road Bike*, conforme visualizado no sistema ErgoMotion. Nesta configuração de ciclismo, o ângulo ideal do quadril é estabelecido entre 65 e 55 graus.

Quando o ângulo do quadril é reduzido para 50 graus, o ErgoMotion utiliza a cor amarela, indicando um ligeiro afastamento do ângulo ideal. Um ângulo de 45 graus é representado em laranja, e 40 graus em vermelho, ambos sinalizando um desvio crescente do ângulo ideal. Um ângulo muito fechado de 35 graus é marcado em cinza

transparente, denotando que o movimento está significativamente fora do padrão aceitável para a posição de *Road Bike*. Por outro lado, ângulos maiores que 65 graus são igualmente codificados com os mesmos padrões de cores descritos anteriormente.

Figura 185: Avaliação ergonômica da região do quadril em posição *Road Bike* no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Análise de flexão plantar do tornozelo em *Time Trial, Triathlon, Mountain Bike e Road Bike*: A Figura 186 aborda uma análise diferente, focando na flexão plantar do tornozelo nas quatro modalidades de ciclismo competitivo mencionadas por Burt (2022): *Time Trial, Triathlon, Mountain Bike e Road Bike*. Esta análise se concentra em dois momentos específicos do ciclo de pedalada: quando o pé está no ponto mais baixo (6 horas no pedal) e no ponto mais alto (12 horas no pedal). Diferentemente dos quadris, onde apenas o ângulo fechado é analisado, nos tornozelos e joelhos são considerados dois ângulos diferentes, correspondentes aos movimentos de flexão plantar e dorsiflexão, e de extensão e flexão nos joelhos.

Na Figura 181, a análise se centra na flexão plantar do tornozelo. Ao contrário das outras análises, onde a progressão das cores segue um padrão de amarelo a

vermelho e depois cinza, aqui a análise começa diretamente em vermelho para um ângulo de 80 graus, representando o movimento oposto ao ideal de flexão plantar de 95 a 105 graus - o ângulo ideal para o pé no ponto mais alto do pedal. Um ângulo de 110 graus é marcado em amarelo, indicando o início do desvio do ângulo ideal. A cor muda para laranja em 115 graus, vermelho em 120 graus, e um ângulo extremamente distante do ideal, como 140 graus, é representado em cinza transparente, indicando um movimento completamente fora do padrão aceitável.

Figura 186: Análise da flexão plantar do tornozelo nas modalidades *Time Trial*, *Triathlon*, *Mountain Bike* e *Road Bike*, no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

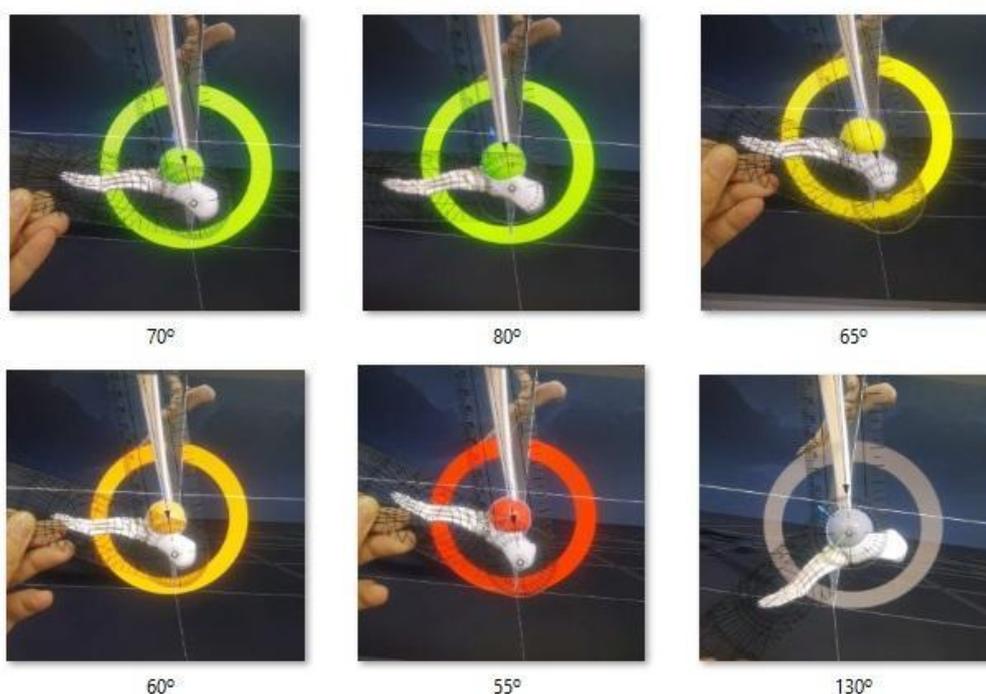
Análise de dorsiflexão do tornozelo em ciclismo: A Figura 187 foca na dorsiflexão do tornozelo durante o ciclismo, utilizando os mesmos princípios de análise aplicados anteriormente para a flexão plantar. Esta análise é particularmente relevante quando o pé está no ponto mais baixo do ciclo de pedalada, ou seja, às "6 horas" no pedal.

Neste contexto, um ângulo de 75 graus é representado pela cor vermelha no sistema ErgoMotion, indicando um movimento oposto ao ideal. Os ângulos considerados ideais para a dorsiflexão nesse momento do pedal variam entre 70 e 80 graus, com os dedos do pé se movendo na direção da tíbia. Se o ângulo se fecha

mais, atingindo 65 graus, a representação muda para amarelo, sinalizando um leve afastamento do ideal. Um ângulo de 60 graus é indicado em laranja e 55 graus em vermelho, ambos apontando para um desvio cada vez maior e, potencialmente, prejudicial do ângulo ideal.

Para ilustrar um movimento extremamente distante do padrão aceitável, a Figura 182 mostra um ângulo de 130 graus, representado em cinza transparente. Este ângulo é considerado totalmente fora do padrão para a dorsiflexão no ciclismo, e pode resultar em lesões se não for corrigido.

Figura 187: Análise da dorsiflexão do tornozelo no ciclismo com sistema ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

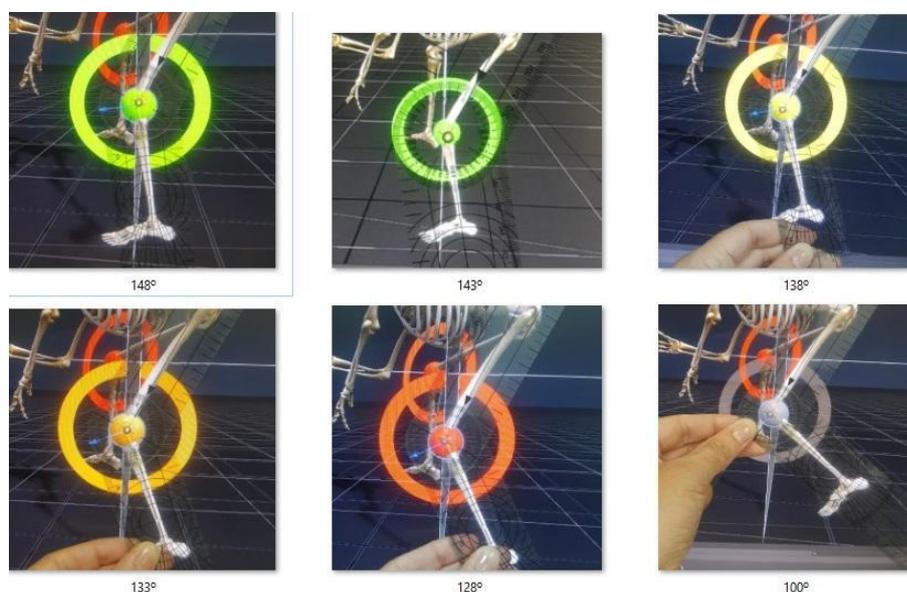
Análise de extensão do joelho em bicicletas *Time Trial* e *Triathlon*: A Figura 188 explora a crucial questão dos ângulos de extensão do joelho nas bicicletas de alta velocidade, como *Time Trial* e *Triathlon*. A análise se concentra no momento em que o pedal está no ponto mais baixo do ciclo, equivalente às "6 horas" no pedal, onde a perna do ciclista está estendida ao máximo.

Para estas modalidades de ciclismo, o ângulo ideal de extensão do joelho é identificado entre 148 e 143 graus, representado pela cor verde no ErgoMotion. Este intervalo é considerado ótimo tanto para evitar lesões quanto para maximizar a

performance do atleta. Um ângulo ligeiramente mais aberto de 150 graus seria indicado em vermelho (não contém esse exemplo na imagem abaixo), sugerindo um risco potencial de lesão.

Por outro lado, um ângulo de 138 graus representa um leve afastamento do ideal, sendo marcado em amarelo. Um ângulo de 133 graus é visualizado em laranja, enquanto 128 graus é considerado excessivamente fechado para esses tipos de bicicleta, sendo representado em vermelho. Um ângulo extremamente distante do ideal, como 100 graus, é mostrado em cinza transparente, indicando que está completamente fora dos padrões aceitáveis para análise.

Figura 188: Análise da extensão do joelho em bicicletas *Time Trial* e *Triathlon* no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

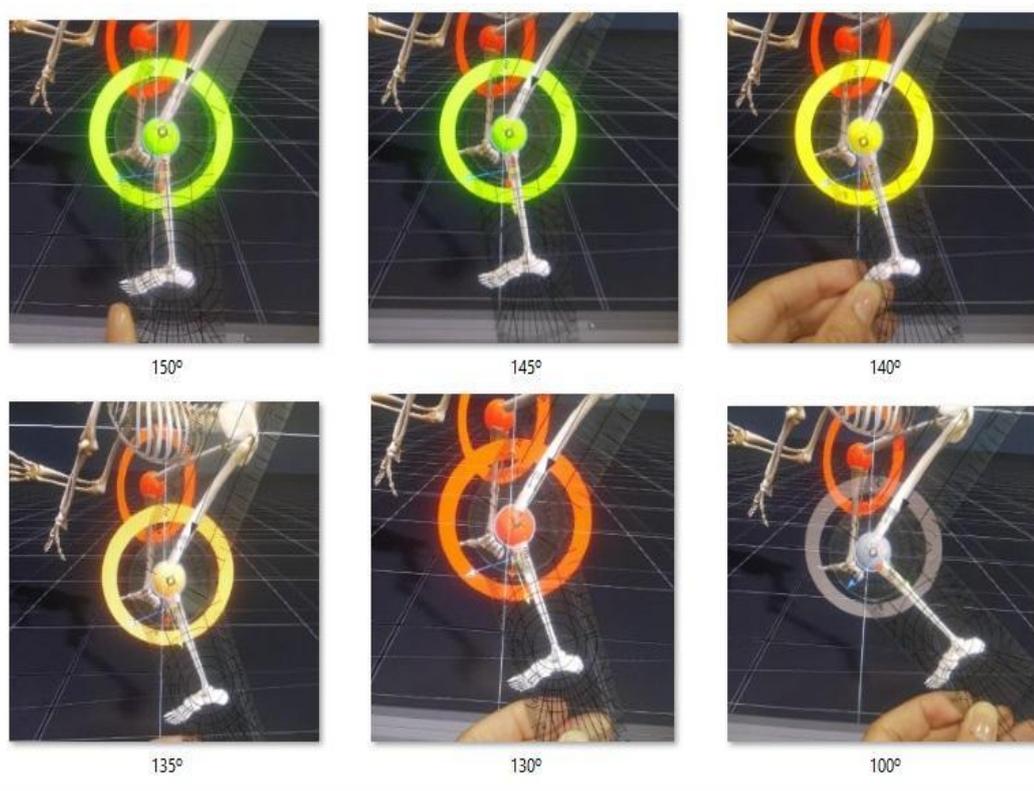
Análise de extensão do joelho em *Mountain Bike* e *Road Bike*: A Figura 189 se dedica à avaliação da extensão do joelho nas modalidades de *Mountain Bike* e *Road Bike*, utilizando o sistema ErgoMotion. Neste contexto, os ângulos ideais de extensão do joelho são definidos entre 150 e 145 graus, considerados ótimos para a performance e prevenção de lesões nestes tipos de ciclismo.

Um ângulo ligeiramente mais fechado de 140 graus é representado em amarelo, indicando um desvio modesto do ideal. À medida que o ângulo se reduz ainda mais para 135 graus, a representação muda para laranja, e em 130 graus para

vermelho, apontando para um afastamento crescente do ângulo ideal e um risco potencial de lesões.

Para ilustrar um movimento significativamente fora dos padrões aceitáveis, a Figura 184 exibe um ângulo de 100 graus marcado em cinza transparente, indicando uma posição altamente inadequada para a extensão do joelho em *Mountain Bike* e *Road Bike*. A precisão desta análise foi confirmada com o uso de um goniômetro de acetato sobre a tela do computador, assegurando que as medições virtuais estivessem alinhadas com as orientações da literatura indicada por Burt (2022).

Figura 189: Análise da extensão do joelho em *Mountain Bike* e *Road Bike*, com goniometria, no ErgoMotion.



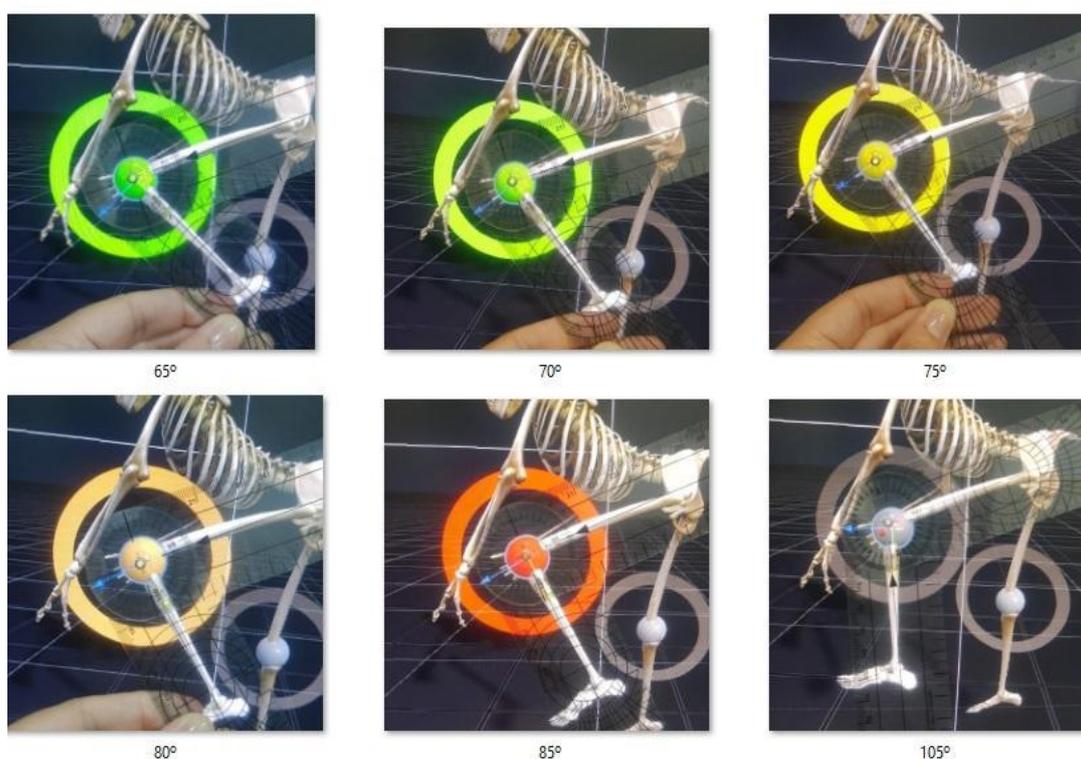
Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Análise de flexão do joelho em *Time Trial*, *Triathlon* e *Mountain Bike*: A Figura 190 se concentra na flexão do joelho durante o ciclismo, especificamente nas modalidades de alta velocidade como *Time Trial* e *Triathlon*, além da *Mountain Bike*. Este aspecto da análise é crucial quando o ciclista está com os joelhos dobrados e o pé no ponto mais alto do ciclo de pedalada, equivalente às "12 horas" no pedal.

Para essas modalidades de ciclismo, os ângulos ideais de flexão do joelho são estabelecidos entre 65 e 70 graus, considerados ótimos para prevenir lesões e otimizar a performance. Um ângulo ligeiramente maior de 75 graus é representado pela cor amarela, indicando um afastamento modesto do ideal. À medida que o ângulo aumenta para 80 graus, a cor muda para laranja, e em 85 graus para vermelho, ambos sinalizando um afastamento progressivo do ângulo ideal e um risco potencial de lesões.

Um ângulo extremo de 105 graus é marcado em cinza transparente no ErgoMotion, demonstrando que este movimento está substancialmente fora do padrão aceitável para a flexão do joelho. É importante notar que, ao contrário das análises anteriores, os ângulos opostos que passam do vermelho para o cinza não são considerados aqui, pois o foco é exclusivamente no movimento de flexionar o joelho.

Figura 190: Análise da flexão do joelho em *Time Trial*, *Triathlon* e *Mountain Bike* no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

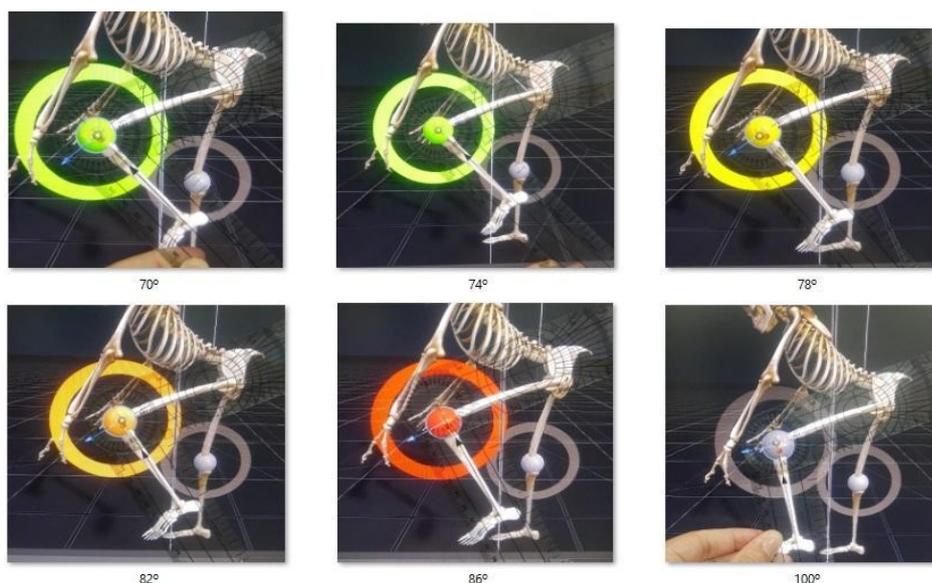
Análise de flexão do joelho em *Road Bike*: A Figura 191 se dedica à avaliação da flexão do joelho específica para a modalidade de *Road Bike*, destacando

as diferenças em relação às outras três modalidades de bicicletas de competição mencionadas por Burt (2022). Neste caso, o foco é no momento em que o joelho está dobrado e o pé alcança o ponto mais alto do ciclo de pedalada.

Para as *Road Bikes*, os ângulos ideais de flexão do joelho são identificados entre 70 e 74 graus, representados pela cor verde no sistema ErgoMotion, indicando uma posição ótima para evitar lesões e maximizar a performance. Um afastamento ligeiro deste ângulo ideal, com um ângulo de 78 graus, é representado em amarelo, sugerindo um desvio modesto. A cor muda para laranja em 82 graus e para vermelho em 86 graus, ambos indicando um afastamento progressivo do ângulo ideal e um risco potencial de lesões.

Para ilustrar um movimento extremamente fora do padrão, um ângulo de 100 graus é representado em cinza transparente, demonstrando que está significativamente fora do padrão aceitável para a flexão do joelho em uma *Road Bike*. Esta abordagem visual e colorida oferece uma interpretação clara e intuitiva das variações angulares e sua adequação ergonômica para o ciclismo de estrada.

Figura 191: Análise da flexão do joelho em *Road Bike* no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Observações finais sobre as análises com goniômetro de acetato: A realização de análises ergonômicas utilizando um goniômetro de acetato sobre a tela de um computador, como descrito nas avaliações anteriores, revelou alguns pontos

importantes. Embora possa haver margem para erros nas medições com o goniômetro, as medidas obtidas coincidiram consistentemente com os ângulos nas coordenadas X, Y e Z no ambiente *Unity 3D*. Essa correspondência sugere que o método utilizado pode ser considerado confiável para fins de análise ergonômica no contexto deste estudo.

Além disso, foi observado que as cores representadas no *software ErgoMotion* podem variar dependendo do monitor utilizado. Durante as medições, vários computadores foram empregados, incluindo equipamentos pessoais, os do laboratório Virtual VID e computadores disponíveis nas bibliotecas de Psicologia e Educação Física e Engenharias da UFRGS. Conseqüentemente, variações nas tonalidades de verde, amarelo, laranja e vermelho podem ser notadas em algumas das imagens apresentadas.

7.3 BIKE FIT - EXPERIÊNCIAS COM BICICLETAS DE COMPETIÇÃO.

As primeiras experiências com *Bike Fit* no Laboratório VID da UFRGS: A Figura 187 documenta as experiências iniciais realizadas no laboratório de Virtual Design (VID) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), focadas em *Bike Fit*. Estas experiências envolveram o uso de uma bicicleta estilo *Road Bike*, especificamente ajustada para uma pessoa com estatura de 1 metro e 43 centímetros. O setup experimental incluiu um rolo de ciclismo e a utilização de dois dispositivos *Kinect V1* para a captura de movimentos. A imagem na Figura 192 oferece uma visão clara desta experiência inicial.

Figura 192: Visualização da experiência inicial com *Bike Fit*.



Kinect 1 Road Bike

Kinect 2 Road Bike

A Figura 193 apresenta uma análise detalhada das dimensões da bicicleta utilizada nas experiências de *Bike Fit* no laboratório de Virtual Design (VID). Esta visualização permite uma compreensão aprofundada das especificações ergonômicas e biomecânicas da bicicleta, que foi ajustada para atender às necessidades de um indivíduo com estatura de 1 metro e 43 centímetros. A imagem oferece uma representação das proporções e ajustes da bicicleta.

Figura 193: Análise das dimensões da bicicleta *Road Bike* para 1 m 43 cm.



Fonte: CORTESIA DE LIÉGE DISCONZI RODRIGUES, 2023.

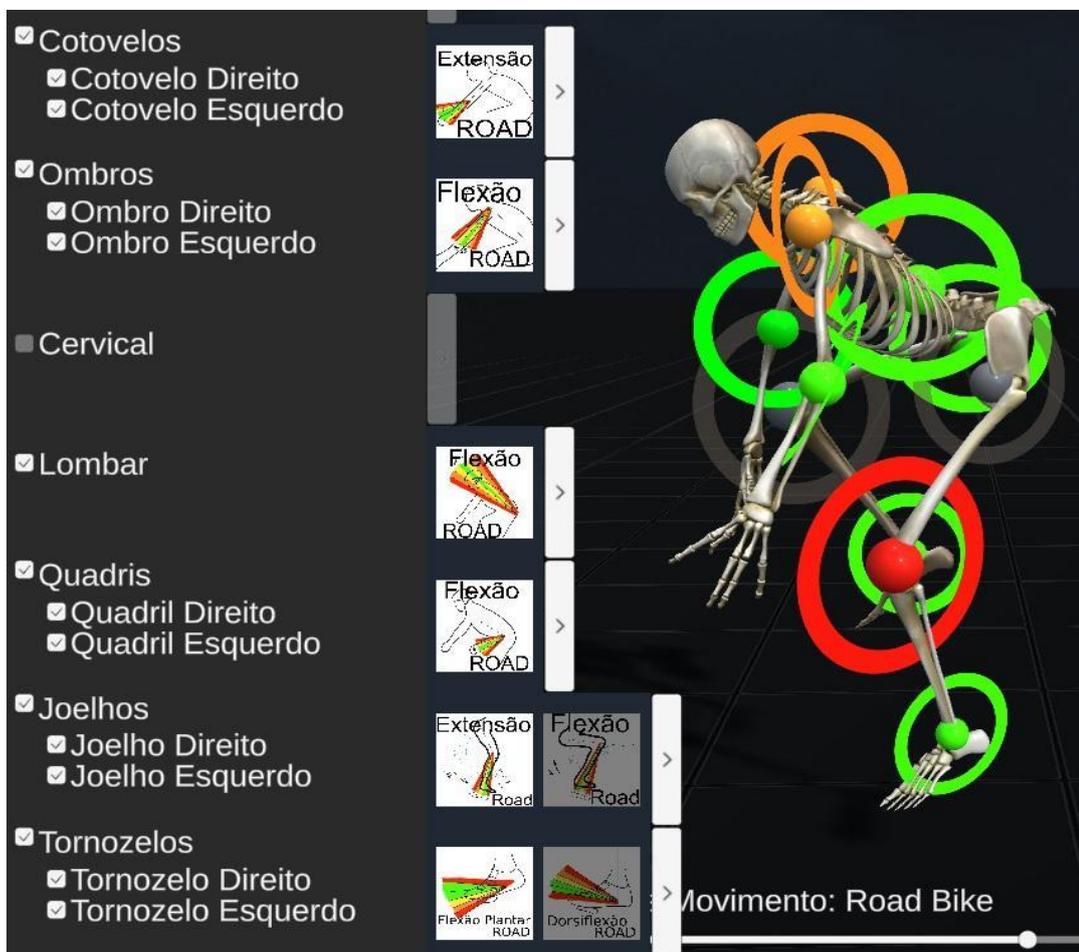
Análise ergonômica em bicicleta *Road Bike* pequena com selim alto: A Figura 194 apresenta uma análise detalhada realizada em uma bicicleta *Road Bike* ajustada com o selim na posição mais alta possível. A bicicleta foi customizada para uma ciclista de 1 metro e 43 centímetros, enquanto o ator responsável pela captura de movimento possui 1 metro e 88 centímetros de altura. Esta configuração proporcionou uma oportunidade única de avaliar a adaptabilidade ergonômica da bicicleta em relação a um ciclista significativamente mais alto.

A análise indicou que, apesar de alguns aspectos serem satisfatórios, como a extensão adequada do cotovelo e a posição correta da região lombar e dos quadris, há uma incompatibilidade clara quanto ao tamanho da bicicleta para o ator. Especificamente, foi observado que a flexão dos ombros e a extensão dos joelhos na

posição das 6 horas do pedal, bem como a flexão dos joelhos na posição das 12 horas do pedal, não alcançam os ângulos ideais. No entanto, os tornozelos demonstraram realizar corretamente o movimento de Flexão Plantar nas 12 horas do pedal, conforme evidenciado pela cor verde nos indicadores de conforto no ErgoMotion.

A partir desta análise, conclui-se que uma bicicleta projetada para um ciclista menor pode, com ajustes como um selim mais alto, atender a alguns critérios ergonômicos, particularmente em relação à cotovelos e tornozelos. No entanto, é crucial ressaltar que os joelhos, uma das principais articulações em termos de prevenção de lesões e otimização de desempenho para ciclistas, não conseguem atingir o ângulo ideal nesse cenário, destacando a importância de uma bicicleta adequadamente dimensionada para cada ciclista.

Figura 194: Avaliação ergonômica com ErgoMotion em bicicleta *Road Bike* pequena, selim alto, com ciclista de 1m88cm.



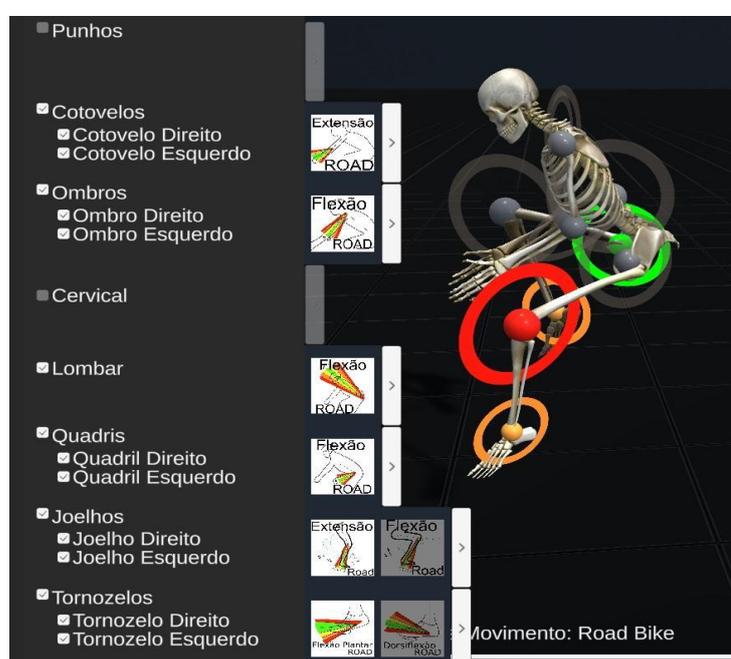
Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Análise ergonômica em bicicleta *Road Bike* pequena, com selim baixo: A Figura 195 apresenta uma análise ergonômica conduzida em uma bicicleta *Road Bike*, com o selim ajustado na posição mais baixa. A bicicleta, originalmente desenhada para uma ciclista de 1,43 metros de altura, foi submetida a testes com um ator de 1,88 metros. Esta configuração propiciou uma avaliação em um cenário de desproporcionalidade extrema, ilustrando as limitações ergonômicas em situações de adaptação de tamanho significativo.

Na avaliação realizada com o *software* ErgoMotion, constatou-se que o tamanho da bicicleta era extremamente inadequado para o ator mais alto. Os movimentos dos ombros e quadris foram representados pela cor cinza transparente, indicando que o movimento não chega nem perto do ângulo ideal, sendo assim movimentos críticos. Os cotovelos também são visualizados em cinza transparente, refletindo ângulos muito distantes do padrão ideal.

A análise dos tornozelos revelou que eles quase alcançam o ângulo ideal, sendo representados pela cor laranja no sistema, enquanto os joelhos são marcados em vermelho. Esta coloração indica uma incompatibilidade significativa no movimento de extensão, ou mesmo na flexão, dos joelhos. Este resultado sugere fortemente a importância de uma bicicleta adequada ao tamanho do ciclista para garantir uma experiência ergonômica e de performance eficaz.

Figura 195: Análise ergonômica em bicicleta *Road Bike* pequena, com selim baixo, no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

A Figura 196 exibe a gravação de uma sessão de *Bike Fit* conduzida em uma *mountain bike* Aro 26 com quadro tamanho pequeno (P). Esta visualização destina-se a avaliar a ergonomia da bicicleta em relação a um ciclista, proporcionando dados críticos para entender como variações no tamanho do quadro influenciam a postura e o desempenho do ciclista.

Figura 196: Captura de movimento em *Mountain Bike* com quadro pequeno.



Kinect 1 Mountain Bike



Kinect 2 Mountain Bike

Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Análise ergonômica em bicicleta *Mountain Bike* com selim ajustado (Frame 903): A Figura 197 ilustra uma análise realizada em uma bicicleta *Mountain Bike* Aro 26 com um quadro pequeno, ajustada com o selim na posição mais alta, para avaliar a adequação ergonômica para um ator de 1,88 metros de altura. No frame 903 da captura de movimento, o ciclista é visto com o pedal esquerdo no ponto mais alto do ciclo de pedalada, oferecendo uma perspectiva detalhada da posição ergonômica.

Neste quadro específico, observa-se que o cotovelo direito está no ângulo ideal, enquanto o esquerdo está fora do limite, sugerindo um possível movimento mais brusco do ator. Da mesma forma, o ombro direito mantém o ângulo correto, mas o esquerdo não atinge as medidas ideais. Surpreendentemente, os ombros, quadris, a flexão do joelho e os tornozelos apresentam-se nos ângulos ideais. No entanto, a região lombar parece estar em um ângulo mais aberto do que o recomendado, aproximando-se dos 90 graus.

Este quadro específico demonstra que, embora muitos dos ângulos estejam ideais, nem todos se encontram dentro dos padrões de ergonomia ótimos. Esta análise ressalta a complexidade de adaptar uma bicicleta de tamanho menor para um ciclista mais alto, mesmo com ajustes como elevar o selim. A inconsistência nos ângulos de várias articulações, como cotovelos e ombros, enfatiza a necessidade de um ajuste mais abrangente para garantir uma adequação ergonômica completa.

Figura 197: Análise ergonômica em bicicleta *Mountain Bike* aro 26, com selim alto, no ErgoMotion.



Análise ergonômica em bicicleta *Mountain Bike* com selim ajustado (Frame 978): No frame 978 da captura de movimentos (Figura 198), realizamos uma análise ergonômica detalhada em uma bicicleta *Mountain Bike* com um ator de altura consideravelmente maior que a do design original da bicicleta. Esta análise visa compreender como diferentes articulações e partes do corpo se adaptam a uma bicicleta de tamanho menor.

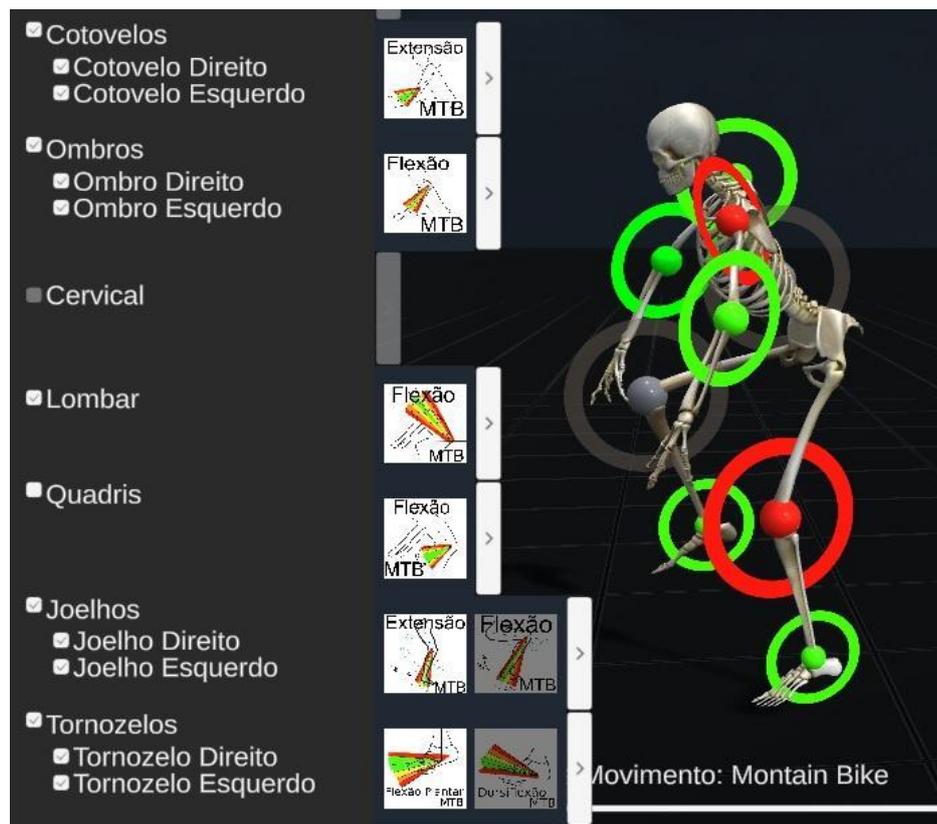
A observação focaliza a extensão do joelho durante o ponto mais baixo do ciclo de pedalada (posição "6 horas"). Neste momento específico, a extensão do joelho é visualizada na cor vermelha no sistema ErgoMotion, indicando que o ângulo alcançado não é considerado ideal para a estatura do ator. Isso sugere uma falta de alinhamento ergonômico adequado para a altura do ciclista, particularmente no que diz respeito ao movimento de pedalada.

Os quadris não são destacados nesta análise específica, pois a avaliação de seus ângulos é mais relevante quando estão na posição fechada (ou seja, quando o pedal está no ponto mais alto). Por outro lado, a região lombar é observada aberta e significativamente fora do ângulo ideal, indicando uma postura potencialmente desconfortável e ineficiente.

Embora os cotovelos e os tornozelos estejam posicionados nos ângulos ideais, o ombro esquerdo é marcado em vermelho, saindo do ideal, o que pode ocorrer devido a movimentos assimétricos ou ajustes inadequados na bicicleta.

Em resumo, apesar desta bicicleta *Mountain Bike* de tamanho menor atingir alguns ângulos ideais, ela claramente não está alinhada para proporcionar um ajuste ergonômico ideal para a altura do ciclista, especialmente em um contexto competitivo. Esta análise ressalta a importância de um alinhamento ergonômico preciso para garantir não apenas o conforto, mas também a eficiência e a segurança do ciclista.

Figura 198: Análise ergonômica de extensão do joelho e outras articulações, em bicicleta *Mountain Bike*, no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

7.3.1 *Bike Fit* - experiências com bicicletas de competição em bicicleta ergométrica.

Dando continuidade às experiências iniciadas com o rolo de ciclismo, as análises foram estendidas ao uso de uma bicicleta ergométrica, conforme ilustrado na Figura 199. Este equipamento oferece a vantagem de permitir ajustes variados, facilitando a simulação de diferentes tipos de bicicletas de competição, inclusive aquelas inacessíveis devido ao alto custo, como as bicicletas de *Time Trial* e *Triathlon*.

A bicicleta ergométrica proporcionou uma base para validar os ângulos ideais anteriormente observados em bicicletas *Road* e *Mountain Bike*. Além disso, foi possível realizar testes em configurações que simulam as condições de bicicletas de *Time Trial* e *Triathlon*, que possuem parâmetros e exigências ergonômicas específicas.

Com as diversas opções de regulação disponíveis na bicicleta ergométrica, iniciou-se o processo de mensuração dos ângulos nas diversas posturas de ciclismo,

conforme indicado por Burt (2022), em cada tipo de bicicleta. As capturas de movimento foram realizadas e analisadas para garantir a precisão ergonômica.

Dentro do *software* ErgoMotion, na aba "*Upload*", foram criadas pastas nomeadas com os tipos de bicicletas de competição. Cada pasta contém animações nomeadas de acordo com o tipo de bicicleta e as especificações do ator, por exemplo, "*Time Trial* Bicicleta Ergométrica (M) 188", indicando o gênero (Masculino) e a altura do ator (1 metro e 88 centímetros). Essas animações contêm as capturas de movimentos avaliadas com o auxílio de um goniômetro, assegurando a correspondência dos ângulos observados com os parâmetros ergonômicos ideais.

Figura 199: Bicicleta ergométrica utilizada nas experiências.

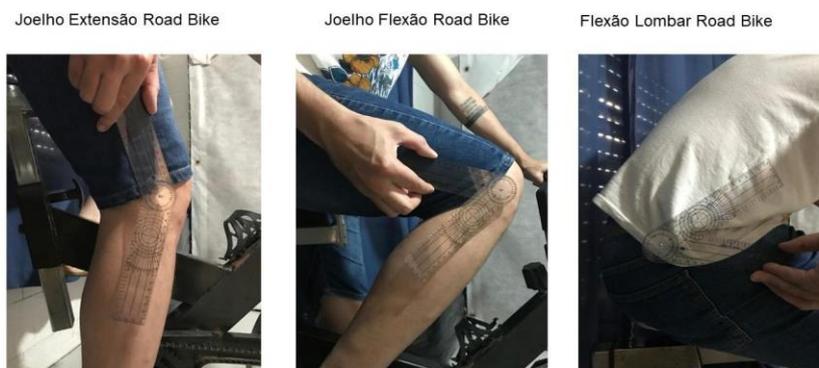


Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Análise ergonômica com bicicleta ergométrica: Utilizando a bicicleta ergométrica, efetuou-se a transferência meticulosa de ângulos ergonômicos ao corpo do ator, com auxílio de um goniômetro. Esta abordagem garantiu a precisão e a fidedignidade das medições, conforme os padrões estabelecidos por Burt (2022). As imagens a seguir detalham este processo:

Figura 200 - Conferência de ângulos em *Road Bike*: Esta figura ilustra a aplicação dos ângulos de extensão e flexão do joelho, assim como a conformidade da postura lombar para uma bicicleta *Road Bike*.

Figura 200: Verificação de extensão e flexão de joelhos e flexão da lombar em uma *Road Bike*.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Figura 201 - Análise detalhada de *Road Bike*: A imagem demonstra a conferência do ângulo de flexão do ombro, a extensão do cotovelo (aplicável também a *Mountain Bikes*) e a flexão do quadril em uma *Road Bike*.

Figura 201: Avaliação ergonômica de flexão do ombro, extensão do cotovelo e flexão do quadril, em *Road Bike*.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Figura 202 - Tornozelo em diversas modalidades de ciclismo: Apresenta a transferência dos ângulos considerados ideais para tornozelos em todas as bicicletas de competição mencionadas por Burt (2022), abrangendo as medidas da Flexão Plantar e Dorsiflexão para *Road Bike*, *Mountain Bike*, *Time Trial* e *Triathlon*.

Figura 202: Análise comparativa dos ângulos de tornozelo em modalidades diversificadas de ciclismo.

Flexão Plantar Tornozelo Road Bike - Mountain Bike - Time trial - Triathlon



Dorsiflexão Tornozelos Road Bike - Mountain Bike - Time trial - Triathlon



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Figura 203 - Extensão e flexão do joelho em diversos modelos: Exibe a extensão do joelho para *Mountain Bike*, *Time Trial* e *Triathlon*, juntamente com a verificação dos ângulos de flexão do joelho para esses modelos e a flexão lombar em uma *Mountain Bike*.

Figura 203: Análise integrada da extensão e flexão do joelho em *Mountain Bike*, *Time Trial* e *Triathlon*.

Extensão do Joelho Mountain Bike - Time Trial - Triathlon



Flexão do Joelho Mountain Bike - Time Trial - Triathlon



Flexão Lombar Mountain Bike



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Figura 204 - Lombar em *Time Trial*: Apresenta uma visão geral da postura do ator durante a flexão lombar em uma *Time Trial*, destacando o ângulo extremamente fechado, característico deste modelo.

Figura 204: Avaliação da flexão lombar em bicicleta *Time Trial*: análise postural do ator.

Flexão Lombar Time Trial



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Figura 205 - Análise de *Mountain Bike*: Mostra a aplicação dos ângulos da flexão do ombro em uma *Mountain Bike* e extensão do cotovelo para *Mountain Bike* e *Road Bikes*, e a flexão do quadril em uma *Mountain Bike*.

Figura 205: Análise ergonômica em *Mountain Bike*: flexão de ombro, extensão de cotovelo e flexão de quadril.

Flexão Ombro Mountain Bike



Extensão Cotovelo Mountain Bike e Road Bike



Flexão Quadril Mountain Bike



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Figura 206 - Lombar em *Time Trial*: Apresenta uma visão geral da postura do ator durante a flexão lombar em uma *Time Trial*, destacando o ângulo extremamente fechado, característico deste modelo.

Figura 206: Avaliação da flexão lombar em posição *Time Trial*: demonstração de ângulo fechado

Flexão Lombar Time Trial



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Figura 207 - Análise de *Time Trial* e *Triathlon*: Esta figura mostra a aplicação dos ângulos de extensão do cotovelo para bicicletas *Time Trial* e *Triathlon*, a flexão do quadril em *Time Trial* e a flexão da lombar em *Triathlon*.

Figura 207: Avaliação de postura em bicicletas *Time Trial* e *Triathlon*: foco em cotovelo, quadril e lombar.

Extensão Cotovelo Time Trial -
Triathlon



Flexão Quadril Time Trial



Flexão Lombar Triathlon



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Figura 208 - Triathlon: ombro e quadril: Ilustra a transferência de medidas dos ângulos da flexão do ombro em uma bicicleta de *Triathlon* e a flexão do quadril, reforçando a precisão ergonômica necessária para esta modalidade.

Figura 208: Análise ergonômica de *Triathlon*: enfoque nos ângulos de ombro e quadril.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Figura 209 - Captura de movimentos com bicicleta ergométrica; configurações para *Time Trial*: Esta imagem demonstra o procedimento de captura de movimentos empregando dois dispositivos *Kinect V1*, em conjunto com uma bicicleta ergométrica. O processo envolveu a meticulosa transferência dos ângulos ergonômicos ideais, especificados para uma bicicleta de *Time Trial*, para o contexto de simulação. Tal abordagem assegura a fidelidade ergonômica e biomecânica dos movimentos capturados, alinhados com os parâmetros estabelecidos na literatura especializada.

Figura 209: Simulação de *Time Trial*.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Figura 210 - Captura de Movimentos com Bicicleta Ergométrica; configurações para *Bike Triathlon*: Esta imagem ilustra a captura de movimentos utilizando dois *Kinects* V1 e uma bicicleta ergométrica, configurada para replicar os ângulos ergonômicos de uma bicicleta de *Triathlon*. Este método permitiu a análise dos movimentos do ciclista, garantindo que as simulações biomecânicas estejam em consonância com as recomendações ergonômicas para esta modalidade específica de ciclismo.

Figura 210 - Simulação *Bike Triathlon*.



Kinect Cam1 TRI Ergométrica



Kinect Cam2 TRI Ergométrica

Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Figura 211 - Captura de movimentos com bicicleta ergométrica; configurações para *Mountain Bike*: Na Figura 206 é apresentada a adaptação ergonômica para a análise de uma *Mountain Bike*, baseada nos ângulos recomendados por Phil Burt (2002). Para esta simulação específica, foi empregado um guidão alongado, replicado aqui através de uma ripa de madeira, visando imitar as dimensões e ergonomia característica dos guidões de *Mountain Bikes*, que se distinguem dos guidões das outras categorias de bicicletas e das bicicletas ergométricas. Este arranjo assegura a precisão na transferência dos ângulos ergonômicos, garantindo uma análise mais fidedigna ao contexto específico de *Mountain Bikes*. Capturando os Movimentos *Mountain Bike* (Bicicleta Ergométrica).

Figura 211 - Simulação *Mountain Bike*.



Kinect Cam1 MTB Ergométrica



Kinect Cam2 MTB Ergométrica

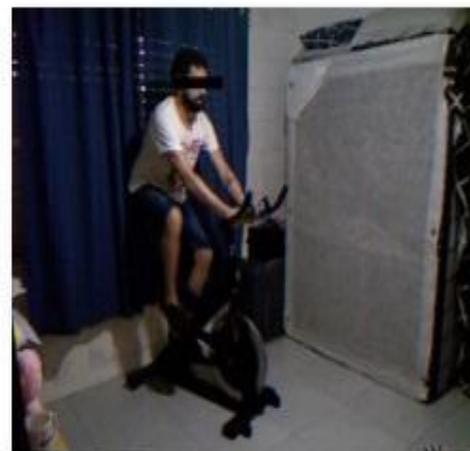
Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Figura 212 - Captura de movimentos com bicicleta ergométrica; configurações para *Road Bike*: Na Figura 207, observamos a meticulosa simulação de uma bicicleta *Road Bike*. Este procedimento, executado com rigor acadêmico, envolveu a adaptação do equipamento para replicar as características específicas deste tipo de bicicleta. A precisão na transferência dos ângulos ergonômicos, sugeridos por Phil Burt (2002), foi essencial para garantir a fidelidade biomecânica dos movimentos capturados, proporcionando uma base sólida para a análise ergonômica no contexto de ciclismo em estrada.

Figura 212 - Simulação *Road Bike*.



Kinect Cam1 ROAD Ergométrica

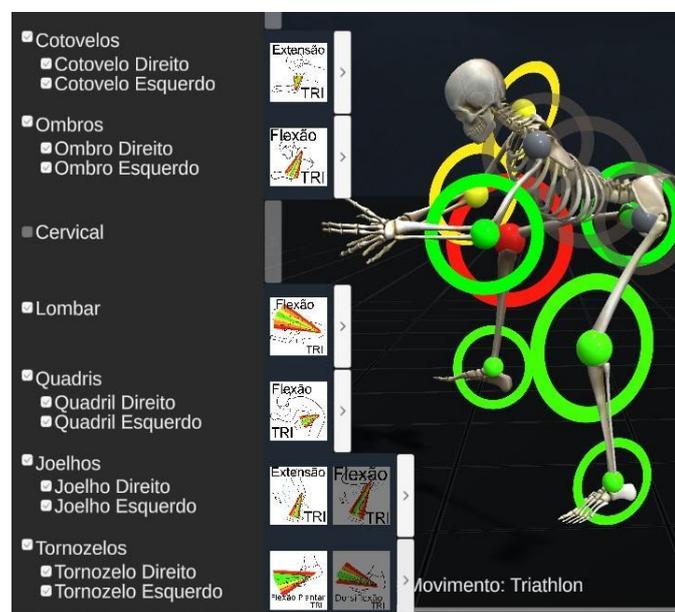


Kinect Cam2 ROAD Ergométrica

Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Análise ergonômica em simulação de bicicleta *Triathlon* no software ErgoMotion: A Figura 213, focalizando o Frame 03 da sessão de captura de movimentos, evidencia o momento em que o ciclista alcança a posição mais baixa do pedal (perna esquerda), completando o movimento de extensão do joelho e atingindo o ângulo ergonômico ideal, conforme sugerido na literatura para uma bicicleta de Triathlon, e aqui visualizado na cor verde no ErgoMotion. Observa-se que tanto o tornozelo quanto o cotovelo mantêm-se dentro dos parâmetros ideais, com o tornozelo realizando o movimento correto e o cotovelo posicionado entre 90 e 100 graus. Enquanto a perna esquerda executa a extensão do joelho, a direita está em flexão, e o quadril da perna direita, em sua posição fechada no ponto mais alto do ciclo de pedalada, também se encontra dentro da faixa de movimento ideal, representado pelo sinalizador verde. No entanto, nota-se uma desconformidade no posicionamento do ombro e na região lombar, ambos exibidos na cor cinza transparente, indicando uma possível inadequação na postura do ator ou uma limitação na captura de movimento pelo dispositivo *Kinect V.1*. Este achado ressalta a necessidade de avaliação cuidadosa da postura do ator/atleta e a precisão do equipamento de captura na simulação de movimentos para análises ergonômicas detalhadas em contextos específicos como o ciclismo de *Triathlon*.

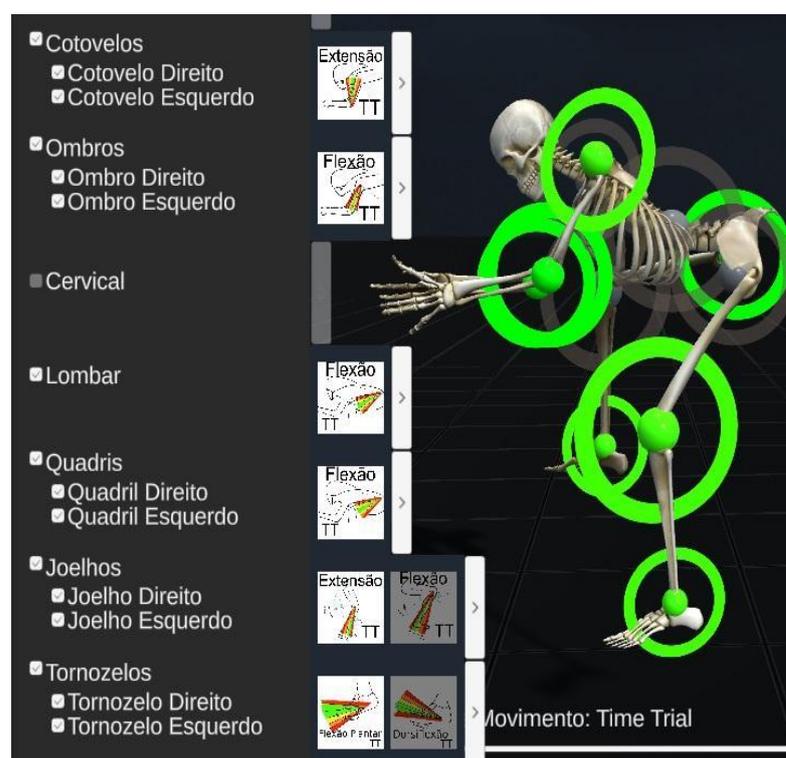
Figura 213 - Simulação ergonômica de bicicleta *Triathlon*: avaliação detalhada de movimentos e posturas no software ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

Análise ergonômica em simulação de bicicleta *Time Trial* no software ErgoMotion: A Figura 214 ilustra a análise biomecânica no Frame 26, onde se observa uma adequação ergonômica notável para uma bicicleta *Time Trial*. Com a perna esquerda em extensão do joelho, o ângulo ideal é atingido, refletido pela cor verde no software ErgoMotion. Tanto o tornozelo quanto os cotovelos também estão alinhados com os parâmetros ergonômicos ideais. O ombro desta vez responde positivamente à captura de movimento. No lado oposto, à perna direita demonstra a flexão do joelho no ponto mais alto do pedal, e o quadril fechado, indicado pela cor verde. Ainda persiste uma questão em relação ao reconhecimento da lombar, levantando duas hipóteses: a dificuldade do ator em atingir um ângulo extremamente fechado, ou limitações do sensor *Kinect V.1* em capturar tal movimento. Esta imagem valida o sucesso do uso de uma bicicleta ergométrica para simular os movimentos ideais, após ajustes com um goniômetro no corpo do ator e posterior implementação no ErgoMotion, ressaltando a eficácia do *software* em refletir essas adaptações biomecânicas.

Figura 214: Avaliação ergonômica em simulação de bicicleta *Time Trial*, com bicicleta ergométrica, no ErgoMotion.



Fonte: ELABORADA PELO AUTOR, 2023.

8. EXPLICITAÇÕES DAS APRENDIZAGENS.

Ao mergulhar no estudo do sistema musculoesquelético humano e na cinesiologia de seus movimentos, me vi refletindo sobre a incrível oportunidade de controlar um corpo humano. Embora nada na natureza seja perfeito em absoluto, o corpo humano é o que, talvez, mais se aproxima dessa perfeição com suas complexidades e capacidades incríveis. Esta máquina fascinante vai além de correr, saltar, nadar e escalar; ela dança, toca instrumentos com habilidade e abraça com emoção.

Contudo, o que verdadeiramente distingue o ser humano é sua capacidade sem igual de criar, de expandir as habilidades inatas de nossos corpos através das ferramentas que desenvolvemos. Mesmo diante do avanço tecnológico e da evolução da inteligência artificial, nada supera o poder, a beleza e a complexidade do nosso próprio corpo, a mais extraordinária máquina que podemos controlar.

Esta reflexão sobre as capacidades do corpo humano transcende a mera admiração por sua complexidade e beleza; ela catalisa a aplicação prática desse conhecimento. A fascinação pela extraordinária capacidade do corpo humano inspira a busca por compreender e otimizar como ele interage com as ferramentas que criamos.

Este ponto de interseção entre teoria e prática constitui o cerne da minha pesquisa. Aprofundar o entendimento da biomecânica humana, especialmente através da cinesiologia, goniometria e ergonomia, foi crucial para desenvolver a biblioteca de *Bike Fit* neste trabalho. Embora a literatura especializada ofereça parâmetros para ângulos ótimos adaptados a cada tipo de bicicleta, a aplicação da cinesiologia possibilitou a decodificação dos mecanismos subjacentes necessários para atingir tais ângulos.

Isso incluiu uma análise dos movimentos articulares, identificando se um ângulo ideal provém, por exemplo, de uma extensão do cotovelo ou de uma flexão lombar. Este detalhamento é vital para uma abordagem mais científica e personalizada no ajuste de bicicletas, assegurando que as recomendações sejam, não apenas teoricamente fundamentadas, mas também biomecanicamente ajustadas para cada ciclista individualmente.

As conclusões derivadas deste estudo sugerem uma abordagem holística que pode ser instrumental para futuras investigações e aplicações no campo do *Bike Fit*.

A obtenção de ângulos corporais biomecanicamente apropriados no ciclismo não é uma consequência exclusiva do ajuste das alturas das bicicletas; ela é igualmente dependente da postura adotada pelo ciclista. Esta postura é influenciada por uma combinação de fatores ergonômicos individuais, ou seja, o processo de avaliação de *Bike Fit* vai muito além de atingir os pontos ideais durante o pedal, é necessário também observar como o atleta está se sentindo.

O conhecimento profundo e especializado de um profissional em *Bike Fit* é, portanto, imperativo para a otimização da interface entre a bicicleta e o ciclista, visando a eficiência mecânica e a prevenção de lesões. Além disso, um programa de treinamento bem estruturado é crucial para garantir que os atletas desenvolvam a musculatura e a técnica necessárias para manter a postura ideal.

Na análise biomecânica dos movimentos dos tornozelos neste estudo, adotaram-se duas nomenclaturas distintas, correspondendo às disciplinas de cinesiologia e *Bike Fit*. Conforme Thompson e Floyd (2016), os termos 'extensão' e 'flexão dos tornozelos' foram utilizados para descrever os movimentos sob a perspectiva da cinesiologia.

Paralelamente, seguindo as orientações de Burt (2022) no contexto do *Bike Fit*, as mesmas ações foram denominadas 'Flexão Plantar' e 'Dorsiflexão', respectivamente. Assim, a extensão do tornozelo corresponde à flexão plantar, enquanto a flexão do tornozelo alinha-se com a dorsiflexão.

Frente à possibilidade de melhorias futuras no software, surge a questão da padronização nomenclatural. Para este trabalho, optou-se por manter a terminologia específica adotada por cada autor, a fim de preservar a precisão e o contexto original das fontes consultadas. No entanto, reconhece-se a importância de considerar uma unificação terminológica em desenvolvimentos subsequentes, visando facilitar a compreensão interdisciplinar e a aplicabilidade prática do software.

A continuidade do projeto ErgoMotion sugere diversas áreas para investigação futura, abordando tanto limitações atuais quanto potenciais melhorias. Uma área de foco imediato seria aprimorar a integração com o Kinect ou outro aparelho de captura de movimentos sem marcadores para que as análises ergonômicas realmente ocorram em tempo real.

Atualmente, a complexidade da programação e as restrições de tempo levaram à adoção do software *iPi Soft®* para captura de movimentos. Portanto, um objetivo

prático seria desenvolver uma solução interna para captura em tempo real, superando os desafios técnicos enfrentados nesta fase do projeto.

Outro aspecto importante é a otimização dos modelos de recém-nascidos (zero-meses), dois anos e sete anos.

Os modelos atuais para estas faixas etárias, embora funcionais e animados, ainda não incluem sinalizadores de conforto, uma funcionalidade presente no modelo adulto. Este é um campo viável para melhorias, considerando a relevância de tais modelos em estudos pediátricos de movimento e ergonomia.

A integração com a Realidade Aumentada (RA), especialmente em dispositivos móveis, representa uma direção promissora. Com a tecnologia de hardware avançando rapidamente nos dispositivos móveis, há potencial para criar aplicativos que combinem o real e o virtual para análise de movimentos em tempo real. Essa integração poderia revolucionar a maneira como interagimos com o ErgoMotion, ampliando seu uso para além das configurações tradicionais.

A incorporação de algoritmos de aprendizado de máquina no ErgoMotion poderia aumentar significativamente a precisão e eficácia do software. Dada a rápida evolução da inteligência artificial, tal avanço poderia aprimorar a capacidade do software de interpretar movimentos humanos, tornando-o mais robusto e versátil. Essas direções não apenas abordam as limitações atuais, mas também alinham o ErgoMotion com as tendências tecnológicas emergentes.

Por fim, considerando o desenvolvimento do simulador digital para análises de movimentos proposto nesta tese, é possível destacar alguns sucessos significativos. O enfoque em criar um software *user-friendly*, utilizando o *Kinect V.1* da *Microsoft* como ferramenta acessível de captura de movimentos e desenvolvendo-o na plataforma *Unity 3D*, demonstra uma abordagem eficiente e viável. Além disso, a inclusão de bibliotecas específicas de cinesiologia e *Bike Fit*, juntamente com representações cromáticas intuitivas para facilitar a interpretação dos resultados, reflete uma considerável evolução na aplicação de conceitos ergonômicos em um contexto digital.

No entanto, também é importante reconhecer os desafios e insucessos encontrados durante a pesquisa. Limitações como a precisão do *Kinect V.1* em comparação com sistemas mais avançados, a complexidade na interpretação das análises mesmo com representações visuais intuitivas, e a necessidade de

escalabilidade e atualizações contínuas para manter o software relevante e eficaz são aspectos que exigem atenção e aprimoramento contínuo.

Em suma, a tese alcançou êxito ao desenvolver uma ferramenta acessível e intuitiva para análises ergonômicas de movimentos, mas também reconhece a importância de enfrentar desafios para garantir a eficácia e relevância do software no contexto em constante evolução da tecnologia e da pesquisa em ergonomia.

9. CONCLUSÕES.

Esta pesquisa investigou significativamente o processo da análise dos movimentos humanos, e a ergonomia, uma disciplina profundamente entrelaçada ao estudo do trabalho. Durante a execução desta pesquisa, percebi que a ergonomia vai muito além de garantir o conforto dos produtos; ela abrange um escopo vasto e diversificado.

Como pesquisador, fui especialmente impactado pela importância do "ângulo ideal para cada função". Esse conceito se aplica em uma ampla gama de situações, desde a análise ergonômica da posição de um piloto de Fórmula 1 no *cockpit*, visando melhorar a aerodinâmica do veículo, até a ergonomia de um violino, cujo design é cuidadosamente ajustado para se adequar à postura e aos movimentos do músico, melhorando tanto a qualidade sonora quanto o conforto durante a performance.

A ergonomia vai além do conforto físico; ela representa um estudo complexo sobre a experiência do usuário em suas diversas atividades. Essa verdade, embora pareça óbvia, ainda carece de amplo reconhecimento. Nesse contexto, desenvolvi o ErgoMotion, um software que converte movimentos humanos em uma escala cromática, tornando a interpretação e a análise desses movimentos mais intuitivas para os usuários.

O ErgoMotion reflete meu compromisso contínuo em aprimorar a interação entre seres humanos e seus ambientes, englobando trabalho, lazer e atividades cotidianas. A verdadeira essência do meu trabalho reside na integração entre design, tecnologia e bem-estar humano. Esse ponto de convergência simboliza os objetivos e ambições que impulsionaram minha jornada acadêmica desde a graduação no final dos anos 2000. Movido pela ambição de atender às necessidades humanas, esse percurso culmina na criação de um software com potencial para resolver desafios ergonômicos relacionados a uma variedade de produtos.

Conforme elucidado pela banca de defesa do doutorado, esta conclusão deve verificar se os objetivos foram alcançados, como objetivos específicos, como explorar as aplicações contemporâneas da ergonomia com tecnologias avançadas e investigar a utilização de modelos humanos digitais em simulações de análises ergonômicas. Isso foi realizado na revisão sistemática de literatura detalhada no capítulo 4 desta tese.

Porém, o objetivo específico de testar e validar o software em cenários reais ainda não foi concluído totalmente. Embora o software tenha realizado análises reais de movimentos, tanto com movimentos de cinesiologia quanto de *Bike Fit*, ainda não foi feita uma validação comparativa com outro processo de captura, envolvendo um grupo de atletas e profissionais de ergonomia.

Quanto ao objetivo geral de desenvolver um software em língua portuguesa, voltado à análise e simulação de movimentos humanos, empregando a tecnologia de sistemas ópticos de captura de movimento sem a necessidade de marcadores, foi parcialmente alcançado. Apesar de termos um software considerado *User Friendly*, ou seja, de fácil manipulação por um usuário comum, ainda não temos um executável independente. Isso se deve à construção do software ErgoMotion dentro do motor de jogos Unity, onde coordenadas e movimentos são geridos com precisão pelo uso da linguagem de máquina *Vector3*, também podemos chamar de coordenadas X, Y e Z.

Entretanto, ao transpor o projeto para um executável autônomo, o Unity converte estas representações lineares em *Quaternions*, quaternions têm quatro partes: uma parte real e três partes imaginárias. Eles são frequentemente usados em matemática, física e computação gráfica para representar rotações tridimensionais de forma eficiente, uma abordagem mais complexa, mas eficaz para o manejo de rotações 3D.

Porém, os dados informados para alternar as cores dentro do Unity em *Vector3* não são os mesmos quando convertido em um executável independente que adota automaticamente o sistema em *Quaternions*. Esse é o motivo de não termos um software executável independente do motor de jogos.

Essa transição é fundamental para evitar distorções e inconsistências rotacionais, embora possa apresentar desafios, especialmente quando vinculada aos aspectos visuais como a cor. Apesar de extensas buscas na literatura acadêmica, consultas em fóruns online, análise de tutoriais em vídeo e interações com profissionais especializados em programação, a solução para esse desafio técnico específico ainda não foi encontrada.

A compreensão e manipulação adequadas dos *Quaternions* são, portanto, vitais para manter a integridade do comportamento interativo do ErgoMotion fora do ambiente de desenvolvimento do Unity. Portanto, sugere-se que pesquisas futuras se dediquem a explorar abordagens que permitam uma transição mais fluida e precisa

entre estes dois sistemas de representação, garantindo assim a consistência visual e funcional em todas as plataformas.

Porém, podemos considerar que a pesquisa foi um sucesso ao demonstrar como desenvolver esse tipo de software, tanto na parte teórica ao mesclar conhecimentos como a cinesiologia para compreender o funcionamento do corpo humano, a goniometria para avaliar as amplitudes desses movimentos, e o *Bike Fit* ao aplicar funcionalidades ao software. Assim, esta pesquisa se apresenta como um guia abrangente, tanto teórico quanto prático, sobre o desenvolvimento de software e captura de movimento, valorizando especialmente a perspectiva de um designer capaz de criar artefatos, como produtos físicos, e também artefatos digitais que oferecem experiências diversas aos usuários.

Com esta visão, encerro esta pesquisa, não apenas concluindo um ciclo importante, mas também contribuindo para o campo da Ergonomia, com a esperança de impactar positivamente a ciência.

REFERÊNCIAS

AGOSTINELLI, T. *et al.* **Preliminary Validation of a Low-Cost Motion Analysis System Based on RGB Cameras to Support the Evaluation of Postural Risk Assessment.** *Appl. Sci.*, v. 11, p. 10645, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app112210645>. Acesso 12 agosto 2023.

AGUILAR, I. A. **ARSTUDIO 2.0: um sistema de estúdio virtual para geração de conteúdo midiático baseado no motor de jogos Unity3D**, 2017, 100 f. Trabalho de Conclusão do Mestrado em Mídia e Tecnologia - FAAC - UNESP, sob a orientação do Prof. Dr. Antonio Carlos Sementille, Bauru, 2017.

AMADIO, A. C.; SERRÃO, J. C. **A biomecânica em educação física e esporte.** *Revista Brasileira de Educação Física e Esporte*, 25(spe), 2011, p.15-24.

AMADIO, A. C.; SERRÃO, J. C. **Contextualização da biomecânica para a investigação do movimento: fundamentos, métodos e aplicações para análise da técnica esportiva.** In: *Revista Brasileira de Educação Física e Esporte*. São Paulo, Brasil: [s.n.], 2007. v. 21, p. 61–85.

AMADIO, A.C.; SERRÃO, J.C. **Biomecânica: trajetória e consolidação de uma disciplina acadêmica.** *Revista Paulista de Educação Física*, São Paulo, v.18, p.45-54, 2004. N. esp.

ANDRADE, A. **Game engines: a survey.** *EAI Endorsed Transactions on Serious Games*, 2(6), SG. EAI. (2015). DOI: 10.4108/eai.5-11-2015.150615.

asplund, C. C.; ST PIERRE, P. C. **Knee Pain and Bicycling.** *The Physician and Sportsmedicine*, v. 32, n. 4, p. 23-30, 2004. DOI: 10.3810/psm.2004.04.201.

ATWATER, A. E. **Kinesiology/Biomechanics: Perspectives and Trends.** *Research Quarterly for Exercise and Sport*, [s. l.], v. 51, n. 1,1980, p. 193–218.

BACK, N. *et al.* **Projeto integrado de produtos: Planejamento, Concepção e Modelagem.** Barueri: Manole, 2008.

BANKOFF, A. **Morfologia e Cinesiologia aplicada ao movimento Humano.** Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.

BARBOSA, J.A. **Análise cinética, cinemática e eletromiográfica da flexão de braços: estudo exploratório**. 86 f. Dissertação (Mestrado em Educação Física) - Universidade Metodista de Piracicaba, Piracicaba, 2015.

BATTY, G. D.; LEE, I. **Physical activity and coronary heart disease**. *British Medical Journal*, v. 328, p. 1089–1090, 2004.

BAUMANN, W. **Perspectives in methodology in biomechanics of sport**. *ISBS Conference Proceedings Archive*, 1992.

BERRY, M. J., OSMAN, C. B., FORDHAM, R., LI, K., SHARPLES, A. P., MARTIN, D. T. **The effect of bike fit on cycling performance in triathletes**. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(6), 1580-1585, 2018.

BERSCH, R.; TONOLLI, J. C. **Tecnologia Assistiva**. 2006. Disponível em: <<http://www.assistiva.com.br/>>. Acesso em: 15 março 2022.

BLANCHONETTE, P. **Jack Human Modelling Tool: A Review**. *Tech. Rep. DSTOTR-2364, Defense Science and Technology Organization Victoria Air Operations Division, Fishermans Bend, Victoria, Australia*, 2010, document ADA 518132.

BORTOLINIA, M.; FACCIAB, M.; GAMBERIA, M.; PILATI, F. **Motion Analysis System (MAS) for production and ergonomics assessment in the manufacturing processes**. *Computers & Industrial Engineering*, 2020.

BRENDLER, C. F.; TEIXEIRA, F. G.; SANTOS, S. L.; PIZZATO, G. Z. de A. **Processo de análise ergonômica antropométrica virtual utilizando o modelo humano digital HERIP em estação de trabalho**. *Educação Gráfica*, Bauru, v. 23, n. 2, p. 248-267, ago. 2019. ISSN 2179-7374.

BRENDLER, C. F. **Processo de análise ergonômica antropométrica virtual utilizando o Modelo Humano Digital HERIP com estação de trabalho**. *Revista Educação Gráfica*. Bauru. V.23 N°2, 2019, p. 248 – 267.

BRENDLER, C. F.; TEIXEIRA F.; DOS SANTOS S.; PIZZATO, G. **Modelo Humano Digital Paramétrico para análise ergonômica virtual no projeto de produto**. 335 f. Tese (Doutorado em Design) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

BRENDLER, C. F.; TEIXEIRA, F. G. **Processo de análise ergonômica antropométrica virtual utilizando o modelo humano digital HERIP em estação de trabalho**. Pp., [s. l.], v. 24, n. 2, p. 21, 2017.

BUBB, H. **Why do we need digital human models?** In: SCATAGLINI, S.; PAUL, G. (Eds.). *DHM and Posturography*. Academic Press, 2019. p. 7-32. ISBN 9780128167137. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816713-7.00002-7>. Acesso em: 22 agosto 2023.

BURT, Phil. **Bike Fit: Optimise Your Bike Position for High Performance and Injury Avoidance**. Londres: Bloomsbury Publishing, 2022.

CARLSON, W; **Computer Graphics and Computer Animation: A Retrospective Overview**. The Ohio State University. 2017. Disponível em: < <https://ohiostate.pressbooks.pub/graphicshistory/>> Acesso em: 18 mar. 2022.

CECCARELLI, M. **Distinguished Figures in Mechanism and Machine Science: Their Contributions and Legacies**, Part 2. HISTORY OF MECHANISM AND MACHINE SCIENCE, Volume 7. Springer, New York, 2010.

CECHI NETO, A. F.; SALOMÃO, S. C. **Captura óptica de movimento em tempo real com interatividade virtual**. 2004. 127 f.

CHANG, Y.; AZIZ, E.; ZHANG, Z.; ZHANG, M.; ESCHE, S.; CHASSAPIS, C. **A Platform for Mechanical Assembly Education Using the Microsoft Kinect**. In: Proceedings of the Asme 2014 International Mechanical Engineering Congress & Exposition Imece14, Anais. Montreal, Quebec, Canada: Stevens Institute of Technology, 2014.

CHEN, H.; LUO, X.; ZHU, Z. **A worker posture coding scheme to link automatic and manual coding**. *Automation in Construction*, v. 125, 2021.

CHILDE, G. **A Evolução Cultural do Homem**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1975.

CONFORTO; DA SILVA. **Roteiro para revisão bibliográfica sistemática**: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. [s. l.], p. 13, 2011.

DAINTY, D.A.; NORMAN, R.W. **Standardizing biomechanical testing in sports Champaign**: Human Kinetics, 1987.

DE WALL, M.; VAN RIEL, M. P. J. M.; SNIJDERS, C. J. **The effect on sitting posture a desk with 10° inclination for reading and writing**. *Ergonomics*, v. 34, n. 5, p. 575-584, jun. 1992.

DEWES, G.L.S. **Relato de experiência**: a produção de um objeto de aprendizagem para o ensino do skate com o auxílio da realidade aumentada e do entretenimento. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru, 2018. 106f.

DIEGO-MAS, J. A.; ALCAIDE-MARZAL, J. **Using Kinect Sensor in Observational Methods for Assessing Postures at Work**. *Applied Ergonomics*, [s.l.], v. 45, n. 4, p. 976-985, jul. 2014.

DIEM, L. **Sportfoerderung in Brasilien**: Bericht ueber die Foerderung des Sports in dern Foederativen Republik Brasilien durch die Bundesrepublik Deutschland 1963 bis 1982. Sankt Augustin: Hans Richarz, 1983.

DOS SANTOS, W. **Análise Técnica de um sistema de captura de movimentos integrado com um software de modelagem e simulação humana**. 43 f. Dissertação (mestrado em engenharia de produção) UFSCar, São Carlos, 2014. Disponível em: < <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/3753/5892.pdf?sequence=1&isAllowed=y> > Acesso em: 15 mar. 2022.

DRESCH, A; LACERDA, D. P.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. **Design Science Research**: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia. Porto Alegre: Bookman, 2015.

ELSEVIER. **Scopus**. 2024. Disponível em: <https://www.elsevier.com/pt-br/products/scopus>. Acesso em: 06 jun. 2024.

EMMATY, F. J.; PANICKER, V. V.; BARADWAJ, K.C. **Ergonomic evaluation of worktable for waste sorting tasks using digital human modelling**. *International Journal of Industrial Ergonomics*, n. 84, 2021.

FARIA, E. W., VIANA, S. B., DE PAULA, F. A., ARAÚJO, C. G., ANDRADE, A. G. **The effects of bike fit on injury risk and cycling biomechanics in adult cyclists: A systematic review.** *Journal of Science and Cycling*, 6(1), 9-17, 2017.

FERNÁNDEZ, M. M.; FERNÁNDEZ, J. Á.; BAJO, J. M.; DELRIEUX, C. A. **Ergonomic risk assessment based on computer vision and machine learning.** *Computers & Industrial Engineering*, N°149, 2020.

FEYEN, R; LIU, Y; CHAFFIN, D; JIMMERSON, G; JOSEPH, B. **Computer-aided ergonomics: a case study of incorporating ergonomics analyses into workplace design.** *Applied Ergonomics*, v. 31, p. 291-300, 2000.

FLOYD, R. T. **Manual de cinesiologia estrutural.** 19 ed. Barueri, SP: Manole, 2016.

FREEDMAN, Y., **"Is It Real ...or Is It Motion Capture? The battle to Redefine Animation in the Age of Digital Performance"**, *Velvet Light Trap: A Critical Journal of Film & Television*, 2012.

GITHUB. **"OpenPose"**. Disponível em: <https://github.com/CMU-PerceptualComputing-Lab/openpose>. Acesso em: 5 de Abril de 2019.

GOMES FILHO. **Ergonomia do objeto: sistema técnico de leitura ergonômica.** 2.ed. São Paulo: Escrituras, 2010.

GREENE, R. L.; LU, M. L.; BARIM, M. S.; WANG, X.; HAYDEN, M.; HU, Y. H.; RADWIN, R. G. **Estimativa da Cinemática do Tronco Durante Levantamentos Usando um Método Eficiente de Visão Computacional.** *Human Factors*, 2020.

GUNTHER, P.; SCATAGLINI, S. **DHM and Posturography**; Londres; Elsevier, 2019.
HAGGAG, H. *et al.* **Safety applications using kinect technology.** In: **Conference proceedings - IEEE international conference on systems, man and cybernetics**, 2014. Anais [...]. [S. l.: s. n.], 2014. p. 2164–2169. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84938100024&doi=10.1109%2fsmc.2014.6974244&partnerID=40&md5=3f4b27e834943f05b5ff5b6c1aa00792>. Acesso em 12 agosto 2023.

HAGGAG, H.; HOSSNY, M.; HAGGAG, S.; NAHAVANDI, S.; CREIGHTON, D. **Safety Applications Using Kinect Technology**. In: IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2014, San Diego. Proceedings [...]. San Diego, CA: IEEE, 2014.

HAGGAG, H.; HOSSNY, M.; NAHAVANDI, S.; CREIGHTON, D. **Real Time Ergonomic Assessment for Assembly Operations Using Kinect**. In: 2013 UKSim 15th International Conference on Computer Modelling and Simulation, [s.l.], 2013.

HERNANDEZ, G.; VALLES, D.; WIERSCHEM, D.C.; KOLDENHOVEN, R.M.; KOUTITAS, G.; MENDEZ, F.A.; ASLAN, S.; JIMENEZ, J. **Machine Learning Techniques for Motion Analysis of Fatigue from Manual Material Handling Operations Using 3D Motion Capture Data**. IEEE Xplore, 2020.

HIGNETT, S.; MCATAMNEY, L. **Rapid Entire Body Assessment (REBA)**. *Applied Ergonomics*, v. 31, n. 2, p. 201-205, 2000.

IEEE SENSORS JOURNAL. **A Dataset of Human Motion and Muscular Activities in Manual Material Handling Tasks for Biomechanical and Ergonomic Analyses**. *IEEE Sensors Journal*, v. 21, n. 21, p. [início]-[fim], 1 nov. 2021.

IEEE. **IEEE**. 2024. Disponível em: <https://www.ieee.org/>. Acesso em: 06 jun. 2024.

IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. 2. ed. rev. e ampliada, ed. São Paulo: Blucher, 2005.

ITOKAZU, M. **Reliability and accuracy of 2D lower limb joint angles during a standing-up motion for markerless motion analysis software using deep learning**. *Medicine in Novel Technology and Devices*, n. 16, 2022.

JARA, H. V.; OREJUELA, I. Z.; BAYDAL-BERTOMEU, J.M. **Study of the ergonomic risk in operators of an assembly line using the RULA method in real working conditions through the application of a commercial sensor**. *Materials Today: Proceedings*, n. 49, 2022.

JENKINS, H. **Cultura da convergência**. São Paulo: Alephe, 2006.

JEONG, D.C., Xu, J., MILLER, L.C. **Cinética Inversa e Redes Convolucionais Temporais para Análise Sequencial de Pose em Realidade Virtual.** *IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality.* 2020.

KALBACH, J. **Designing Web Navigation.** 1. ed. [S.I.]: O'Reilly Media, 2007.

KAPANDJI, A. I. **Fisiologia Articular. Esquemas comentados de mecânica Humana. V.1.** Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; Madrid (Espanha): Editorial Médica Panamericana, 2011.

KARHU, O.; KANSI, P.; KUORINKA, I. **Correcting working postures in industry: a practical method for analysis.** *Applied Ergonomics*, v. 8, n. 4, p. 199-201, 1977.

KIM, K. *et al.* **Biomechanical Tissue Characterization of the Superior Joint Space of the Porcine Temporomandibular Joint.** *Journal of Dental Research*, v. 82, n. 11, p. 883-887, 2003.

KIM, W. *et al.* **Ergonomic postural assessment using a new open-source human pose estimation technology (OpenPose).** *International Journal of Industrial Ergonomics*, n. 84, 2021.

KITAGAWA, M.; WINDSOR, B. **MoCap for Artists. Workflow and Techniques for Motion Capture.** Oxford, Focal Press, 2008.

LEE, Y.-C.; LEE, C.-H. **SEE: A proactive strategy-centric and deep learning-based ergonomic risk assessment system for risky posture recognition.** *Advanced Engineering Informatics*, N°53, 2022.

LI, Z.; ZHANG, R.; LEE, C-H; LEE, Y. **An Evaluation of Posture Recognition Based on Intelligent Rapid Entire Body Assessment System for Determining Musculoskeletal Disorders.** *Sensors*, 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32784732/>. Acessado em: 16 de outubro de 2023.

LIN, P.; CHEN, Y.; CHEN, W.; LEE, Y. **Automatic real-time occupational posture evaluation and select corresponding ergonomic assessment.** *Scientific reports*, v. 2022, 2002.

LIN, Z.; PAN, Z. **LoD-Based Locomotion Engine for Game Characters**. In: *Edutainment*, LNCS 4469. Berlin: Springer-Verlag, 2007. p. 214-224.

LÖBACH, B. **Design industrial**: Bases para a configuração dos produtos industriais. São Paulo: Blücher, 2000.

LUNIN, A.; GLOCK, C. H. **Systematic review of Kinect-based solutions for physical risk assessment in manual materials handling in industrial and laboratory environments**. *Computers & Industrial Engineering*, [s.l.], 2021.

LUONGO, C.; LEONCINI, P. **An UE4 Plugin to Develop CVE Applications Leveraging Participant's Full Body Tracking Data**. In: *Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics: 5th International Conference, AVR 2018*. Otranto, Italy, June 24–27, 2018, Proceedings, Part II. Springer International Publishing, July 2018. p. 610-622. DOI: 10.1007/978-3-319-95282-6_43.

MARQUES, Amélia Pasqual. **Manual de Goniometria**. Editora Manole, 2003.

MASSIRIS FERNANDEZ, M. *et al.* **Joint Angle Estimation with VIBE: an Evaluation Using Virtual Avatars**. Em: 2020 IEEE Congreso Bienal de Argentina (ARGENCON), Resistencia, Argentina: IEEE, 2020. p. 1–4. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9505526/>. Acesso em: 9 set. 2022.

MAURICE, P.; MALAISE', A.; AMIOT, C.; PARIS, N.; RICHARD, G.-J.; ROCHEL, O.; IVALDI, S. **Human movement and ergonomics: An industry-oriented dataset for collaborative robotics**. *The International Journal of Robotics Research*, 2019.

MCATAMNEY, L.; CORLETT, N. E. **RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders**. *Applied Ergonomics*, v. 24, n. 2, p. 91-99, 1993.

MENACHE, A. *Front matter*. In: **Understanding motion capture for computer animation**. [S. l.]: Elsevier, 2011. p. i–ii. E-book. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780123814968000068>. Acesso em: 7 abr. 2022.

MENACHE, A. **Understanding motion capture for computer animation and video games**. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2011. 238p.

MENOLOTTO, M.; KOMARIS, D.-S.; TEDESCO, S.; O'FLYNN, B.; WALSH, M. **Motion Capture Technology in Industrial Applications: A Systematic Review.** *Sensors*, 2020.

MERINO, E. A. D., MANNRICH, G., GUIMARÃES, B., SPECK, G., MATOS, D., DOMENECH, S., & MERINO, G. **Implementation of integrated instrumentation in assistive technology.** In *Proceedings of the AHFE 2017 8th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*. Cham: Springer, 2017.

MEURER, H.; SZABLUK, D. **Projeto E: aspectos metodológicos para o desenvolvimento de projetos dígitos-virtuais.** *Revista Ação Ergonômica*, [s. l.], v. 5, n. 2, 2011. Disponível em: <https://is.gd/SPGIUu>. Acesso em: 18 set. 2019.

MICROSOFT. **Body Joints.** Disponível em: <https://learn.microsoft.com/pt-br/azure/kinect-dk/body-joints>. Acesso em: 2023.

MICROSOFT. **Kinect for Windows.** Disponível em: <https://learn.microsoft.com/pt-br/windows/apps/design/devices/kinect-for-windows>. Acesso em: 2022.

MÜHLSTEDT.; BULLINGER-HOFFMANN, A. C.; **Homo Sapiens Digitalis - virtuelle Ergonomie und digitale Menschmodelle.** Wiesbaden: Springer Vieweg, 2016. p. 73 e 182.

MURRELL, K. F. H. **Ergonomics - man and his working environment.** Londres: Chapman and Hall, 1965. 496p.

NAIK, G.; KHAN, M. R. **Prevalence of MSDs and Postural Risk Assessment in Floor Mopping Activity Through Subjective and Objective Measures.** *Safety and Health at Work*, N°11, 2020.

NEUMANN, D.A. **Cinesiologia do Aparelho Musculoesquelético: fundamentos para reabilitação física.** Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2022.

NIOSH - *National Institute for Occupational Safety and Health.* **Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation.** Cincinnati: DHHS (NIOSH) Publication, 1994.

NORTON, K; OLDS, T. **Antropométrica**: um livro sobre medidas corporais para o esporte e cursos da área da saúde. Porto Alegre: Artmed, 2005.

OSER, S. M.; OSER, T. K.; SILVIS, M. L. **Evaluation and treatment of biking and running injuries**. *Primary Care: Clinics in Office Practice*, 2013; 40(4): 969-986.

PANERO, J.; ZELNIK, M. **Dimensionamento humano para espaços interiores**: Um livro de consulta e referência para projetos. México: G. Gill, 2002.

PARAVIZO, E.; BRAATZ, D. **Using a game engine for simulation in ergonomics analysis, design and education: An exploratory study**. *Applied Ergonomics*, v. 77, p. 22-28, 2019.

PINUPONG, C.; JALAYONDEJA, W.; MEKHORA, K.; BHUANANTANONDH, P.; JALAYONDEJA, C. **The Effects of Ramp Gradients and Pushing-Pulling Techniques on Lumbar Spinal Load in Healthy Workers**. *Safety and Health at Work*, N°11, 2020.

PLANTARD, P. **Les couples articulaires estimés à partir de données Kinect corrigées sont-ils fiables pour des évaluations ergonomiques?** *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2016. Submetido em maio de 2016.

PLANTARD, P.; AUVINET, E.; LE PIERRES, A.-S.; MULTON, F. **Pose Estimation with the Kinect for Ergonomic Studies: Evaluation of the Accuracy Using a Virtual Mannequin**. *Sensors*, 2015.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2a edição ed. Novo Hamburgo - Rio Grande do Sul - Brasil: [s. n.], 2013.

PUBMED. **MEDLINE**. 2024. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>. Acesso em: 06 jun. 2024.

RAHUL. **Review on Motion Capture Technology**. *Global Journal of Computer Science and Technology: Graphics & Vision*, v. 18, n. 1, ver. 1.0. Editora: Global Journals. ISSN (Online): 0975-4172. ISSN (Print): 0975-4350. [s.l.], 2018.

RAYYAN. **Rayyan**. 2024. Disponível em: <https://www.rayyan.ai/>. Acesso em: 06 jun. 2024.

ROCHA-IBARRA, E.; OROS-FLORES, M.-I.; ALMANZA-OJEDA, D.-L.; LUGO-BUSTILLO, G.-A.; ROSALES-CASTELLANOS, A.; IBARRA-MANZANO, M.-A.; GOMEZ, J. C. **Validação do Kinect na Ergonomia em Atividades Humanas de Pegar e Colocar por meio da Detecção Automática de Postura Lateral**. *IEEE Access*, 2021. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3101964.

RODRIGUES, Eduardo Sousa Sales. **Desenvolvimento de Sistema de Captura de Movimento Humano Utilizando IMU**. Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Eletrônica da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Eletrônica. 2018.

ROGERS, Y.; SHARP, H.; PREECE, J. **Design de interação: além da interação humano-computador**. Tradução: Isabela Gasparini. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

RYU, J.; DIRANEYYA, M. M.; HAAS, C. T.; ABDEL-RAHMAN, E. **Analysis of the Limits of Automated Rule-Based Ergonomic Assessment in Bricklaying**. *American Society of Civil Engineers*, 2020. Disponível em: DOI:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001978. Acesso em 10 julho 2023.

SACCO I. C. N., TANAKA C. **Cinesiologia e biomecânica dos complexos articulares**. Rio Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

SCATAGLINI, S.; PAUL, G. **DHM and posturography**. [S. l.: s. n.], 2019. *E-book*. Disponível em: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=2035384>. Acesso em: 31 mar. 2022.

SCHMITZ, G. *et al.* **The Retül bike fitting system improves efficiency and comfort during cycling**. *Journal of Science and Cycling*, v. 5, n. 2, p. 21-23, 2016.

SCHÖNAUER, C.; PINTARIC, T.; KAUFMANN, H. **Full Body Interaction for Serious Games in Motor Rehabilitation**. In: *Proceedings of the 2nd Augmented Human International Conference on - AH '11*. 2011.

SHIPPEN, J.; MAY, B. **BoB – biomechanics in MATLAB**. In: *BIOMDLORE, 11*. 2016, Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania. *Proceedings of 11th International Conference Biomdlore 2016*. Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania: VGTU Technika, 2016. Disponível em: <http://biomdlore.vgtu.lt/index.php/biomdlore/2016/paper/view/78>. Acesso em: 17 set. 2022.

SILVA, F. W. S. V. **Um sistema de animação baseado em movimento capturado**. Dissertação (Mestrado em Computação Gráfica) – Laboratório de Computação Gráfica COPPE/Sistemas, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1998. 101 f.

SILVA, J. C. P.; PASCHOARELLI, L. C. (Orgs.). **A evolução histórica da ergonomia no mundo e seus pioneiros**. Editora UNESP, 2010. 103 p. ISBN: 9788579831201.

SIMMONS, K. P. **Body measurement techniques: a comparison of threedimensional body scanning and physical anthropometric methods**. Raleigh: NCSU, Tese de Doutorado. North Carolina State University. 2001.

SPRINGERLINK. **SpringerLink**. 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/>. Acesso em: 06 jun. 2024.

STEINEBACH, T.; GROSSE, E. H.; GLOCK, C. H.; WAKULA, J.; LUNIN, A. **Accuracy evaluation of two markerless motion capture systems for measurement of upper extremities: Kinect V2 and Captiv**. *Wiley Online*, 2020. DOI: 10.1002/hfm.20840.

SWART, J. MBChB, MPhil (SEM), PhD; HOLLIDAY, W. BSc, Physiotherapy, PhD. **Cycling Biomechanics Optimization—the (R) Evolution of Bicycle Fitting**. *Current Sports Medicine Reports*, v. 18, n. 12, p. 490-496, dezembro 2019. DOI: 10.1249/JSR.0000000000000665.

SZABO, P. W. **User Experience Mapping: Get closer to your users and create better products for them**. Birmingham: Packt Publishing Ltd., 2017.

THOMAS, D. M. *et al.* **Revisiting Leonardo da Vinci's Vitruvian Man Using Contemporary Measurements**. *JAMA*, [s. l.], v. 323, n. 22, p. 2342, 2020.

THOMPSON, G. **A incrível história do labirinto**. Museu de História da Computação Vintage. Computer Festival 7.0. Mountain View, Califórnia: DigiBarn Computer Museum. Arquivado do original em 17 de julho de 2021. Recuperado em 31 de maio de 2022.

THOMPSON, J.; FLOYD, R. **Manual de Cinesiologia Estrutural**. 19. ed. São Paulo: Editora Manole Saúde, 2016. ISBN 978-8520445921.

TILLEY, A. R.; DREYFUSS, H. **As medidas do homem e da mulher - fatores humanos em design**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

UNITY (2023). **Unity Teams**. Recuperado de <https://unity.com/products/unity-teams>. Acesso em: 22 de abril de 2023.

UNREAL ENGINE. **Unreal Engine 4.25 Released**. Disponível em: <https://www.unrealengine.com/en-US/blog/unreal-engine-4-25-released>. Acesso em: 22 de abril de 2023.

VAN CROMBRUGGE, I. *et al.* **Accuracy Assessment of Joint Angles Estimated from 2D and 3D Camera Measurements**. *Sensors*, [s. l.], v. 22, n. 5, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85125074373&doi=10.3390%2fs22051729&partnerID=40&md5=0e4a655a514faa390179e7efb2b15612>. Acesso em 12 março 2023.

VARNIER, T.; MERINO, E. A. D. **O Uso da Captura de Movimentos no Desenvolvimento de Produtos**: um estudo focado nas tecnologias e aplicações. *Em*: 13º Congresso pesquisa e desenvolvimento em design, 2019, Joinville, Brasil. Blucher Design Proceedings. Joinville, Brasil: Editora Blucher, 2019. p. 2463–2477. Disponível em: <http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/30125>. Acesso em: 7 abr. 2022.

VICTORIA STATE GOVERNMENT. **Cycling - health benefits**. Disponível em: <https://www.betterhealth.vic.gov.au/health/healthyliving/cycling-health-benefits>. Acesso em: 05 jun. 2024.

VOX, J. P. *et al.* **An evaluation of motion trackers with virtual reality sensor technology in comparison to a marker-based motion capture system based on**

joint angles for ergonomic risk assessment. *Sensors*, [s. l.], v. 21, n. 9, 2021. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85105001419&doi=10.3390%2fs21093145&partnerID=40&md5=77b8fa1b53ef78c96b5fc75d220d37c1>. Acesso em 7 abril 2022.

WAGNER, D. W.; REED, M. P.; RASMUSSEN, J. **Assessing the Importance of Motion Dynamics for Ergonomic Analysis of Manual Materials Handling Tasks using the AnyBody Modeling System.** *SAE Technical Paper Series*, 2007. doi:10.4271/2007-01-2504.

WEB OF SCIENCE. 2024. Disponível em: <https://www.webofscience.com/wos/woscc/basic-search>. Acesso em: 06 jun. 2024.

WHITING, W. C.; ZERNICKE, R. F. **Biomecânica funcional e das lesões musculoesqueléticas.** Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009, p. 312.

WIKIPÉDIA. **Freescape.** Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Freescape>. Acesso em: 05 jun. 2024.

WIKIPÉDIA. **PlayStation Eye.** Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/PlayStation_Eye. Acesso em: 2022.

WILHELM, M.; MANGHISI, V. M.; UVA, A.; FIORENTINO, M.; BRÄUTIGAM, V.; ENGELMANN, B.; SCHMITT, J. **ErgoTakt:** Uma abordagem inovadora centrada no ser humano para balanceamento de linhas de montagem manual. *Procedia CIRP*, 2020.

XSENS. **Software.** Disponível em: <https://pt-br.xsensor.com/solutions-and-platform/software>. Acesso em: 2022.

ZACCA, F. *et al.* **Cinemática Inversa Aplicada a Manipulador Robótico a Partir de Coordenadas Capturadas pelo Microsoft Kinect.** *Em: Escola Regional de Informática de Goiás. Anais da VIII Escola Regional de Informática de Goiás (ERI-GO 2020).* Brasil: Sociedade Brasileira de Computação, 2020. p. 15–30. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/erigo/article/view/13859>. Acesso em: 6 jun. 2022.

ZHANG P., QIN S., WRIGHT D. K. **Novel Method of Capturing Static and Dynamic Anthropometric Data for Home Design.** *Proc. IEEE EUROCON2005 Conference on "Computer as a Tool"*, Belgrade, 2005, p.562-565.

ZUMBA, J. S. C; SALGADO CASTILLO, F. D.; ZEAS CARRILLO, C. S.; ALVARADO CANDO, O. S. **Sistema de detecção e classificação de postura de ciclistas, *Bike Fit*, através do Kinect V.2 e redes neurais.** *In:* Congresso Saúde e Bem-estar, 2016, Equador. Anais [...]. [S.l.: s.n.], 2016.

APÊNDICE A - PRIMEIRO FILTRO DE LEITURA

1. **Título:** *Joint Angle Estimation with VIBE: an Evaluation Using Virtual Avatars.* (Estimativa de Ângulo de Articulação com o VIBE: uma Avaliação Usando Avatares Virtuais).

Nome dos autores: FERNANDEZ, Massiris *et al.*

Publicação: Congresso ArgenSON, 2020.

Introdução: Este estudo se concentra na importância da ergonomia nos setores de construção e transporte, onde há maior incidência de acidentes de trabalho. Métodos convencionais de avaliação ergonômica, como: RULA, REBA e OWAS, baseiam-se principalmente em observações e são propensos a imprecisões. Novas tecnologias de captura de dados baseadas em imagens oferecem avaliações ergonômicas mais quantitativas, embora possam ter erros. Este trabalho investiga o uso da Rede Neural VIBE para detecção do corpo humano, avaliando sua precisão na detecção de ângulos articulares.

Conclusão: O estudo apresenta uma nova metodologia para estimar medidas ergonômicas usando a Rede Neural VIBE, propondo uma alternativa mais eficiente em termos de tempo e custo em comparação com avaliações humanas. Usando vídeos simulados de um avatar virtual, os resultados mostram uma performance comparável ou melhor do que avaliações assistidas por humanos. No entanto, há erros em certos pontos de vista e movimentos articulares. A pesquisa sugere que o método é promissor e requer mais estudos para otimização e melhor precisão.

2. **Título:** O Uso da Captura de Movimentos no Desenvolvimento de Produtos: um estudo focado nas tecnologias e aplicações

Publicação: 13º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em *Design* (2019).

Nome dos autores: VARNIER, Thiago; MERINO, Eugenio Andrés Díaz.

Introdução: O *design* integra ciência e tecnologia, priorizando a relação entre usuário e produto. Há uma necessidade crescente de considerar as dimensões físicas dos indivíduos ao projetar produtos, levando em conta os movimentos corporais. A Ergonomia se destaca nesse cenário, visando a melhor integração entre produto e usuário. O artigo objetiva identificar as tecnologias de captura de movimentos usadas no desenvolvimento de produtos, focando nas aplicações práticas dessas tecnologias.

Conclusão: A captura de movimentos tem sido valiosa para o *design*, especialmente quando se considera a ergonomia. Estas tecnologias têm sido empregadas, tanto para análises com o usuário final, quanto para o desenvolvedor. Os resultados indicam que, embora haja benefícios claros na integração da captura de movimentos no *design*, o uso pleno de sua capacidade ainda é limitado, possivelmente devido aos custos e à acessibilidade. Futuros estudos poderiam explorar protocolos de coleta de dados e como essas informações podem melhorar o desenvolvimento de produtos.

- 3. Título:** *Using a game engine for simulation in ergonomics analysis, design and education: An exploratory study* (Utilizando um Motor de Jogo para Simulação em Análise Ergonômica, *Design* e Educação: Um Estudo Exploratório).

Publicação: *Applied Ergonomics* N° 77 (2019).

Nome dos autores: PARAVIZO, E., BRAATZ, D.

Introdução: Simulações têm sido discutidas na ergonomia para apoiar processos de *design*. O foco deste estudo é nas simulações computacionais, particularmente envolvendo ambientes virtuais (VEs) e motores de jogo (GEs). GEs, devido à sua capacidade de criar representações gráficas de alta qualidade e ambientes 3D interativos, têm potencial para apoiar análises ergonômicas mais abrangentes, que incluem aspectos físicos, organizacionais e cognitivos. O objetivo é investigar até que ponto uma simulação baseada em GE pode ser usada para avaliar condições de trabalho.

Conclusão: A simulação baseada em GE foi adequada para a avaliação de certos aspectos do ambiente de trabalho. A validação do VE é crucial para sua utilização como ferramenta de *design*. As características interativas e a capacidade de explorar cenários 3D podem tornar a participação do usuário no processo de *design* mais eficaz em comparação com ferramentas CAD tradicionais. A simplicidade inerente da exploração do ambiente 3D pode permitir uma análise e *design* mais compartilhados do ambiente.

- 4. Título:** *Safety Applications Using Kinect® Technology*. (Aplicações de Segurança Utilizando a Tecnologia *Kinect®*).

Publicação: IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics. San Diego, CA, EUA (2014).

Nome dos autores: HAGGAG, H., HOSSNY, M., HAGGAG, S., NAHAVANDI E., CREIGHTON, D. *Centre for Intelligent Systems Research*, Deakin University, Austrália.

Introdução: O *Kinect*® foi originalmente projetado para ser usado em jogos com o console Xbox® 360. Contudo, seu uso, atualmente, se estendeu para muitas outras aplicações. Essa transição é devido à sua capacidade de capturar movimentos em 3D, sem marcação e a um custo baixo. A precisão e alta taxa de amostragem da *Kinect*® fez com que muitos pesquisadores em ciência da computação, engenharia eletrônica e robótica criassem novas maneiras de executar tarefas. Além disso, a portabilidade, acessibilidade e precisão da *Kinect*® a tornam adequada para aumentar a segurança em muitos ambientes e minimizar a ocorrência de acidentes. O artigo descreve várias aplicações de segurança utilizando a tecnologia *Kinect*® em diferentes ambientes, incluindo a otimização da posição da cadeirinha de criança em carros, sistemas de posicionamento em salas de aula, segurança em postos de gasolina e piscinas, entre outros.

Conclusão: O *Kinect*®, inicialmente introduzido como um dispositivo de jogos, agora tem sido explorado em muitos outros campos devido à sua precisão e preço acessível. Ela tem mostrado ser uma ferramenta valiosa para melhorar a segurança em diversos ambientes. Este artigo apresentou várias aplicações que utilizam o *Kinect*® para proporcionar maior segurança em diferentes cenários, desde carros até piscinas e ambientes de trabalho. A *Kinect*® provou ser uma ferramenta versátil e valiosa para prevenção de acidentes e aumento da segurança.

5. Título: *A Platform for Mechanical Assembly Education Using the Microsoft Kinect.* (Uma Plataforma para Educação em Montagem Mecânica Utilizando o Microsoft Kinect®).

Publicação: *Proceedings of the ASME 2014 International Mechanical Engineering Congress & Exposition IMECE14*, Montreal, Quebec, Canada

Introdução: A Educação *online*, uma modalidade de ensino à distância, tem se tornado cada vez mais popular, especialmente nos Estados Unidos, com crescentes taxas de participação nos últimos anos. A educação em engenharia, no entanto, demanda extenso trabalho prático, o qual é desafiador replicar em um ambiente virtual.

Conclusão: Neste artigo, foi descrita uma plataforma para educação em montagem mecânica, integrando um motor de jogo e o *Microsoft Kinect*®. A plataforma oferece

aos alunos uma interação mais realista através de avatares animados e comandos de voz. Estudos futuros ficarão na usabilidade e eficácia de aprendizado desta plataforma, buscando identificar suas vantagens e desvantagens.

- 6. Título:** *Automatic real-time occupational posture evaluation and select corresponding ergonomic assessment.* (Avaliação Automática em Tempo Real da Postura Ocupacional e Seleção Correspondente da Avaliação Ergonômica.)

Publicação: *Scientific reports*, 2002.

Autores: PO-CHIEH, L., YU-JUNG, C., WEI-SHIN, C., YUN-JU, L.

Introdução: Lesões ocupacionais em trabalhadores são definidas como perigos ou danos relacionados ao ambiente de trabalho. A causa da lesão ocupacional pode ser física, química, biológica, humana, entre outros fatores. Com os avanços tecnológicos, diversos dispositivos ou técnicas foram desenvolvidos para prevenir ou detectar possíveis riscos de lesões ocupacionais. No entanto, muitas operações industriais ainda dependem da execução da força de trabalho tradicional, que possui maior potencial de risco. Lesões musculoesqueléticas são comuns e são fortemente associadas ao ambiente físico e social.

Conclusão: O sistema foi desenvolvido com sucesso para calcular ângulos articulares através da matriz de pontos-chave do *OpenPose*. Mais importante ainda, o fluxo de decisão com três nós pôde determinar o método de avaliação ergonômica correspondente para a avaliação da postura de trabalho ocupacional. Durante o processo de avaliação, a postura de alto risco pode ser automaticamente identificada, economizando tempo na avaliação do período de trabalho operacional e não omitindo certas posturas de alto risco que seriam ignoradas pela avaliação humana.

- 7. Título:** *Reliability and accuracy of 2D lower limb joint angles during a standing-up motion for markerless motion analysis software using deep learning.* (Confiabilidade e Precisão de Ângulos Articulares das Articulações dos Membros Inferiores em 2D durante o Movimento de Levantar-se para um Software de Análise de Movimento Sem Marcadores Usando Aprendizado Profundo.)

Publicação: *Medicine in Novel Technology and Devices*, Nº 16, (2022).

Autor: ITOKAZU, M.

Introdução: A análise de movimento tridimensional é o padrão-ouro para equipamentos de análise de movimento. No entanto, a análise requer um esforço considerável devido a fatores como custo do equipamento, limitações do ambiente de medição e a necessidade de equipamentos especiais e expertise. Muitos *softwares* tornaram-se disponíveis para essa finalidade, como o *Kinovea*. Com o avanço do aprendizado de máquina, tornou-se possível estimar as coordenadas das partes do corpo diretamente de fotos e vídeos sem marcadores, como é o caso do *OpenPose* (OP) e do *DeepLabCut* (DLC).

Conclusão: Este estudo examinou a confiabilidade e validade dos ângulos articulares do plano sagital do membro inferior do OP e DLC durante o movimento de levantar-se de uma cadeira. Os resultados confirmaram que ambos os métodos tinham alta confiabilidade e validade. O erro de estimativa dos ângulos articulares foi menor para o OP do que para o DLC, mas o valor máximo do IC de 95% foi inferior a 10° para ambos. Validações futuras são necessárias em termos da resolução do vídeo, uso de um modelo de treinamento mais aprimorado e diferentes movimentos.

- 8. Título:** *Study of the ergonomic risk in operators of an assembly line using the RULA method in real working conditions through the application of a commercial sensor.* (Estudo do Risco Ergonômico em Operadores de uma Linha de Montagem Usando o Método RULA em Condições de Trabalho Reais por Meio da Aplicação de um Sensor Comercial).

Publicação: Materials Today: Proceedings, N°49, (2022).

Autores: VILLACÍS JARA, H., ZAMBRANO OREJUELA, I., BAYDAL-BERTOMEU, J.M.

Introdução: O risco de distúrbios musculoesqueléticos em trabalhadores está relacionado à sua postura e movimentos no local de trabalho. Existem vários métodos para avaliar o risco ergonômico no local de trabalho, como: RULA, REBA e OWAS. A avaliação do risco em trabalhadores associados à uma alta carga postural, que pode causar distúrbios nos membros superiores do corpo, está sendo conduzida na indústria. O método RULA é comumente usado, mas geralmente é baseado em observações subjetivas ou estimativas simples de ângulos em fotos e vídeos. Esta pesquisa propõe o uso de um sensor comercial de baixo custo (*Kinect® V2*) para avaliar o risco ergonômico em condições reais de trabalho, aplicado a um operador de uma linha de montagem de vigas de ponte em uma empresa metalúrgica.

Conclusão: Neste estudo, um sensor de baixo custo, o *Kinect® V2*, foi usado como ferramenta no campo da ergonomia. Foi comprovado que esses sensores podem ser um instrumento de apoio para o avaliador, proporcionando medidas mais precisas e, portanto, um estudo ergonômico mais completo e confiável. Apesar de o *Kinect® V2* não produzir resultados exatamente iguais aos sistemas baseados em marcadores, ele oferece aproximações muito boas do movimento geral do corpo. O sensor se mostrou mais preciso quando os movimentos são mais lentos e não muito rápidos. Por fim, mais estudos são necessários para melhorar sua precisão.

- 9. Título:** *Preliminary Validation of a Low-Cost Motion Analysis System Based on RGB Cameras to Support the Evaluation of Postural Risk Assessment.* (Validação Preliminar de um Sistema de Análise de Movimento de Baixo Custo Baseado em Câmeras RGB para Apoiar a Avaliação da Avaliação de Risco Postural.)

Publicação: *Applied Science*.Nº 11, (2021).

Autores: AGOSTINELLI, T., GENEROSI, A., CECCACCI, S., KARIM KHAMAISI, R., PERUZZINI, M., MENGONI, M.

Introdução: A redução do risco de doenças musculoesqueléticas (MSDs) para trabalhadores de indústrias manufatureiras é essencial para diminuir o absentismo devido a condições de trabalho inadequadas e melhorar a eficiência nas linhas de montagem. Apesar do objetivo da Indústria 4.0 ser a criação de condições de trabalho adequadas ao ser humano, ainda estamos longe de atingi-lo. O envelhecimento da classe trabalhadora pode agravar esses problemas. Para lidar com a variabilidade humana e prever os comportamentos dos trabalhadores, é necessário contar com ferramentas robustas e econômicas para monitorar posturas de trabalho e avaliar riscos ergonomicamente. Atualmente, a avaliação do risco ergonômico é baseada principalmente em métodos de observação postural. Para tornar essa avaliação mais eficiente, surgiram ferramentas para automatizar o processo, mas muitas delas são caras ou não são práticas para uso em ambientes de trabalho reais. Novos sistemas baseados em visão computacional e técnicas de aprendizado de máquina foram propostos para superar esses desafios.

Conclusão: Este estudo propõe um sistema RGB de análise de movimento de baixo custo (RGB-MAS) para tornar a avaliação de risco ergonômico mais eficiente e acessível. A ideia é ajudar os ergonomistas a economizarem tempo em suas tarefas,

mantendo resultados altamente confiáveis. O sistema mostrou-se promissor em testes laboratoriais, sugerindo sua aplicabilidade em condições de trabalho reais, como atividades de seleção em armazéns ou tarefas manuais nas linhas de montagem. Em geral, o RGB-MAS pode ser útil para apoiar ergonomistas na estimativa da pontuação RULA, fornecendo resultados comparáveis aos estimados por especialistas em ergonomia. Ele permite uma redução nos custos associados à análise ergonômica, tornando-o atraente para empresas de todos os tamanhos. No entanto, o sistema ainda apresenta algumas limitações e áreas para melhorias futuras. Por exemplo, ele não consegue prever ângulos relacionados às mãos e pulsos e tem problemas em prever corretamente certos ângulos do ombro com câmeras não calibradas.

10. Título: *Ergonomic postural assessment using a new open-source human pose estimation technology (OpenPose).* (Avaliação Ergonômica Postural Utilizando uma Nova Tecnologia de Estimação de Poses Humanas de Código Aberto (OpenPose)).

Publicação: *International Journal of Industrial Ergonomics* N °84, (2021).

Autores: KIM, W., SUNG, J., SAAKES, D., HUANG, C., XIONG, S.

Introdução: *Musculoskeletal disorders* (MSDs) são um dos problemas de saúde ocupacional mais críticos e a principal razão para a ausência do trabalho. Os MSDs são causados pela carga musculoesquelética acumulada através de posturas inadequadas repetidas. Para reduzir o MSD, os profissionais têm utilizado, comumente, métodos de avaliação postural observacionais. Entre esses, RULA, REBA e OWAS são três ferramentas populares de avaliação postural ergonômica. No entanto, esses métodos têm desvantagens, como serem demorados e dependerem do *input* subjetivo do avaliador.

Conclusão: Este estudo propôs e validou um novo método para medir ângulos articulares e conduzir avaliações posturais ergonômicas RULA/REBA com base em dados de esqueleto humano 3D adquiridos pelo *OpenPose*. O método baseado em *OpenPose* mostrou bom desempenho em todas as condições, mesmo para casos com oclusões intencionais ou rastreados a partir de pontos de vista não frontais. O método baseado no *Kinect*® teve desempenho inferior ao método baseado em *OpenPose* na maioria dos ângulos articulares e pontuações RULA/REBA em todas as três condições. Os achados deste estudo sugerem que o *OpenPose* pode ser uma

tecnologia promissora para medir ângulos articulares e realizar avaliações posturais ergonômicas semiautomáticas no espaço de trabalho real.

11.Título: *Ergonomic evaluation of worktable for waste sorting tasks using digital human modeling.* (Avaliação Ergonômica de uma Bancada de Trabalho para Tarefas de Classificação de Resíduos Utilizando a Modelagem Digital de Seres Humanos.)

Publicação: *International Journal of Industrial Ergonomics* N°84, (2021).

Autores: EMMATTY, F.J., PANICKER, V.V., BARADWAJ, K.C.

Introdução: A gestão de resíduos é uma área de crescente importância e os trabalhadores de triagem de resíduos contribuem para um ambiente sustentável através da reciclagem. A separação eficaz de vários tipos de resíduos é essencial para garantir a eficiência da reciclagem e reduzir a perda de recursos e a poluição ambiental. Os trabalhadores envolvidos na coleta e triagem de resíduos são propensos a vários riscos ocupacionais, incluindo distúrbios musculoesqueléticos e lesões. A pesquisa visa encontrar uma faixa apropriada de altura de trabalho para tarefas de triagem e um local melhor para colocar os funis para descartar os itens classificados.

Conclusão: O presente estudo avaliou as características ergonômicas da mesa proposta para a triagem de itens recicláveis. A pesquisa determinou que a altura preferida para as atividades de triagem era menos que a altura do cotovelo do trabalhador em 4 cm, e que os funis para coletar os itens classificados deveriam, preferencialmente, ser colocados abaixo da altura do cotovelo ao lado do trabalhador. A mesa de triagem proposta poderia ser usada como uma intervenção ergonômica para reduzir a exposição postural entre os trabalhadores de triagem de resíduos.

12.Título: *An Evaluation of Motion Trackers with Virtual Reality Sensor Technology in Comparison to a Marker-Based Motion Capture System Based on Joint Angles for Ergonomic Risk Assessment.* (Uma Avaliação de Rastreadores de Movimento com Tecnologia de Sensores de Realidade Virtual em Comparação com um Sistema de Captura de Movimento Baseado em Marcadores, com Base em Ângulos Articulares, para Avaliação de Risco Ergonômico.)

Publicação: *Sensors*, v. 21, (2021).

Autores: VOX, J.P., WEBER, A., WOLF, K.I., IZDEBSKI, K., SCHÜLER, T., KÖNIG, P., WALLHOFF, P., FRIEMERT, D.

Introdução: A concepção de locais de trabalho e a construção ergonômica desempenham papéis muito importantes na redução de distúrbios musculoesqueléticos relacionados ao trabalho que podem ser causados por posturas forçadas durante o trabalho. Para prevenir esses distúrbios, é necessário avaliar ergonomicamente os locais de trabalho. Em uma abordagem comum, um especialista em ergonomia observa o empregado realizando os movimentos necessários para o processo de trabalho planejado em seu local de trabalho. Posturas observadas e as faixas dinâmicas de movimento são incorporadas em uma avaliação de risco. Ângulos específicos das articulações são a base para esses tipos de avaliações, por isso o foco está na avaliação dos ângulos das articulações.

Conclusão: Neste trabalho, o sistema de rastreamento de movimento “Óculos Vive”, em combinação com a cinemática inversa (IK), foi comparado ao sistema de alta precisão, baseado em marcadores da *Qualisys* (*Qualisys* é uma empresa que desenvolve e fornece sistemas avançados de captura de movimento), com base em ângulos articulares. Os dados cinemáticos do Óculos Vive foram calculados em cinco configurações diferentes de rastreadores e comparados com os dados do *Qualisys*, em cada caso. Investigou-se a precisão com que os ângulos das articulações podem ser calculados com Óculos Vive e cinemática inversa em comparação com os ângulos calculados com *Qualisys*. Conclui-se que os ângulos das articulações calculados por dados cinemáticos do HTC Vive e cinemática inversa não são suficientes para avaliações de risco ergonômicas.

13.Título: *A worker posture coding scheme to link automatic and manual coding.* (Um esquema de codificação de postura do trabalhador para vincular a codificação automática e manual.

Publicação: *Automation in Construction*, v. 125, (2021).

Autores: CHEN, H., LUO, X., ZHU, Z.

Introdução: A construção é uma indústria intensiva em mão de obra que envolve muitas atividades e comportamentos humanos complexos. Organizar e gerenciar eficientemente as atividades e comportamentos dos trabalhadores são as chaves para suavizar o progresso da construção e melhorar o desempenho de segurança. Pesquisadores descobriram que a postura, um elemento fundamental do comportamento humano, pode ser considerada como um recurso crítico dos

comportamentos. Dessa forma, o comportamento humano pode ser tratado como uma sequência de posturas com ordem temporal. Assim, codificar posturas humanas poderia ajudar a caracterizar comportamentos humanos.

Conclusão: Embora, rotular ou codificar posturas humanas com informações semânticas seja bastante valioso para a pesquisa de comportamento humano e tenha grande significado prático para a gestão do comportamento dos trabalhadores da construção, é trabalhoso e demorado. Uma alternativa é usar codificação automática de postura, que é muito mais eficiente. A codificação BPRP proposta neste documento visa ligar os resultados automáticos de codificação assistidos por computador e os resultados de observação manual. Empregando o esquema de codificação BPRP proposto requer três parâmetros de experiência. Três valores empíricos são dados neste trabalho para simplificar o procedimento de codificação. No futuro, análises estatísticas adicionais devem ser conduzidas para determinar os valores ótimos usando o algoritmo de lógica *fuzzy*.

14. Título: *Analysis of the Limits of Automated Rule-Based Ergonomic Assessment in Bricklaying.* (Análise dos Limites da Avaliação Ergonômica Automatizada Baseada em Regras na Alvenaria).

Publicação: *American Society of Civil Engineers*, 2020.

Autores: RYU, J., DIRANEYYA, M.M., HAAS, C.T., ASCE, F., ABDEL-RAHMAN, E.

Introdução: A construção, frequentemente, exige que os trabalhadores realizem repetidamente tarefas fisicamente exigentes que podem exceder seus limites seguros. Essas tarefas, muitas vezes, exigem esforço vigoroso com posturas desconfortáveis, como levantamentos pesados que podem resultar em distúrbios musculoesqueléticos relacionados ao trabalho. Posturas desconfortáveis referem-se às posições estáticas do corpo que desviam, significativamente, de uma postura neutra.

Conclusão: O estudo atual investigou a aplicabilidade de três sistemas de avaliação baseados em regras, RULA, REBA e OWAS, para uma tarefa de assentamento de tijolos - colocando CMUs de 16,6 kg em uma parede padrão. Uma ferramenta de avaliação automatizada foi desenvolvida para esses sistemas usando posturas estáticas obtidas de sistemas de captura de movimento vestíveis. Esta ferramenta foi capaz de eliminar variabilidades intra e interobservador, um obstáculo inerente na avaliação manual baseada em regras. Em contraste com as avaliações baseadas em regras, a análise biomecânica pode fornecer avaliações de risco robustas que refletem

os efeitos das cargas externas e distinguem entre os níveis de risco devido à experiência e à altura do curso. Portanto, a análise biomecânica deve ser adotada para avaliar riscos ergonômicos, especialmente para tarefas que envolvem manuseio pesado de materiais.

15. Título: *Kinect Validation of Ergonomics in Human Pick and Place Activities Through Lateral Automatic Posture Detection.* (Validação do Kinect® da Ergonomia em Atividades de Pegar e Colocar Humanas por Meio da Detecção Automática de Postura Lateral).

Publicação: IEEE Access, 202)

Autores: ROCHA-IBARRA, E., OROS-FLORES, M., ALMANZA-OJEDA, D., LUGO-BUSTILLO, G., ROSALES-CASTELLANOS, A., IBARRA-MANZANO, M., CARLOS GOMEZ, J.

Introdução: Distúrbios musculoesqueléticos (MSDs) são lesões que afetam os movimentos do corpo humano ou o sistema musculoesquelético. Os MSDs são responsáveis por quase 30% de todos os custos de compensação do trabalhador. MSDs representam um fenômeno transdisciplinar que afeta trabalhadores em todos os tipos de indústrias, organizações e atividades. Avaliar a ergonomia dos trabalhadores durante as atividades diárias de trabalho ajuda a controlar e tomar ações para minimizar a probabilidade de sofrer um MSD.

Conclusão: Neste estudo, o uso do Kinect® para avaliação ergonômica é explorado e considerado um dispositivo adequado para avaliar a ergonomia de sujeitos em pé lateralmente em ambientes de trabalho, especialmente em tarefas semelhantes à projetada nesse trabalho, comumente encontradas em linhas de montagem, oficinas e armazéns. Estudos futuros devem conduzir experimentos com o sistema em ambientes do mundo real e considerar o uso de uma matriz de sensores localizados em diferentes lugares no ambiente de trabalho.

16. Título: *Prevalence of MSDs and Postural Risk Assessment in Floor Mopping Activity Through Subjective and Objective Measures.* (Prevalência de DTM (Distúrbios Musculoesqueléticos) e Avaliação de Risco Postural na Atividade de Limpeza de Pisos por Meio de Medidas Subjetivas e Objetivas).

Publicação: *Safety and Health at Work*, N°11, (2020).

Autores: NAIK, G., KHAN, M.R.

Introdução: Lesões e distúrbios musculoesqueléticos associados ao trabalho (MSDs) são os tipos mais comuns de problemas de saúde, afetando bilhões de pessoas em todo o mundo. Trabalhadores empregados em diversos setores, como: manufatura, construção e transporte, e que utilizam as mãos para trabalhar com ferramentas e maquinários, muitas vezes adotam posturas desconfortáveis, o que leva à disfunções musculares e outros problemas. Especialmente no setor de serviços pessoais, a maioria dos trabalhadores realiza tarefas de limpeza, muitos dos quais são mulheres não qualificadas e sem instrução, provenientes de um contexto econômico mais baixo. O ato de esfregar o chão usando um esfregão é considerado um trabalho moderadamente pesado que envolve movimentos repetitivos das extremidades superiores.

Conclusão: Este estudo de corte transversal envolveu 132 profissionais de limpeza em Rourkela, Índia, para avaliar a prevalência de MSDs. Medições experimentais utilizando sistemas EMG e de captura de movimento óptico foram realizadas com 15 profissionais da limpeza para avaliar a tensão muscular e o risco postural envolvidos na limpeza do chão. Observou-se dor intensa na mão, pulso e ombro e na região lombar. Uma grande quantidade de participantes relatou lesões musculoesqueléticas, frequentemente, na mão, ombro e pulso direitos, na parte inferior das costas e nos pulsos e bíceps esquerdos. A experiência de trabalho foi altamente significativa para MSDs na maioria das partes do corpo. Dados de EMG de superfície mostraram maiores tensões musculares em ambas as mãos e ombros, indicando altos MSDs na limpeza do chão. Profissionais de limpeza na Índia precisam de atenção imediata e soluções de design ergonômico são essenciais para reduzir os riscos observados.

17. Título: *Ergonomic risk assessment based on computer vision and machine learning.* (Avaliação de Risco Ergonômico Baseada em Visão Computacional e Aprendizado de Máquina).

Publicação: *Computers & Industrial Engineering*, N°149, (2020).

Autores: FERNÁNDEZ, M.M., FERNÁNDEZ, J.A., BAJO, J.M., DELRIEUX, C.A.

Introdução: Distúrbios musculoesqueléticos relacionados ao trabalho referem-se à uma ampla gama de questões de saúde ocupacional. As causas conhecidas e presumidas desses distúrbios incluem aspectos específicos do ambiente de trabalho, o tipo de tarefa realizada e as posturas do corpo humano no ambiente de trabalho.

Esses distúrbios podem resultar em inflamação ou degeneração de estruturas corporais, como: nervos, tendões, ligamentos e músculos. Esses transtornos tornaram-se a principal causa de licenças médicas, deficiências relacionadas ao trabalho e perda geral de produtividade nos países desenvolvidos. Como resposta, foram propostas etapas específicas a serem incluídas em todos os programas de Ergonomia para prevenir esses distúrbios.

Conclusão: Apresentamos um método baseado em visão computacional para realizar avaliação ergonômica de risco usando câmeras comuns, que calcula automaticamente as pontuações de avaliação a partir de imagens digitais ou sequências de vídeo. O desenvolvimento do método é baseado em vários testes e experimentos. O método pode analisar simultaneamente múltiplas posturas de trabalhador, individualmente ou coletivamente, em condições desafiadoras. A evolução das tecnologias de aprendizado profundo espera fornecer bibliotecas de visão computacional de código aberto mais precisas e flexíveis, o que pode aprimorar as características de nossa proposta no futuro próximo. Além disso, essas tecnologias podem ser usadas para classificar atividades humanas além de avaliar a segurança das posturas e movimentos.

18. Título: *Motion Capture Technology in Industrial Applications: A Systematic Review.* (Tecnologia de Captura de Movimento em Aplicações Industriais: Uma Revisão Sistemática)

Publicação: *Sensors*, 2020.

Autores: MENOLOTTO, M., KOMARIS, D., TEDESCO, S., O'FLYNN, B., WALSH, B.

Introdução: A captura de movimento (MoCap) é o processo de rastrear e registrar, digitalmente, os movimentos de objetos ou seres vivos no espaço. Diferentes tecnologias e técnicas foram desenvolvidas para capturar o movimento. Sistemas baseados em câmera com câmeras infravermelhas, por exemplo, são usados para triangulação da localização de corpos rígidos refletivos fixados ao sujeito alvo. Devido à sua versatilidade, as tecnologias de MoCap são empregadas em uma ampla gama de aplicações. Em ambientes industriais, o MoCap é predominantemente usado na indústria do entretenimento e dos jogos, seguido por aplicações nos setores de robótica, automotivo e construção. No entanto, a necessidade de equipamentos altamente especializados e os custos de instalação e operação têm impedido a adoção dessas tecnologias em outros setores industriais. Com a quarta revolução

industrial e os avanços tecnológicos, o uso da tecnologia MoCap torna-se mais atrativo para uma variedade de cenários industriais.

Conclusão: Esta revisão sistemática destacou como a indústria 4.0 levou ambientes industriais a incorporar lentamente soluções de MoCap, principalmente para melhorar a saúde e segurança dos trabalhadores, aumentar a produtividade e melhorar um processo industrial. Os sensores inerciais (IMUs) ainda são vistos como a primeira escolha para tais aplicações, pois são relativamente simples em sua operação e custo-benefício. No futuro, espera-se que os sensores e sistemas usados em aplicações industriais avançadas se tornem mais inteligentes, menores e portáteis, interferindo menos nos trabalhadores e no local de trabalho. Sistemas sem marcadores, como o *Kinect*®, são de baixo custo e oferecem precisão adequada para certas tarefas; contudo, esforços devem ser feitos para o desenvolvimento e distribuição comercial de algoritmos de processamento que melhorem sua facilidade de uso e capacidade de processar tarefas de dados.

19. Título: *The Effects of Ramp Gradients and Pushing-Pulling Techniques on Lumbar Spinal Load in Healthy Workers.* (Os Efeitos dos Gradientes de Rampas e Técnicas de Empurrar-Puxar na Carga da Coluna Lombar em Trabalhadores Saudáveis).

Publicação: *Safety and Health at Work*, N°11, (2020).

Autores: PINUPONG, C., JALAYONDEJA, W., MEKHORA, K., BHUANANTANONDH, P., JALAYONDEJA, C.

Introdução: De acordo com o Instituto Nacional para Segurança e Saúde Ocupacional, mais de meio milhão de trabalhadores desenvolveram um distúrbio musculoesquelético devido às tarefas de manuseio de material. Estas tarefas incluem ações como: levantar, empurrar, puxar, agachar e carregar. Portanto, executar tarefas de manuseio de material é considerado um dos principais fatores de risco para distúrbios musculoesqueléticos relacionados ao trabalho. Muitas ocupações envolvem tarefas de empurrar e puxar, como trabalhadores em indústrias e hospitais, atendentes de voo, entre outros. Ainda assim, houve pouca pesquisa sobre empurrar e puxar, que compõem 50% das tarefas de manuseio manual de material.

Conclusão: Este estudo investigou o efeito da inclinação e da técnica de manuseio sobre a carga na coluna vertebral. Com o aumento da inclinação da rampa, observou-se um aumento na compressão lombar e na força de cisalhamento ântero posterior,

em ambas as técnicas de empurrar e puxar. No entanto, a força de cisalhamento anteroposterior apresentou variações, dependendo da técnica de manuseio utilizada. Portanto, a escolha da técnica apropriada pode reduzir o risco de lesões musculares e articulares. O método de empurrar foi mais recomendado para mover um carrinho em inclinações de rampa elevadas.

20.Título: *SEE: A proactive strategy-centric and deep learning-based ergonomic risk assessment system for risky posture recognition.* (SEE: Um sistema de avaliação de risco ergonômico baseado em estratégia proativa e aprendizado profundo para reconhecimento de postura de risco).

Publicação: *Advanced Engineering Informatics*, N°53, (2022).

Autores: LEE, Y., LEE, C.

Introdução: Os distúrbios musculoesqueléticos relacionados ao trabalho representam um problema significativo em diversas indústrias, levando a riscos de saúde ocupacional e perdas econômicas. Estes distúrbios, em muitos casos, estão associados às posturas inadequadas adotadas durante as tarefas de trabalho. Embora existam diferentes métodos para avaliar tais riscos, como: autoavaliação, medição direta e avaliação observacional, muitos deles são subjetivos ou exigem configurações caras e demoradas. Para abordar essas limitações, este estudo propõe o sistema SEE, que utiliza o aprendizado profundo para identificar posturas arriscadas em tempo real, usando smartphones para captura de dados, tornando o processo de avaliação mais eficiente e proativo.

Conclusão: A pesquisa introduziu o sistema SEE, que utiliza redes neurais convulsionais (CNN) para identificar ângulos de articulações humanas e avaliar os riscos ergonômicos associados. O sistema, ao ser baseado em *smartphones*, oferece uma solução mais acessível e conveniente para a avaliação de riscos musculoesqueléticos, especialmente em cenários de transporte de cargas pesadas, como na construção civil. O SEE tem o potencial de melhorar a saúde e segurança ocupacional ao permitir avaliações proativas e rápidas de posturas no local de trabalho.

21.Título: *Accuracy evaluation of two markerless motion capture systems for measurement of upper extremities: Kinect® V2 and Captiv.* (Avaliação da

precisão de dois sistemas de captura de movimento sem marcadores para medição de extremidades superiores: *Kinect® V2* e *Captiv*)

Publicação: *Wiley Online*, 2020

Autores: STEINEBACH, T., GROSSE, E.H., GLOCK, C.H., WAKULA, J., LUNIN, A.

Introdução: Ainda que haja avanços tecnológicos e automação, o trabalho manual humano continua a ser fundamental em muitos setores. No setor de logística, por exemplo, cerca de 80% dos armazéns na Europa Ocidental ainda são, predominantemente, operados com trabalho manual. Este tipo de trabalho muitas vezes é realizado utilizando posturas inadequadas, levando a distúrbios musculoesqueléticos relacionados ao trabalho (MSD), se tornando uma das principais causas de afastamentos e incapacidade no setor industrial. Para reduzir o risco de MSDs, uma análise ergonômica dos locais de trabalho é recomendada. Recentemente, tecnologias de captura de movimento têm sido usadas mais frequentemente para avaliação ergonômica. Estes sistemas permitem a gravação automática de posturas e movimentos. Neste estudo, são avaliados dois sistemas de captura de movimento sem marcadores: o sensor óptico *Microsoft Kinect® V2* e os sensores inerciais do sistema *Captiv L7000*.

Conclusão: Este estudo teve como objetivo comparar quantitativamente a precisão dos sistemas de captura de movimento *Kinect® V2* e *Captiv L7000*. A centralidade deste estudo experimental foi investigar se um segundo sensor *Kinect® V2* pode compensar o problema de oclusão. Os resultados mostraram que os ângulos das extremidades superiores têm erros de medição significativamente maiores quando obstruídos. A oclusão continua sendo uma grande desvantagem, mesmo quando se usa dois sensores *Kinect®*. Para movimentos complexos, o sistema *Captiv* é preferível em termos de precisão. Conclui-se que ambos os sistemas são capazes de obter resultados precisos em situações sem oclusão. Passos futuros poderiam integrar dados capturados pelo *Captiv* em avaliações de risco ergonômico.

22. Título: *ErgoTakt: A novel approach of human-centered balancing of manual assembly lines (ErgoTakt: Uma abordagem inovadora centrada no ser humano para balanceamento de linhas de montagem manual).*

Publicação: *Procedia CIRP*, 2020.

Autores: WILHELM, M., MANGHISI, V.M., UVA, A., FIORENTINO, M., BRÄUTIGAM, V., ENGELMANN, B., SCHMITT, J.

Introdução: Apesar da crescente automação industrial, a montagem manual permanece essencial devido à complexidade em montar componentes como cabos e eletrônicos. O *design* e o balanceamento de uma linha de montagem tornaram-se críticos para a competitividade global. Condições de trabalho inadequadas podem levar a distúrbios musculoesqueléticos relacionados ao trabalho, resultando em custos significativos. Assim, é necessário preservar o bem-estar dos operadores em sua idade avançada. Tradicionalmente, o balanceamento de linhas de montagem não considera diretamente a ergonomia. No entanto, a evolução tecnológica, típica da 4ª revolução industrial, oferece ferramentas para avaliar ergonomicamente as linhas de montagem em tempo real.

Conclusão: Este trabalho apresentou o *ErgoTakt*, uma abordagem inovadora para avaliar linhas de montagem de acordo com indicadores de desempenho ergonômico e econômico. A integração de tecnologias de digitalização humana, usando uma câmera de profundidade e o *software ErgoSentinel*, permite avaliar a ergonomia em tempo real. A combinação destes dados com um algoritmo de otimização é detalhada e testada em um cenário prático. Os resultados mostram melhorias significativas na estação de trabalho mais crítica. Pesquisas futuras devem avaliar a aplicabilidade do *ErgoTakt* em cenários de produção reais e o impacto sobre a aceitação dos trabalhadores.

23. Título: *Estimating Trunk Angle Kinematics During Lifting Using a Computationally Efficient Computer Vision Method* (Estimativa da Cinemática do Tronco Durante Levantamentos Usando um Método Eficiente de Visão Computacional).

Publicação: Human Factors, 2020.

Autores: GREENE, R.L., LU, M., BARIM, M.S., WANG, X., HAYDEN, M., HU, Y.H., RADWIN, R.G.

Introdução: Distúrbios da região lombar são um grande problema de saúde ocupacional. Em 2016, esses distúrbios foram os mais proeminentes entre todos os casos de distúrbios musculoesqueléticos relacionados ao trabalho, causando um impacto socioeconômico significativo.

Conclusão: O objetivo deste estudo foi desenvolver um método de visão computacional para prever ângulos do tronco, velocidade e aceleração, usando características simples extraídas de vídeos. O algoritmo de monitoramento de

levantamento usado neste estudo pode extrair características incluindo dimensões da caixa delimitadora e locais das mãos em uma série de quadros de vídeo consecutivos. Este estudo utilizou o recurso de previsão de postura do 3DSSPP, que gerou posturas simuladas. O método de visão computacional usado neste estudo pode economizar tempo substancial para os profissionais na coleta de dados. O algoritmo desenvolvido para esta pesquisa é projetado para não ocorrer à oclusão. Os métodos que exigem rastreamento preciso de locais de articulação requerem, significativamente, menos poder computacional e podem ser implementados em dispositivos como *smartphones*. O objetivo do nosso método é fornecer estimativas rápidas e confiáveis para fins de vigilância no ambiente industrial. O método de visão computacional apresentado neste estudo tem o potencial de fornecer avaliações rápidas e confiáveis de riscos associados a movimentos de levantamento no ambiente de trabalho. A pesquisa atual demonstra a viabilidade de prever ângulos de flexão do tronco para várias posturas de levantamento usando características simples de visão computacional extraídas de gravações em vídeo. Antecipamos a implementação do método em dispositivos portáteis, tornando-o amplamente acessível aos profissionais.

24. Título: *Machine Learning Techniques for Motion Analysis of Fatigue from Manual Material Handling Operations Using 3D Motion Capture Data* (Técnicas de Aprendizado de Máquina para Análise de Movimento da Fadiga de Operações de Manuseio Manual de Materiais Usando Dados de Captura de Movimento 3D).

Publicação: IEEE *Xplore*, 2020.

Autores: HERNANDEZ, G., VALLES, D., WIERSCHEM, D.C., KOLDENHOVEN, R.M., KOUTITAS, G., MENDEZ, F.A., ASLAN, S., JIMENEZ, J.

Introdução: A Revolução Industrial 4.0 representa o desenvolvimento da integração colaborativa entre humanos e máquinas usando Inteligência Artificial (IA), Internet das Coisas (IoT), Robôs Colaborativos (Cobot) e análise de dados. A indústria de manuseio de materiais pode se beneficiar dessa integração ao construir processos de manuseio de materiais 'inteligentes'. A motivação deste artigo é melhorar a segurança dos operadores na indústria de manuseio de materiais.

Conclusão: Na indústria de manuseio de materiais, a fadiga ocorre a partir do esforço empregado pelo operador, bem como da frequência e duração com que realiza o trabalho manual. Quando executadas repetidamente durante uma tarefa, estas atividades podem causar fadiga ao operador. Se não houver tempo adequado de

descanso entre as tarefas, o operador começa a sobrecarregar seu corpo, o que pode levar a lesões ou desenvolvimento de um distúrbio musculoesquelético relacionado ao trabalho (WMSD). Portanto, uma solução que pode medir o nível de fadiga com base nos deslocamentos de movimento, quando ocorrem, é proposta para aumentar a segurança humana na indústria.

25. Título: *Human movement and ergonomics: An industry-oriented dataset for collaborative robotics* (Movimento humano e ergonomia: um conjunto de dados orientado para a indústria para robótica colaborativa).

Publicação: *The International Journal of Robotics Research*, 2019.

Autores: MAURICE, P., MALAISE, A., AMIOT, C., PARIS, N., RICHARD, G., ROCHEL, O., IVALDI, S.

Introdução: Os distúrbios musculoesqueléticos relacionados ao trabalho estão entre as principais causas de doenças ocupacionais em muitos países do mundo. Eles representam um grande problema de saúde e um custo importante para as empresas e para a sociedade. Os WMSDs se desenvolvem quando as demandas biomecânicas no trabalho excedem, repetidamente, a capacidade física do trabalhador. Melhorar as condições de trabalho na indústria é, portanto, um grande desafio que pode ser abordado com novas tecnologias emergentes, como robôs colaborativos para auxiliar os trabalhadores ou sensores vestíveis para monitorar e alertar sobre situações que ameaçam a saúde.

Conclusão: Este artigo apresentou a criação e organização de um conjunto de dados de movimento humano publicamente disponível, que contém atividades orientadas para a indústria e anotadas com rótulos ergonômicos. O conjunto de dados inclui 5 horas de dados de captura de movimento de corpo inteiro, tanto de um sistema inercial vestível quanto de um sistema óptico externo, dados de vídeo de duas câmeras e dados de força de pressão dos dedos medidos com uma luva sensorizada. O conjunto de dados também inclui anotações das ações e posturas dos participantes de acordo com a planilha ergonômica EAWS, tornando-o único e especialmente relevante para estudos e desenvolvimentos orientados por dados com foco em ergonomia. Acreditamos que nosso conjunto de dados de movimento humano será de grande interesse para a comunidade de pesquisa em geral.

26. Título: *Ergonomic evaluation of body postures in order picking systems using Motion Capturing* (Avaliação ergonômica das posturas corporais em sistemas de seleção de pedidos usando Captura de Movimento).

Publicação: *Prognostics and System Health Management Conference*, 201.)

Autores: FELDMANN, F., SEITZ, R., KRETSCHMER, V., BEDNORZ, N., HOMPEL, M.

Introdução: Os processos dentro de um armazém ou centro de distribuição podem variar de altamente automatizados até completamente manuais. Apesar do desenvolvimento e implementação de tecnologias da Indústria 4.0, ainda existem processos manuais dentro de um armazém. O processo de seleção de pedidos descreve a compilação de itens de um armazém para atender aos pedidos do cliente. Devido a um comportamento de pedido cada vez mais volátil dos clientes, o *design* do sistema de seleção de pedidos precisa ser flexível. Analisar e avaliar a carga de trabalho objetiva, o melhor método de triagem manual conhecido na Alemanha é o Método Indicador Chave (KIM).

Conclusão: A comparação entre os dados do MoCap e os resultados da análise postural usando o KIM mostra que é possível avaliar um processo manual de manuseio em intralogística com dados MoCap. O uso do modelo de semáforo para a avaliação ergonômica dos dados MoCap revelou o problema de que todo ângulo de articulação negativo está na área vermelha. No entanto, avaliações detalhadas podem ser realizadas com os resultados dos dados MoCap. Concluindo, a tecnologia MoCap oferece um grande potencial para apoiar a digitalização da avaliação ergonômica em sistemas de seleção de pedidos.

27. Título: *Applicability Evaluation of Kinect for EAWS Ergonomic Assessments* (Avaliação da Aplicabilidade do Kinect para Avaliações Ergonômicas EAWS).

Publicação: *52nd CIRP Conference on Manufacturing Systems*, 201.)

Autores: OTTO, M., LAMPEN, E., AURIS, F., GAISBAUER, F., RUKZIO, E.

Introdução: Dados de captura de movimento de corpo inteiro são frequentemente usados na indústria de manufatura para vários casos de uso, como: verificação de processo, verificações de visibilidade ou avaliações de construtibilidade. Além disso, cada vez mais avaliações ergonômicas são realizadas usando modelos humanos digitais (DHMs) para auditar virtualmente postos de trabalho e posturas dos

trabalhadores. Neste artigo, apresentamos uma avaliação usando um sistema de captura de movimento com câmera de profundidade múltipla em relação à sua aplicabilidade para avaliações ergonômicas.

Conclusão: Em resumo, o *Kinect*® v2, quando aprimorado com algoritmos de rastreamento de câmera de profundidade múltipla e o sistema de redefinição, mostrou-se promissor para avaliações ergonômicas alinhadas com os padrões EAWS. Dos 11 postos de corpo inteiro avaliados, 9 foram considerados adequados para avaliações. Os principais desafios encontrados foram oclusões ópticas, particularmente evidentes durante atividades como inclinar-se significativamente para a frente, deitar-se completamente e ajoelhar-se. Tais oclusões frequentemente levavam a erros ou dados instáveis nos resultados de captura de movimento. Além disso, o uso de PMUs de grande escala às vezes obscurece os usuários, mesmo que sua postura de outra forma fosse rastreável. A direção futura envolve o desenvolvimento de *mock-ups* físicos pouco intrusivos ópticamente para proporcionar aos usuários um feedback tangível durante avaliações ergonômicas complexas.

28.Título: *Real time RULA assessment using Kinect® v2 sensor (Avaliação RULA em tempo real usando o sensor Kinect® v2).*

Publicação: *Applied Ergonomics*, 2017.

Autores: MANGHISI, V.M., UVA, A.E., FIORENTINO, M., BEVILACQUA, V., TROTTA, G.F., MONNO, G.

Introdução: Apesar do contínuo progresso nas condições de trabalho, a exposição a movimentos repetitivos do braço e posições cansativas permanece uma questão comum. Tendo em vista a saúde do trabalhador e os custos de bem-estar, é essencial aplicar políticas que minimizem os riscos associados aos distúrbios musculoesqueléticos relacionados ao trabalho (WMSDs). Vários métodos foram desenvolvidos com esse objetivo, divididos em: autorrelato, medição direta e métodos observacionais. A introdução de câmeras de profundidade econômicas, como o sensor *Microsoft Kinect*® v1, sugeriu uma abordagem semiautomática aos métodos observacionais. No entanto, a versão *Kinect*® v2 superou a versão anterior em várias áreas, como rastreamento de pulso e robustez em iluminação artificial.

Conclusão: O artigo apresentou o K2RULA, um sistema de avaliação RULA semiautomático em tempo real baseado no *Kinect*® v2. Esta ferramenta permite acelerar a detecção de condições críticas e reduzir o viés subjetivo. O K2RULA provou

ser equivalente em avaliações quando comparado a um sistema de captura de movimento óptico e está em total acordo com uma avaliação de um especialista em RULA. Além disso, superou a ferramenta Jack-TAT, baseada no *Kinect®* v1. O sistema proposto pode ser usado como uma ferramenta rápida, semiautomática e econômica para análise RULA.

29. Título: *Accuracy Assessment of Joint Angles Estimated from 2D and 3D Camera Measurements.* (Avaliação da Precisão dos Ângulos Articulares Estimados a partir de Medições com Câmeras 2D e 3D).

Publicação: *Sensors*, 2022.

Autores: CROMBRUGGE, I.V., SELS, S., RIBBENS, B., STEENACKERS, G., PENNE, R., VANLANDUIT, S.

Introdução: A importância de uma boa ergonomia para os trabalhadores é difícil de exagerar. Posturas corporais inadequadas podem levar a distúrbios musculoesqueléticos (DMEs) que têm um grande impacto, tanto na vida dos trabalhadores, quanto na economia. Para prevenir DMEs, a ergonomia deve ser monitorada para que os problemas sejam detectados precocemente. A maioria dos métodos de avaliação ergonômica é feita manualmente. No entanto, eles também podem ser realizados automaticamente, com base nos ângulos articulares dos esqueletos 3D. Neste trabalho, calculamos esqueletos 3D com base em medições de câmera.

Conclusão: Neste artigo, construímos esqueletos 3D a partir de medições de câmera e os comparamos a um sistema de rastreamento baseado em marcadores VICON. Avaliamos os diferentes métodos com base na precisão dos ângulos articulares essenciais para a maioria das aplicações, como a avaliação ergonômica. Usar o *RealSense* permite a vantagem de que apenas uma unidade de sensor é necessária. Ao lidar melhor com oclusões, combinamos duas câmeras para triangulação. Mesmo com duas câmeras, ainda pode haver um número considerável de oclusões. Portanto, combinamos as três triangulações dos pares de câmeras. A sugestão é que a precisão pode ser melhorada, ainda mais, adicionando mais câmeras.

30. Título: *Les couples articulaires estimés à partir de données Kinect corrigées sont-ils fiables pour des évaluations ergonomiques?* (Os conjuntos

articulares estimados a partir de dados Kinect corrigidos são confiáveis para avaliações ergonômicas?)

Publicação: *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2016.

Autor: PLANTARD, P.

Introdução: O objetivo deste estudo foi avaliar a capacidade de obter uma estimativa correta dos casais articulares usando dados do *Kinect*®. Os resultados mostraram que os dados corrigidos são suficientemente precisos para calcular valores confiáveis das articulações, mesmo em condições experimentais desafiadoras.

Conclusão: Os resultados desta pesquisa são promissores. No entanto, há limitações a considerar. Os dados do *Kinect*® não fornecem todas as informações necessárias para calcular com precisão todos os ângulos articulares. No entanto, esta pesquisa mostra que é possível estimar o esforço interno em condições experimentais. Além disso, a metodologia de correção proposta pode ser aplicada em ambientes com muitas oclusões, como linhas de produção. A informação interna, como as forças musculares e movimentos das articulações, pode ser útil para ergonomistas. Isso sugere um novo índice de medição potencial de fadiga ou risco de distúrbios musculoesqueléticos.

31. Título: *An Evaluation of Posture Recognition Based on Intelligent Rapid Entire Body Assessment System for Determining Musculoskeletal Disorders* (Uma Avaliação do Reconhecimento de Postura Baseada no Sistema Inteligente de Avaliação Rápida do Corpo Inteiro para Determinar Distúrbios Musculoesqueléticos).

Publicação: *Sensors*, 2020.

Autores: LI, Z., ZHANG, R., LEE, C., LEE, Y.

Introdução: A evolução da ciência e tecnologia permitiu um controle gradual de doenças ocupacionais; no entanto, os distúrbios musculoesqueléticos (MSDs) estão recebendo mais atenção. Esses distúrbios são uma principal doença ocupacional relacionada à postura de trabalho, afetando a saúde dos trabalhadores e causando grandes perdas econômicas. Além dos riscos ocupacionais químicos, físicos e biológicos, outros fatores prejudiciais existem no ambiente de trabalho, como: levantamento manual, trabalho estático, postura de trabalho inadequada e organização laboral. A má postura durante o trabalho está diretamente relacionada ao risco de MSDs, eficiência no trabalho e acidentes de segurança.

Conclusão: Este estudo modificou o julgamento automático de torções do tronco, apoio da perna, torções do pulso e etc., do sistema *Quick Capture*. Através do uso do sistema de captura de movimento e utilizando especialistas como referências, a confiabilidade e viabilidade do *Quick Capture* foram verificadas. Foi comprovado que o sistema *Quick Capture* apresenta reconhecimento de ângulo ligeiramente superior ao de outros estudos e seus escores também são mais altos. Sob condições experimentais, foi demonstrado que a precisão do reconhecimento de ângulos do *Quick Capture* é consistente com o sistema de captura de movimento; o escore calculado pelo *Quick Capture* é consistente com o dos especialistas; e que o sistema pode corrigir possíveis erros cometidos por especialistas. O sistema é útil como uma ferramenta de análise REBA: rápida, automática e de baixo custo, sem interromper o trabalho normal dos trabalhadores. Limitações do estudo incluem a avaliação do sistema em um ambiente laboratorial e a necessidade de ampliar a avaliação para diferentes características dos participantes. O sistema atual avalia apenas pelo método REBA, mas é útil expandir para outros métodos.

32. Título: *An UE4 Plugin to Develop CVE Applications Leveraging Participant's Full Body Tracking Data.* (Um *Plugin Unreal Engine 4* para Desenvolver Aplicações Ambientes Virtuais Colaborativos Aproveitando Dados de Rastreamento Corporal Completo do Participante).

Publicação: *Springer International Publishing, 2018.*

Autores: LUONGO, C., LEONCINI, P.

Introdução: Desde que estiveram disponíveis como código de uso gratuito e/ou código aberto, os principais motores de jogos tornaram-se rapidamente um ambiente de desenvolvimento comum, poderoso e produtivo, inclusive para aplicações de VR. Em particular, laboratórios de pesquisa em VR têm migrado suas aplicações experimentais para esses novos ambientes de desenvolvimento que são muito mais produtivos, extensíveis/customizáveis, fáceis de usar (IDE GUI), ricos em recursos e praticamente sem custo (a menos que em projetos altamente lucrativos), com o adicional de implantação multiplataforma, incluindo plataformas móveis; além de e utilizá-los para iniciar novos projetos. Na vanguarda estão o *Unreal Engine* e *Unity 3D*; logo atrás, em popularidade, o *CryEngine*, o recente *Amazon Lumberyard (desktop)* e *Sumerian* (baseado em WebGL/WebVR). Por outro lado, Ambientes Virtuais Colaborativos (CVEs) são um tópico interessante, pois permitem que duas ou mais pessoas se unam em um ambiente virtual de trabalho comum para realizar uma

atividade conjunta. Uma das características distintivas de um CVE para uso industrial é a capacidade de trazer a capacidade de movimento completo de um corpo humano para o VE comum.

Conclusão: Este artigo ilustrou técnicas e descreveu uma arquitetura de gestão de dados para gerir dados de rastreamento corporal completo em aplicações de Ambiente Virtual Colaborativo em rede baseadas no ambiente de desenvolvimento do motor de jogo *Unreal Engine 4*. Além de perseguir os propósitos específicos do grupo de pesquisa, este trabalho constituiu uma oportunidade para um conhecimento profundo de uma tecnologia moderna de motor de jogo. O próximo passo nesta linha de pesquisa visa definir um protocolo de comunicação agnóstico ao motor, rico em rastreamento corporal, para aplicações CVE. Os benefícios dessa abordagem incluem a liberdade para grupos de pesquisa colaborativos distantes reterem sua tecnologia preferida para o desenvolvimento de aplicações VR. Em uma visão mais geral, um possível desenvolvimento futuro poderia ser a criação de uma parceria entre equipes de pesquisa em Realidade Virtual que compartilham esse tipo de abordagem, para alcançar a interoperabilidade de diferentes sistemas VE.

33.Título: *Systematic review of Kinect-based solutions for physical risk assessment* (Revisão sistemática de soluções baseadas no Kinect para avaliação de risco físico no manuseio manual de materiais em ambientes industriais e laboratoriais. in manual materials handling in industrial and laboratory environments).

Publicação: *Computers & Industrial Engineering*, 2021.

Autores: LUNIN, A., GLOCK, C.H.

Introdução: O avanço da digitalização e automação industrial não reduziu a proporção de operações manuais em muitos setores. Em locais como armazéns, grande parte das operações ainda é realizada manualmente. O trabalho manual, como o manuseio de cargas, pode levar a lesões como distúrbios musculoesqueléticos (MSDs). Apesar de uma diminuição nos casos relatados de MSDs, eles ainda são uma das principais causas de lesões relacionadas ao trabalho. Portanto, é importante adotar medidas preventivas e ergonômicas. Uma abordagem para reduzir os riscos de MSDs é através da avaliação da postura no ambiente de trabalho. Embora existam métodos observacionais para essa avaliação, eles podem ser subjetivos e demorados. Com o avanço da tecnologia, sistemas como o *Kinect®* da *Microsoft®* tornaram-se

ferramentas valiosas. O *Kinect*® pode registrar movimentos e representá-los em um modelo digital, ajudando na avaliação ergonômica. Vários estudos validaram a precisão do *Kinect*® em comparação com sistemas de captura de movimento profissionais. No entanto, até agora, não houve uma revisão sistemática da literatura sobre o uso do *Kinect*® para avaliar riscos ergonômicos em ambientes industriais. Este trabalho preenche essa lacuna ao revisar e discutir literaturas relevantes, oferecendo insights sobre o potencial do *Kinect*® como ferramenta de avaliação. O objetivo é apontar ferramentas e métodos que funcionam bem com o *Kinect*® e destacar ambientes em que a avaliação de risco ergonômico foi realizada com sucesso usando o sistema.

Conclusão: Este artigo apresentou uma revisão sistemática de soluções baseadas no *Kinect*® para a avaliação ergonômica de tarefas de trabalho, como o manuseio de cargas em ambientes industriais. Usar soluções como o *Kinect*® pode ajudar a automatizar parcialmente as avaliações ergonômicas e oferecer uma análise mais objetiva das posturas de trabalho, potencialmente reduzindo os riscos para os trabalhadores.

34. Título: *A Dataset of Human Motion and Muscular Activities in Manual Material Handling Tasks for Biomechanical and Ergonomic Analyses* (Um Conjunto de Dados de Movimento Humano e Atividades Musculares em Tarefas de Manuseio Manual de Materiais para Análises Biomecânicas e Ergonômicas).

Publicação: IEEE Sensors Journal, 2021.

Introdução: Apesar do aumento da automação na indústria, ainda existem muitas atividades que envolvem Manuseio Manual de Materiais (MMH) que são realizadas por seres humanos e que provavelmente continuarão a ser feitas por seres humanos no futuro. De fato, o paradigma da indústria 4.0 prevê uma estreita colaboração entre seres humanos e robôs em locais de trabalho compartilhados. A partir dessa perspectiva, é crucial monitorar, modelar e prever o comportamento humano para projetar uma eficiente colaboração humano-robô e garantir as melhores condições de trabalho para o trabalhador humano.

Conclusão: O artigo apresentou um conjunto de dados totalmente rotulado de atividades MMH que inclui tanto dados cinemáticos quanto sEMG. Este conjunto de dados se diferencia dos outros que, principalmente, incluem apenas dados inerciais e

se concentram no desenvolvimento de algoritmos HAR de ADLs ou atividades esportivas. A coleta de dados foi realizada em muitos sujeitos, que realizaram várias repetições de cada atividade para fornecer uma boa quantidade de amostras de dados de treinamento anotadas. Esses dados podem ser usados para os propósitos declarados, que incluem análise biomecânica, estimação de torques articulares e cargas externas, avaliação automatizada de sobrecarga biomecânica e teste de algoritmos HAR.

35.Título: *Motion Analysis System (MAS) for production and ergonomics assessment in the manufacturing processes* (Sistema de Análise de Movimento (MAS) para avaliação de produção e ergonomia nos processos de fabricação).

Publicação: *Computers & Industrial Engineering*, 2020.

Autores: BORTOLINIA, M., FACCIOB, M., GAMBERIA, M., PILATI, F.

Introdução: O ambiente industrial contemporâneo está passando por sua quarta revolução. A integração de sensores com redes de comunicação possibilita uma integração em tempo real entre sistemas, máquinas, ferramentas, operadores e consumidores, dando origem às "Fábricas Inteligentes". Essa inovação conduz a um novo modelo de produção, chamado "produção personalizada", envolvendo os clientes desde a fase de *design* para criar produtos exclusivos para necessidades específicas. Este modelo aumenta a complexidade dos processos de fabricação e produção, onde operadores experientes garantem a flexibilidade necessária. Neste contexto, a Captura de Movimento (MOCAP) aparece como uma solução promissora.

Conclusão: Este trabalho propõe uma arquitetura inovadora *hardware/software* chamada Sistema de Análise de Movimento (MAS), desenvolvida para uma avaliação aprofundada do trabalho humano nas estações de trabalho de fabricação/montagem. O MAS utiliza dispositivos de Captura de Movimento (concebidos para jogos) adaptados para a indústria, integrando-os com um *software* original de análise. A aplicabilidade e utilidade do MAS são discutidas em um estudo de caso de uma estação de trabalho de montagem real. Futuras atividades de pesquisa são sugeridas, com foco na otimização do local de trabalho industrial.

36.Título: BoB – *Biomechanics in MATLAB* (BoB – *Biomechanics* no MATLAB)

Publicação: 11TH *International Conference Biomechanics*, 2016.

Autores: SHIPPEN, J., MAY, B.

Introdução: Com o avanço da capacidade de computação técnica, as simulações de movimento humano oferecem a oportunidade de entender como os componentes interagem para produzir um movimento coordenado. Existem vários programas de *softwares* desenvolvidos para simular o movimento humano, mas cada um define os parâmetros do sistema musculoesquelético de maneira diferente. O número de músculos incluídos, a facilidade de uso e os resultados em termos de gráficos e forças musculares variam consideravelmente entre eles. Por exemplo, o "*OpenSim*", desenvolvido pelo *Stanford National Institute of Health Centre for Biomedical Computation*, é um sistema de software de código aberto que permite aos usuários construir modelos de estruturas musculoesqueléticas, criar simulações dinâmicas de movimento e determinar as forças exercidas durante o movimento. Outro pacote, o "*LifeMOD*", pode ser adaptado às medidas do sujeito do teste, incluindo 19 segmentos corporais, 18 articulações, mas apenas 38 músculos do corpo. Já o *software Anybody Technology* foi desenvolvido para biomecânica e ergonomia assistida por computador, sendo comercializado para uso em *design* de produtos nas indústrias automotiva, médica e aeroespacial. Ele também foi usado no esporte para maximizar o desempenho e para elaborar exercícios voltados ao fortalecimento de pontos específicos do corpo. Contudo, muitos engenheiros e cientistas que trabalham com análise biomecânica usam rotineiramente o MATLAB, que oferece um ambiente adaptável a uma ampla gama de análises, facilita o desenvolvimento rápido de códigos e oferece saídas gráficas sofisticadas. O *software* biomecânico *Biomechanics of Bodies* (BoB) é baseado no ambiente MATLAB e herda muitas de suas capacidades de análise. O BoB, escrito no código M do MATLAB, é capaz de realizar análise dinâmica inversa, utiliza métodos de otimização para resolver a distribuição da força muscular, pode executar pacotes de código M desenvolvidos pelo usuário e produz imagens gráficas e saídas de vídeo sofisticadas.

Conclusão: O pacote de análise biomecânica BoB (*Biomechanics of Bodies*) foi desenvolvido no ambiente MATLAB. Aproveitando muitas capacidades de análise do MATLAB, o BoB é intuitivo para usuários já familiarizados com o MATLAB, resultando em uma rápida adaptação e produtividade. O BoB pode calcular torques nas articulações, distribuição de carga muscular e forças de contato nas articulações. Pode adquirir dados de captura de movimento de qualquer sistema que produza arquivos nos formatos padrão C3D ou MVNX. O BoB pode ser usado em diversas

áreas, como: esportes, ergonomia, desenvolvimento de produtos e ciências da saúde. No exemplo apresentado, o BoB foi utilizado para analisar a ação de horticultores, concluindo-se que profissionais da área adotam posturas e ações que resultam em forças de contato significativamente menores entre o sacro e a vértebra L5 em comparação com amadores.

37.Título: *Full Body Interaction for Serious Games in Motor Rehabilitation.*

(Interação Corporal Completa para Jogos Sérios em Reabilitação Motora).

Publicação: *Proceedings of the 2nd Augmented Human International Conference on – AH, 2011.*

Autores: SCHÖNAUER, C., PINTARIC, T., KAUFMANN, H.

Introdução: O uso de jogos sérios em reabilitação motora tornou-se uma área de pesquisa ativa nos últimos anos. Esses jogos têm sido utilizados para auxiliar na terapia pós-acidente vascular cerebral, lesão cerebral traumática, lesão medular, entre outras condições. A razão para sua eficácia está em conceitos-chave como repetição, *feedback* e motivação. Os dispositivos de entrada desempenham um papel significativo, pois, ao contrário da terapia convencional onde um terapeuta guia o paciente, nos jogos sérios, o sistema fornece o *feedback* necessário. Usando o assistente de calibração do esqueleto, podemos reconstruir um modelo cinemático de corpo completo específico do assunto a partir de uma sequência pré-gravada de posições de marcador. Esse modelo é armazenado como uma cadeia hierárquica de ossos rígidos, conectados por articulações rotativas. Cada osso está associado a um ou mais marcadores ópticos. As interfaces entre os motores de jogo e o sistema de captura de movimento foram implementadas com *Unity3D*, bem como para *Ogre3D* em um protótipo anterior. A comunicação de rede é usada para trocar dados entre *OpenTracker* e *Unity3D*. Vários *scripts* são responsáveis pela comunicação de rede, análise e representação interna dos dados.

Conclusão: Este trabalho apresenta um novo sistema flexível e acessível de captura de movimento corporal completo. O sistema é otimizado para jogos sérios voltados para a reabilitação motora, especialmente para pacientes com dores crônicas na região lombar e pescoço. O sistema integra aquisição de biosinais e foi incorporado a um motor de jogo. O jogo desenvolvido foca na reabilitação motora de pacientes com dor crônica, apresentando uma nova abordagem para o uso de jogos sérios. Testes preliminares mostram resultados promissores para a usabilidade do sistema.

38.Título: *Inverse Kinematics and Temporal Convolutional Networks for Sequential Pose Analysis in VR.* (Cinética Inversa e Redes Convolucionais Temporais para Análise Sequencial de Poses em Realidade Virtual).

Publicado: IEEE *International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality*, 2020.

Autores: JEONG, D.C., XU, J., MILLER, L.C.

Introdução: Este artigo publicado em uma conferência, propõe um arcabouço para promover a confiabilidade das medições na ciência psicológica, ao combinar realidade virtual, visão computacional e aprendizado de máquina. O método surge da proposta recente de usar ambientes virtuais para criar *designs* de pesquisa representativos de contextos reais. A ideia é analisar interações entre humanos e agentes em mundos virtuais, considerando diferentes contextos sociais, como o educacional e financeiro. A abordagem é chamada de Sistema de Realidade Virtual Computacional e combina a percepção de máquinas com um sistema de Realidade Virtual, no caso, foi utilizado o *Oculus Quest* como dispositivo de entrada e saída de informações. O objetivo é formular redes convulsionais específicas que lidam com construções psicológicas bem definidas. Esta abordagem é vista, não apenas como válida em termos ecológicos, mas também como escalonável e de fácil implementação.

Conclusão: O Sistema de Realidade Virtual Computacional tem a ambição de integrar as áreas de realidade virtual, animação de personagens, visão computacional e aprendizado profundo. A meta é criar um sistema de interação humano-agente abrangente, no que se refere à percepção de movimentos. Embora o sistema atualmente não inclua reconhecimento de fala ou expressões faciais, defende-se que os movimentos do corpo têm um grande poder de explicação para processos psicológicos. Ao aproveitar a precisão proporcionada pelos ambientes virtuais e pela visão computacional avançada, é possível começar a entender mais profundamente a complexidade do comportamento humano.

39.Título: *Assessing the Importance of Motion Dynamics for Ergonomic Analysis of Manual Materials Handling Tasks using the AnyBody Modeling System* (Avaliando a Importância da Dinâmica do Movimento para Análise Ergonômica de Tarefas de Manuseio Manual de Materiais usando o Sistema de Modelagem *AnyBody*).

Publicação: *Digital Human Modeling for Design and Engineering Conference and Exhibition*, Seattle, Washington, 2007.

Autores: WAGNER, D.W., REED, M.P.

Introdução: Os Modelos de Figura Humana Digital (MHDs) são empregados em uma variedade de aplicações, desde avaliações de segurança no trabalho, até visualização de tarefas. A avaliação precisa da segurança e desempenho do operador é crucial para reduzir lesões e custos associados. Nos EUA, milhões de trabalhadores estão envolvidos em ocupações manuais, com muitos casos de esforço excessivo devido à elevação. O custo das desordens musculoesqueléticas é estimado em bilhões, anualmente. A ergonomia proativa usando MHD pode diminuir lesões no trabalho ao permitir a identificação precoce de tarefas potencialmente perigosas. Existem diferentes modos de análise, como estático, quase-estático e dinâmico. A análise dinâmica é mais precisa para certas tarefas, mas sua adoção é limitada devido a barreiras tecnológicas e de *software*. No entanto, com o avanço dos sistemas de modelagem, como o *AnyBody*, a análise dinâmica está se tornando mais acessível. O objetivo deste artigo é examinar a viabilidade de incorporar a análise dinâmica em ferramentas de análise ergonômica comercialmente disponíveis, usando o sistema de modelagem *AnyBody* e dados de captura de movimento.

Conclusão: O texto aborda a aplicação, vantagens e desafios do Sistema de Modelagem *AnyBody*, usado para análise dinâmica, especialmente em ergonomia. As análises dinâmicas e quase-estáticas chegam a conclusões semelhantes quanto ao critério de levantamento seguro estabelecido pelo NIOSH. No entanto, análises dinâmicas podem ser mais precisas em identificar certos trabalhos que excedem esse critério. O sistema *AnyBody* possui desafios, como redundância cinemática e uma limitada predefinição para dimensionamento antropométrico. Seria benéfico incorporar um conjunto padrão de parâmetros antropométricos. Embora o sistema permita uma modelagem detalhada, incluindo músculos individuais, essa granularidade exige uma habilidade significativa e mais tempo para configuração e análise. Desenvolvimentos em curso incluem a integração de captura de movimento, aprimoramento da interface do usuário e a conclusão e validação do modelo. Atualmente, o sistema depende muito dos dados de captura de movimento, e há necessidade de pesquisa sobre melhores algoritmos de simulação de movimento humano.

O trabalho foi patrocinado por diversas entidades, incluindo DaimlerChrysler, Ford, General Motors, entre outras.

40.Título: *Pose Estimation with the Kinect for Ergonomic Studies: Evaluation of the Accuracy Using a Virtual Mannequin.*

Publicação: *Sensors*, 2015.

Autores: PLANTARD, P., AUVINET, E., PIERRES, A., MULTON, F.

Introdução: A análise das posturas e movimentos humanos nos postos de trabalho é fundamental para avaliar os potenciais riscos de distúrbios musculoesqueléticos. Existem três principais métodos para avaliar a exposição a fatores de risco no local de trabalho: autorrelato, métodos observacionais e medição direta. O método de autorrelato, embora fácil de usar, não é confiável o suficiente. Os métodos observacionais, embora fáceis de usar, estão sujeitos a imprecisões entre diferentes observadores. Já os métodos diretos coletam dados diretamente de sensores acoplados ao corpo do trabalhador, mas são difíceis de implementar em situações de trabalho reais. O *Microsoft Kinect®* um dispositivo de baixo custo, oferece uma alternativa fácil de usar e sem marcadores para capturar movimentos. Este estudo pretende avaliar a precisão dos dados cinemáticos fornecidos pelo *software Kinect®*, usando imagens de profundidade simuladas.

Resumo: O estudo sugere que o *software Kinect®* pode ser uma ferramenta útil para avaliação ergonômica. Em muitos resultados, a precisão é suficiente para preencher corretamente as grades de avaliação ergonômica. No entanto, podem ocorrer grandes erros em casos específicos, especialmente quando o braço está alinhado com o sensor *Kinect®*. O posicionamento do sensor também pode levar a estimativas imprecisas. Um ponto forte deste estudo é a metodologia baseada em um manequim virtual, que permite estimar a precisão do sistema para várias posturas e posições do sensor. Contudo, os resultados reais com um sensor *Kinect®*, provavelmente, seriam menos precisos do que os relatados neste artigo. Do ponto de vista ergonômico, o uso correto de um Kinect permitiria analisar movimentos ao invés de posturas isoladas, fornecendo informações temporais adicionais.

41.Título: *Real Time Ergonomic Assessment for Assembly Operations Using Kinect.* (Avaliação Ergonômica em Tempo Real para Operações de Montagem Usando *Kinect®*).

Publicação: *UKSim 15th International Conference on Computer Modelling and Simulation*, 2013.

Autores: HAGGAG, H., HOSSNY, M., NAHAVANDI, S., CREIGHTON, D.

Introdução: Operadores de fábrica realizam tarefas que podem resultar ou exacerbar distúrbios musculares. O impacto direto no bem-estar e na produtividade tem levado empresas a buscarem ambientes de trabalho mais seguros e práticas robustas de segurança para os trabalhadores. Estatísticas australianas indicam que, no período de 2009-2010, uma porcentagem significativa da força de trabalho sofreu lesões relacionadas ao trabalho, com maior incidência em trabalhadores manuais e lesões mais comuns relacionadas a distensões musculares e condições crônicas de articulações e músculos. Isso evidencia a importância das avaliações ergonômicas, especialmente em pequenas e médias empresas, onde o acesso ao conhecimento ergonômico é limitado. Uma variedade de sistemas de rastreamento de movimento está disponível para estudar biomecânica e ergonomia. A pesquisa visa utilizar o *Microsoft Kinect®* para avaliações ergonômicas em tempo real em operações de montagem devido à sua precisão, portabilidade e baixo custo.

Conclusão: O sensor *Microsoft Kinect®* é um dispositivo de rastreamento de movimento 3D simples, portátil e pequeno. Sua capacidade de captura de movimento o torna adequado para detectar o risco de lesão e registrar postura no local de trabalho. A pesquisa aplicou o método de avaliação RULA usando o *Kinect®*, mostrando seu valor prático em avaliações ergonômicas. O sensor Kinect proposto também suporta a avaliação de ergonomia durante o design do produto e treinamento de montagem virtual. A extensão desse trabalho para a Avaliação Rápida de Todo o Corpo (REBA) apresenta desafios devido à oclusão de partes do corpo em certos movimentos.

42.Título: *Using Kinect® Sensor in Observational Methods for Assessing Postures at Work* (Usando o Sensor *Kinect®* em Métodos Observacionais para Avaliação de Posturas no Trabalho).

Publicação: *Applied Ergonomics*, 2014.

Autores: DIEGO-MAS, J.A., ALCAIDE-MARZAL, J.

Introdução: Os sensores de baixo custo, como o *Kinect®* da *Microsoft®* ou o *ASUS Xtion®* podem ser usados como sistemas de captura de movimento 3D, representando uma alternativa aos dispositivos mais caros. O *Kinect®* foi

desenvolvido inicialmente para jogos de entretenimento. Esse sistema pode determinar a distância dos objetos no ambiente e fornecer informações sobre a posição das articulações dos usuários reconhecidos em tempo real. Neste artigo, os autores buscam analisar se esses dispositivos podem auxiliar avaliadores que utilizam técnicas observacionais para avaliação ergonômica no trabalho. Os métodos de avaliação da exposição a fatores de risco para distúrbios musculoesqueléticos relacionados ao trabalho podem ser classificados de acordo com a precisão da coleta de dados e o quão interventivo é a técnica de medição. Embora métodos diretos sejam preferidos por pesquisadores, não são adequados para uso em situações de trabalho reais.

Conclusão: A análise sugere que sensores de baixo custo podem ser ferramentas úteis para coletar dados em métodos observacionais para avaliação de posturas. Eles registram, automaticamente, posições corporais em alta frequência, fornecendo estimativas precisas e confiáveis da frequência e duração da exposição ao risco. Comparado aos sistemas de câmera, eles têm vantagens, mas enfrentam desafios, como falta de precisão quando o sujeito rastreado não está de frente para o sensor. Atualmente, sensores de alcance podem ser usados para apoiar as tarefas dos ergonomistas, mas sua tecnologia ainda não está suficientemente desenvolvida para substituir a avaliação por um especialista humano.

43. Título: *Sistema de detección y clasificación de postura de ciclistas, Bikefit, mediante Kinect® V.2.* (Sistema de detecção e classificação de postura de ciclistas, *Bike Fit*, através do *Kinect® V.2* e redes neurais).

Publicação: Congresso Saúde e Bem-estar (2016) Equador.

Autores: ZUMBA, J.S.C., CASTILLO, F.D.S., CARRILLO, C.S.Z., CANDO, O.S.A.

Introdução: A evolução dos sistemas computacionais voltados para a análise de desempenho de atletas de alto rendimento tem se tornado mais detalhada e precisa. No entanto, devido aos custos elevados, esses sistemas são muitas vezes restritos a atletas elite, excluindo o segmento amador, que é considerável. Especificamente no ciclismo, a necessidade de desenvolver um sistema de fácil utilização e de baixo custo visa atingir um público mais amplo, incluindo amadores e profissionais. O objetivo é corrigir a postura durante a prática do esporte, uma vez que uma má postura pode anular os benefícios de uma boa bicicleta, bem como as horas de treinamento, além de aumentar o risco de lesões.

Conclusão: Através da tecnologia *Kinect*® do Xbox®, é possível identificar as articulações do corpo e esboçar uma representação aproximada do esqueleto do indivíduo. Este sistema, ao ser não invasivo, se estabelece como um ponto de partida para o desenvolvimento de avaliações em tempo real. Uma vez identificadas as articulações, o sistema calcula o ângulo formado entre os membros envolvidos. Esses dados são então processados por uma rede neural que classifica a postura em: "Boa", "Regular", "Ruim" e "Muito ruim".

Manter uma postura adequada ao andar de bicicleta é crucial para otimizar o desempenho e prevenir lesões e desgastes corporais. O desenvolvimento de um sistema de avaliação de postura de baixo custo pode democratizar o acesso a esta ferramenta para ciclistas amadores e entusiastas. Para a efetiva implementação deste sistema, é essencial ter conhecimento básico sobre anatomia e biomecânica do corpo, bem como sobre os componentes de uma bicicleta. Embora a tecnologia *Kinect*® apresente algumas limitações na detecção do esqueleto em 3D, trabalhos futuros podem abordar correções de *software* para aumentar a precisão da coleta de dados. Além disso, estudos subsequentes poderiam expandir a análise para diferentes categorias de ciclismo, considerando tanto o conforto quanto técnicas profissionais.

44. Título: Processo de análise ergonômica antropométrica virtual utilizando o modelo humano digital HERIP em estação de trabalho.

Publicação: Educação Gráfica, 2019.

Autores: BENDLER, C.F., TEIXEIRA, F.G., SANTOS, S.L., PIZZATO, G.Z.A.

Introdução: O avanço da modelagem e simulação 3D tem revolucionado o campo do design virtual, permitindo não só a criação, mas também testes detalhados de soluções de design. Uma ferramenta chave neste contexto são os modelos humanos digitais (MHD), que oferecem análises ergonômicas virtuais, aproveitando parâmetros antropométricos dinâmicos. Estes parâmetros, que estão relacionados às dimensões e proporções do corpo humano, são vitais para melhorar a qualidade e adequação dos produtos de consumo. Apesar disso, há uma falta de informação sobre parâmetros antropométricos dinâmicos na literatura. A análise ergonômica em ambiente virtual torna-se essencial, pois pode obter esses parâmetros dinâmicos usando MHDs.

Conclusão: O HERIP, um MHD desenvolvido por Brendler (2017), oferece uma solução para esta lacuna. Esta ferramenta permite a parametrização completa do corpo humano, simula análises ergonômicas baseadas em posturas reais do corpo, e

fornece feedback visual sobre postura ergonômica. O *software* é gratuito, de código aberto, e trabalha em conjunto com o *software* Blender. Este artigo detalha a aplicação do HERIP em uma estação de trabalho para demonstrar suas funcionalidades e vantagens. O HERIP é um avanço significativo para o campo do design virtual. Facilita a análise ergonômica em ambiente virtual, tornando fácil a aplicação de parâmetros antropométricos estáticos e dinâmicos. Suas características visuais, como cores que indicam posturas confortáveis e não confortáveis, aprimoram a análise e o *design*. O trabalho de Brendler (2017) no desenvolvimento do HERIP é um passo eficaz em direção a produtos 3D mais ergonômicos, assegurando que sejam criados levando em consideração o conforto e a segurança do usuário.

APÊNDICE B - SEGUNDO FILTRO DE LEITURA

1. Avaliação ergonômica com *Kinect*®: análise de operações de montagem

Dentro do processo sistemático de revisão adotado, o artigo em destaque, identificado como o 39º na sequência de seleção do segundo filtro, apresenta particularidades relevantes que o tornam digno de uma análise detalhada. A seguir, será apresentada uma síntese deste artigo, expondo seus principais pontos e contribuições no contexto da avaliação ergonômica em operações de montagem através do uso do *Kinect*®.

Título: *Real Time Ergonomic Assessment for Assembly Operations Using Kinect*. (Avaliação Ergonômica em Tempo Real para Operações de Montagem Usando *Kinect*®)

Autores: H. Hagga, M. Hossny, S. Nahavandi, D. Creighton. Universidade Deakin, Austrália.

Resumo: Este estudo foca no uso do sensor *Kinect*® para avaliações ergonômicas em tempo real. O *Kinect*®, originalmente introduzido para o console de jogos Xbox 360, oferece um sistema de captura de movimento de baixo custo e portátil. É eficiente para rastrear coordenadas 3D em movimento com precisão comparável aos sistemas comerciais avançados. O artigo explora o uso do *Kinect*® para avaliação rápida do membro superior (RULA) em ambientes industriais. Além disso, apresenta uma estrutura para integrar diferentes tecnologias de captura de movimento e métodos de avaliação (HAGGAG *et al.*, 2013).

Introdução: Operadores de fábrica realizam tarefas que podem levar a distúrbios musculares. Devido ao impacto desses distúrbios no bem-estar e na produtividade, as empresas estão em busca de práticas mais seguras. Estatísticas australianas revelam que, em um período de 12 meses (2009-2010), 5,3% da força de trabalho sofreu uma lesão relacionada ao trabalho. Ergonomia é crucial, especialmente para pequenas e médias empresas. Enquanto alguns sistemas de rastreamento de movimento são complexos e caros, o *Kinect®* se destaca por sua portabilidade, baixo custo e calibração automática rápida (HAGGAG *et al.*, 2013).

Revisão da Literatura: O *Kinect®* foi lançado em 2010 para permitir que jogadores interagissem sem um controle. Utiliza uma tecnologia que estima a profundidade do espaço em frente à câmera. Já foi usado em várias aplicações, desde tradução de língua de sinais, até estudos de interação em multidões. Sua precisão é comparável a sistemas de captura de movimento 3D caros (HAGGAG *et al.*, 2013).

Estimativa de postura: Um *framework* combinando o sensor *Kinect®* com o método RULA e o kit de desenvolvimento de *software* da *Microsoft®* oferece um sistema de análise de movimento 3D. O RULA é um método de avaliação que ajuda a reduzir a probabilidade de lesões no membro superior (HAGGAG *et al.*, 2013).

Discussão: Foram identificados três desafios principais: determinação do tamanho do *voxel*, oclusões articulares ao usar o *Kinect®* e falta de suporte para rastreamento de mãos (HAGGAG *et al.*, 2013).

Conclusões do artigo e trabalhos futuros: O sensor *Kinect®* é uma ferramenta eficaz para detecção de riscos de lesão e registro de postura no local de trabalho. Este estudo mostrou seu valor prático em avaliações ergonômicas. No futuro, a extensão deste trabalho para a Avaliação Rápida do Corpo Inteiro (REBA) representa um desafio interessante (HAGGAG *et al.*, 2013).

Análises Críticas e Comparativas: O artigo "Avaliação Ergonômica em Tempo Real para Operações de Montagem Usando *Kinect®*" foca na ergonomia industrial, com especial atenção à prevenção de distúrbios musculoesqueléticos. Esta abordagem ressoa nesta pesquisa, que também valoriza a ergonomia, mas explora a avaliação dos movimentos sob uma perspectiva diferenciada.

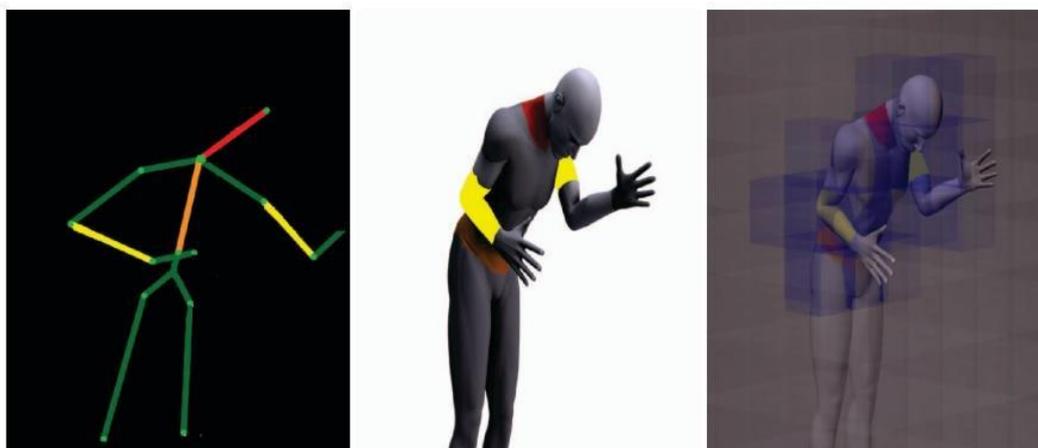
As similaridades entre o artigo e a pesquisa de doutorado se manifestam na ênfase colocada na ergonomia, especialmente na prevenção de distúrbios musculoesqueléticos. Um aspecto comum nas duas abordagens é a utilização de representações cromáticas para quantificar e qualificar os movimentos.

No entanto, existem divergências metodológicas significativas. O artigo adota o método RULA (*Rapid Upper Limb Assessment*) para avaliação de movimentos, enquanto a pesquisa de doutorado emprega uma técnica que combina goniometria e cinesiologia, proporcionando um entendimento mais aprofundado dos movimentos e suas possíveis distorções. O artigo, datado de 2013, não aborda o uso simultâneo de múltiplos sensores *Kinect*® para superar problemas de obstrução, uma lacuna que poderia ter sido explorada com as tecnologias contemporâneas.

Um ponto notável no artigo é a introdução do conceito de Voxel, que esclarece o funcionamento do *Kinect*® V.1. No entanto, a pesquisa não menciona o desenvolvimento de um *software* específico e independente do SDK da *Microsoft*®, deixando algumas questões operacionais em aberto. A Figura 63 do artigo ilustra um Modelo Humano Digital com indicadores de conforto, mas não detalha plenamente seu funcionamento.

Concluindo, a análise crítica evidencia que, apesar das similaridades temáticas, as diferenças metodológicas entre o artigo e a pesquisa de doutorado são notáveis. Essas divergências, especialmente no que tange à avaliação dos movimentos, destacam a singularidade e a importância da abordagem da pesquisa de doutorado, que utiliza goniometria e cinesiologia, oferecendo um método alternativo e potencialmente mais abrangente para a avaliação ergonômica em ambientes industriais, em contraste com o método RULA utilizado no artigo.

Figura 215: Métodos de pontuação RULA: análise de ângulos e representação Voxel em manequim virtual.



Fonte: HAGGAG *et al.*, 2013.

2. Avaliação ergonômica com HTC VIVE: comparação de sistemas de rastreamento para análise de movimento.

Dentro do método de revisão sistemática adotado, o artigo em destaque foi identificado como o décimo segundo na sequência de seleção, originário da segunda fase de filtragem. Neste artigo foi feito um estudo que investiga o uso do sistema HTC Vive para avaliações ergonômicas, em comparação com sistemas de rastreamento baseados em marcadores. A análise deste artigo é particularmente relevante devido à crescente importância das tecnologias de realidade virtual no campo da ergonomia. Em muitos países desenvolvidos, sistemas como o HTC Vive são vistos como soluções de baixo custo, oferecendo uma alternativa mais acessível em relação aos tradicionais sistemas de rastreamento com marcadores. No entanto, no contexto brasileiro, a situação é contrastante. Equipamentos como o HTC Vive, embora sejam classificados como "baixo custo" pelo o artigo, ainda representam um investimento considerável localmente. Portanto, torna-se crucial avaliar a eficiência e precisão desses sistemas em contextos ergonômicos, principalmente quando contrastados com os métodos tradicionais de análise de movimento. A seguir, detalharemos o artigo em sua íntegra, dividido por seus tópicos fundamentais, permitindo uma compreensão profunda de sua metodologia, abordagem e conclusões.

Título: *An Evaluation of Motion Trackers with Virtual Reality Sensor Technology in Comparison to a Marker-Based Motion Capture System Based on Joint Angles for Ergonomic Risk Assessment.* (Avaliação de Rastreadores de Movimento com Tecnologia de Sensor de Realidade Virtual em Comparação a um Sistema de Captura de Movimento Baseado em Marcadores com Base em Ângulos Articulares para Avaliação de Risco Ergonômico).

Autores: VOX, J.P., WEBER, A., WOLF, K.I., IZDEBSKI, K., SCHÜLER, T., KÖNIG, P., WALLHOFF, F., FRIEMERT, D.

Resumo: A simulação e representação de ambientes de trabalho, juntamente com a análise de posturas adotadas durante as atividades laborais, são pilares fundamentais nas avaliações de risco ergonômico. Neste estudo, Vox *et al.* (2021) realizaram uma comparação entre um sistema de rastreamento baseado em sensores de realidade virtual (*HTC Vive tracker*) aliado a um modelo de cinemática inversa (*Final IK*) e um sistema óptico de captura de movimento fundamentado em marcadores (*Qualisys*). Ao empregar o sistema de realidade virtual, foram detectados

desvios angulares que variam entre $\pm 6^\circ$ e $\pm 42^\circ$, sinalizando a importância de levar em conta tais variações nas avaliações ergonômicas. O estudo conclui que, embora sistemas de rastreamento de baixo custo apresentem potencial, eles também revelam imprecisões em determinadas áreas corporais (VOX *et al.*, 2021).

Introdução: A importância da ergonomia em locais de trabalho é fundamental para reduzir transtornos musculoesqueléticos relacionados ao trabalho causados por posturas forçadas. Uma abordagem comum para avaliação ergonômica envolve observar o empregado, realizando movimentos específicos em seu local de trabalho, cujas posturas e amplitude de movimento são incorporadas em uma avaliação de risco com base em ângulos de articulações específicos, como o *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA). *Mock-ups* virtuais estão se tornando uma ferramenta valiosa neste campo, permitindo adaptações rápidas e eficientes da ergonomia de um local de trabalho. A realidade virtual (VR) também apresenta possibilidades promissoras em avaliações ergonômicas. Neste contexto, VOX *et al.* (2021) analisaram o sistema HTC Vive em combinação com o modelo cinemático inverso, Final IK, comparando-o com o sistema padrão-ouro baseado em marcadores, *Qualisys*. O estudo focou em avaliar a precisão dos ângulos articulares calculados por esse sistema VR em comparação com o sistema padrão-ouro e como o número de rastreadores Vive afetam essa precisão. O estudo envolveu 26 sujeitos realizando movimentos dinâmicos, cujos dados foram registrados simultaneamente pelos sistemas *Vive* e *Qualisys*. As descobertas deste estudo fornecem insights valiosos sobre a aplicabilidade da tecnologia VR em avaliações ergonômicas (VOX *et al.*, 2021).

Relato de experiência com o sistema Vive: O sistema Vive, amplamente utilizado em aplicações de realidade virtual, passou por diversas avaliações científicas para determinar sua precisão no rastreamento de movimentos espaciais. Estas avaliações foram feitas tanto em cenários estáticos quanto dinâmicos.

Em cenários estáticos, um estudo interessante envolveu a colocação do Dispositivo de Visualização do Vive em linhas de grade, a fim de verificar sua precisão. O erro encontrado foi incrivelmente baixo, com um Erro Quadrático Médio de apenas 0,08 mm para posicionamento e $0,011^\circ$ para orientação. No entanto, foi observada a perda ocasional de rastreamento, um problema que levou os pesquisadores a sugerirem opções de recalibração.

Outras investigações, enquanto variavam na metodologia, frequentemente confirmavam a precisão do Vive. Por exemplo, ao usar uma câmera *PhaseSpace*

como referência, descobriu-se que a distância média entre a posição real e a medida era inferior a 1 cm. Em comparação com sistemas mais avançados, como o *Vicon*, o *Vive* mostrou diferenças quase imperceptíveis em simulações de movimento.

Em cenários mais dinâmicos, o sistema *Vive* foi testado para sua capacidade de rastrear movimentos da cabeça com precisão. A concordância entre os dados do *Vive* e os de sistemas de referência, como o *Qualisys*, foi geralmente excelente, embora movimentos específicos, como o movimento de "guinada" da cabeça, mostrassem uma concordância um pouco mais fraca.

Entretanto, é crucial observar que o desempenho dos óculos de realidade virtual *Vive* não depende apenas do rastreamento espacial. Quando usado para capturar dados cinemáticos em seres humanos, podem surgir erros adicionais devido ao deslizamento do sensor ou à oclusão. Além disso, ao medir ângulos articulares com o *Vive*, a precisão depende tanto do rastreamento do sensor quanto da capacidade de processamento do computador (VOX *et al.*, 2021).

Configuração experimental e aquisição de dados em realidade virtual:

Este estudo envolveu 26 adultos jovens e saudáveis (16 homens e 10 mulheres) com idades entre 21 e 27 anos. Todos os participantes tinham visão normal ou corrigida e não apresentavam problemas neurológicos ou musculoesqueléticos. No entanto, dos 26 participantes, seis foram excluídos devido a problemas nos dados coletados, resultando em 20 participantes válidos para análise.

Para a coleta de dados, os participantes foram equipados com um dispositivo de realidade virtual HTC *Vive Pro*, seis rastreadores *Vive* em várias partes do corpo e um controle *Vive* em cada mão. O sistema utilizado se baseia na tecnologia "*Lighthouse*", que usa medições à distância baseadas em lasers infravermelhos e trigonometria. Foram usadas quatro estações base para evitar erros de rastreamento. O ambiente virtual foi criado com a *engine* de jogos *Unity*, e o corpo do participante foi visualizado no VR como um avatar. O tamanho e a aparência deste avatar foram ajustados de acordo com os dados antropométricos de cada participante.

Os dados cinemáticos dos movimentos dos participantes foram gravados em cinco configurações diferentes de rastreamento. Um sistema de captura de movimento com base em marcadores foi usado como sistema de referência padrão para comparar a precisão dos dados coletados.

Finalmente, os participantes realizaram 20 movimentos específicos enquanto eram observados, simultaneamente, pelos dois sistemas de rastreamento. Para

garantir a sincronização entre os sistemas, os participantes realizaram um movimento específico de sincronização no início. Cada um dos 20 movimentos foi repetido três vezes pelos participantes.

O objetivo principal do estudo foi examinar e comparar os dados de movimento coletados pelo sistema HTC Vive e pelo sistema de referência padrão para determinar a precisão do primeiro (VOX *et al.*, 2021).

Processamento de dados: Ambos os sistemas fornecem dados cinemáticos de 16 articulações. Para assegurar que os dados originados de cada sistema estivessem sincronizados e pudessem ser comparados, foi necessário realizar vários procedimentos. Esses incluíram a mudança da origem dos dados para o centro do quadril, a derivação dos ângulos das articulações em relação a planos corporais, reamostragem, filtragem, interpolação, e correções tanto de deslocamentos quanto de interrupções temporais. Além disso, para garantir a precisão, foi feito um ajuste temporal, e a segmentação e anotação dos dados foram baseadas em um vídeo gravado, simultaneamente. Toda essa análise foi conduzida utilizando a linguagem de programação *Python*, na sua versão 3.7.4, apoiado por bibliotecas como *numpy*, *scipy*, *pandas*, *matplotlib* e *seaborn*.

Crerios de precisão na avaliação de mobilidade com diferentes configurações de rastreadores: O estudo aborda a precisão de diferentes configurações de rastreadores em avaliar a mobilidade de várias partes do corpo humano. Em relação à flexão da pélvis, todas as configurações de rastreadores mostraram precisão inadequada, com frequentes erros nos gráficos de Bland-Altman. Ao avaliar a elevação do ombro, foi observada uma correlação substancial entre os sistemas *Qualisys* e *Vive*. No entanto, a precisão geral foi considerada média, com um limite de acordo (LoA) de cerca de 22°. As medições do cotovelo, tanto em flexão quanto em azimute, foram consideradas insuficientes em relação ao índice de proporção, para todas as configurações de rastreador. No que diz respeito ao quadril e joelhos, a precisão foi classificada como baixa, principalmente para ângulos do quadril e do joelho, apesar de algumas configurações de rastreador mostrarem uma correlação moderada a substancial. Notavelmente, o estudo sugere que o Dispositivo de Montagem na Cabeça (HMD) pode ser rastreado com maior precisão em condições visuais ideais, sem oclusões. Esta alta precisão com o HMD pode ser atribuída ao fato de possuir um número superior de sensores de posição em comparação com outros rastreadores (VOX *et al.*, 2021).

Análises Críticas e Comparativas: O artigo analisado compara três sistemas de rastreamento de movimentos: o HTC VIVE com o *Final IK*, o *Qualisys* e uma configuração alternativa do VIVE. Esta comparação se concentra em avaliar a precisão de cada sistema, com um interesse particular em determinar qual oferece a maior exatidão nos movimentos corporais. Os resultados indicam que, embora o VIVE e o *Final IK* sejam ferramentas úteis, eles não atingem a mesma precisão que o *Qualisys*, especialmente em movimentos específicos como os do cotovelo e da pélvis. Contrastando essas descobertas com a pesquisa atual que utiliza o Kinect® V.1 da Microsoft, observa-se uma relevância significativa para a investigação sobre a precisão na captura de movimentos. A presente pesquisa, que emprega o Kinect® V.1 no software ErgoMotion, busca explorar e verificar a exatidão deste dispositivo em contextos ergonômicos. A constatação de limitações nos sistemas analisados no artigo, como o VIVE e o *Final IK*, destaca a importância de avaliar meticulosamente a confiabilidade do Kinect® V.1 em pesquisas futuras, especialmente considerando a realidade econômica brasileira que impulsionou a escolha de um equipamento mais acessível.

Enquanto o artigo não propõe um método específico de análise ergonômica, ele ilumina o caminho para entender melhor o estado da arte em sistemas de captura de movimento e suas implicações para a pesquisa ergonômica. A análise crítica deste estudo, portanto, ressalta a necessidade de um equilíbrio entre custo, acessibilidade e precisão na escolha de tecnologias para captura de movimento, um equilíbrio que é fundamental no desenvolvimento do ErgoMotion e outras pesquisas similares na área.

3. Desenvolvimento e aplicações do software *Anybody* para análise ergonômica dinâmica

A dinâmica do movimento, muitas vezes negligenciada, pode ser determinante para as tensões e forças internas experimentadas pelo corpo humano. Neste contexto, o software *AnyBody* surge como uma ferramenta inovadora, que busca integrar a dinâmica do movimento nas análises ergonômicas. A pesquisa conduzida por Wagner, Reed e Rasmussen destaca essa evolução e tenta superar os desafios existentes, visando uma ergonomia mais completa e proativa. Ao utilizar o Sistema de Modelagem *AnyBody* em conjunto com dados do Laboratório de Simulação de Movimento Humano da Universidade de Michigan, este estudo visa não só enfatizar

a importância da análise dinâmica, mas também avaliar a sua viabilidade em aplicações comerciais do setor ergonômico.

Título: *Assessing the Importance of Motion Dynamics for Ergonomic Analysis of Manual Materials Handling Tasks using the AnyBody Modeling System.*

Autores: WAGNER, D.W., REED, M.P. (University of Michigan) RASMUSSEN, J. (Aalborg University).

Resumo: O estudo destaca a relevância dos modelos humanos digitais (MHDs) na avaliação ergonômica de tarefas manuais, especificamente na diferença entre análises estáticas e dinâmicas. Enquanto a maioria das avaliações ergonômicas atuais enfoca análises estáticas, a dinâmica do movimento pode ter um impacto significativo nas forças internas do corpo e nas tensões dos tecidos. A incorporação de dinâmicas em análises ergonômicas ainda é limitada devido à complexidade e aos custos associados.

O artigo também evidencia a importância da ergonomia proativa para reduzir lesões relacionadas ao trabalho e discute as barreiras à implementação de análises dinâmicas, incluindo a aquisição e processamento de dados de captura de movimento. *Softwares* de modelagem mais recentes, como o *AnyBody*, começaram a introduzir a capacidade de análise dinâmica, embora ainda existam desafios, como a falta de critérios de otimização generalizados para prever forças musculares.

O objetivo principal do estudo é avaliar a viabilidade e os requisitos para incorporar análises dinâmicas em ferramentas de análise ergonômica disponíveis comercialmente. Para isso, foi analisada uma tarefa de levantamento tridimensional usando o sistema de modelagem humana *AnyBody* e dados de captura de movimento do Laboratório de Simulação de Movimento Humano da Universidade de Michigan.

Métodos: Os dados de movimento humano analisados foram coletados no laboratório de Simulação de Movimento Humano (HUMOSIM) da Universidade de Michigan, como parte de um estudo mais amplo (WAGNER *et al.*, 2006). Os participantes movimentaram caixas e objetos cilíndricos de diferentes pesos entre pontos de coleta e entrega, enquanto seus movimentos corporais eram registrados. Os dados apresentados aqui referem-se a um ensaio com um participante masculino que levantou uma carga de 4,54 kg de uma prateleira com altura de 0,967 m. O participante tinha 23 anos, 1,824 m de altura, pesava 84,55 kg e tinha um IMC de 25,11 kg/m².

Foi utilizado um sistema óptico de rastreamento de movimento *Qualisys Pro reflex 240-MCU* com seis câmeras para capturar dados cinemáticos a 50 Hz. Interruptores nos pés do participante registraram os tempos de contato com o solo do calcanhar e dos dedos. Duas placas de força AMTI na área de coleta registraram as forças de reação do solo. Sensores de pressão em cada prateleira foram usados para determinar os tempos de pegada e entrega da carga. Todos os sinais analógicos foram mostrados a 500 Hz. As massas dos segmentos corporais foram calculadas utilizando métodos semelhantes aos de Pataky *et al.* (2003).

Sistema de modelagem *Anybody*: O Sistema de Modelagem *AnyBody* é um *software* projetado para criar modelos detalhados do sistema musculoesquelético, operando com base em dinâmica inversa. Ele simula a força em cada músculo e as reações em todas as articulações para movimentos e cargas prescritas. No sistema, o usuário define o modelo do problema, chamado de aplicação. Existe um repositório de modelos do corpo humano, evitando a necessidade de refazer a anatomia a cada aplicação. O modelo atual tem cerca de 500 músculos e uma versão alternativa que calcula momentos nas articulações em vez de forças musculares.

Desenvolvimento do modelo *Anybody*: O modelo atual foi baseado em uma aplicação padrão e possui 42 graus de liberdade, sendo impulsionado por combinações de restrições. Para o experimento, as posições das articulações e marcos de superfície foram derivadas de dados de marcadores ópticos. Estas posições, juntamente com os ângulos das articulações, foram usadas para direcionar o modelo.

Reações do modelo: As forças foram registradas usando duas placas de força, modeladas como forças resultantes aplicadas aos pés. O ponto de aplicação da força foi definido pelo Centro de Pressão (COP). O modelo é capaz de trocar forças com o ambiente, e a acurácia destas medições é vital para o equilíbrio do modelo. No presente caso, a condição de fronteira foi aplicada na pelve.

Simulação: As análises de levantamento foram apresentadas em um intervalo de 4 segundos. Durante esse tempo, foram dados seis passos. A simulação foi realizada no ambiente *AnyBody*, estendendo o tempo da tarefa para reduzir acelerações. Foram calculadas dinâmicas inversas para casos dinâmicos e quase estáticos.

Resultados: Durante a coleta de carga, as extremidades inferiores do participante estavam em uma postura dividida. Os momentos no L5-Sacrum são

apresentados, com a simulação quase estática subestimando os momentos da simulação dinâmica. As forças de compressão e cisalhamento também foram avaliadas, com a análise estática subestimando as forças dinâmicas.

Discussão: O artigo discute a subestimação das tensões internas do corpo ao usar análises quase-estáticas em vez de dinâmicas para avaliar tarefas de levantamento em pé não estacionárias. Foi observado que a análise dinâmica, que inclui efeitos inerciais, fornece estimativas mais precisas. A análise mostrou uma subestimação significativa das forças e momentos quando comparada com a análise estática. O estudo também destaca as limitações e complexidades associadas ao uso do sistema *AnyBody*, uma ferramenta de modelagem. Embora o sistema *AnyBody* tenha vantagens, como a capacidade de incorporar dinâmica na análise, sua configuração é complexa e exige uma habilidade significativa por parte do usuário. As futuras atualizações do sistema visam abordar essas questões, simplificando a interface do usuário e melhorando a validação do modelo. A pesquisa conclui que, com avanços na tecnologia, a análise dinâmica se tornará mais viável para avaliar tarefas em que o movimento do corpo sugere efeitos dinâmicos significativos.

Análise crítica e comparativa: O *AnyBody*, desenvolvido por renomadas universidades, certamente se estabelece como uma das ferramentas líderes no mercado. Sua precisão, detalhamento e capacidade de análise são inquestionáveis. Contudo, possui barreiras de acesso para falantes nativos de língua portuguesa, visto que não disponibiliza interface ou suporte neste idioma. Ademais, sua curva de aprendizado é notadamente íngreme, exigindo dos usuários um nível avançado de habilidade técnica para extrair o máximo de suas capacidades.

Por outro lado, o ErgoMotion se destaca por sua abordagem mais intuitiva e *user-friendly*. O princípio "menos é mais" é claramente incorporado em seu design e funcionalidade. Ao contrário do *AnyBody*, o ErgoMotion não sobrecarrega o usuário com complexidades desnecessárias, tornando-se mais acessível para um público diversificado, incluindo aqueles sem uma formação técnica profunda. A inclusão da língua portuguesa como uma das linguagens de interface amplia ainda mais sua abrangência no mercado lusófono.

4. Análises com BoB – *Biomechanics* e suas aplicações.

O BoB (*Biomechanics of Bodies*) é um pacote desenvolvido, especificamente, para MATLAB (trata-se de um *software* interativo de alta performance voltado para o cálculo numérico e desenvolvimento de simulações 3D), que busca facilitar análises de dinâmica inversa e otimização para a distribuição de força muscular, centralizando-se em um ambiente já conhecido por muitos profissionais. Com capacidades avançadas de análise biomecânica e a flexibilidade de interpretar dados de diferentes sistemas de captura de movimento, o BoB se apresenta como um aliado fundamental para aqueles que desejam aprofundar-se na compreensão dos movimentos humanos, seja no campo dos esportes ou das ciências da saúde.

Título: BoB – *Biomechanics in MATLAB*

Autores: James Shippen e Barbara May (2016).

Descrição: A biomecânica está se consolidando como disciplina, com análises numéricas de dados cinemáticos e cinéticos sendo amplamente adotadas em instituições acadêmicas e organizações comerciais. Muitos engenheiros e cientistas já utilizam o MATLAB devido à sua versatilidade. O *paper* apresenta o BoB (*Biomechanics of Bodies*), um pacote de análise biomecânica desenvolvido em MATLAB, que realiza análises de dinâmica inversa e otimização para distribuição de força muscular.

Métodos: O BoB conduz análises de dinâmica inversa para calcular torques nas articulações e utiliza uma abordagem de otimização para distribuir cargas nos músculos correspondentes. Ele contém um modelo com aproximadamente 600 unidades musculares e utiliza algoritmos internos do MATLAB para otimização. O BoB é capaz de ler dados de captura de movimento de sistemas como Vicon, *Qualisys*, *CodaMotion* e *Xsens*. Como aplicação prática, foi analisado o carregamento na região lombar de horticultores durante a poda de sebes.

Resultados: Com base nos movimentos e forças externas medidos dos sujeitos, o BoB calculou os torques em cada uma das principais articulações e a distribuição da carga muscular. Foi observada uma diferença significativa nas forças de contato nas articulações entre horticultores profissionais e amadores.

Conclusões: O BoB, desenvolvido no ambiente MATLAB, oferece capacidades avançadas de análise biomecânica. Ele é versátil, aceitando dados de

diversos sistemas de captura de movimento e pode ser usado em diversas áreas, desde esportes até ciências da saúde. Em sua aplicação específica, o BoB demonstrou que horticultores profissionais adotam posturas que resultam em menores forças de contato nas articulações.

Análise Crítica e Comparativa: O BoB (*Biomechanics of Bodies*) é uma ferramenta de análise biomecânica fundamentada na robustez do MATLAB, uma plataforma já amplamente aceita e utilizada por engenheiros e cientistas. A força do BoB reside em sua capacidade de realizar análises de dinâmica inversa, otimizando métodos para solucionar a distribuição da força muscular e fornecer saídas gráficas sofisticadas. Além disso, sua compatibilidade com formatos de arquivo padrão da indústria, como C3D e MVNX, torna-o uma escolha viável para muitos profissionais da área. No entanto, assim como muitos pacotes MATLAB, pode haver uma curva de aprendizado associada à sua utilização, e sua acessibilidade em termos de linguagem e suporte pode não ser tão expansiva quanto outras ferramentas.

Por sua vez, o ErgoMotion se consolida como uma ferramenta mais intuitiva, priorizando a facilidade de uso e acessibilidade em língua portuguesa. Ao contrário do BoB, que se torna complexo ao adotar a linguagem MATLAB, o ErgoMotion opta por simplificar o processo para o usuário utilizando a linguagem do universo dos games.