



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

Clariana Fischer Brendler

**MODELO HUMANO DIGITAL PARAMÉTRICO PARA ANÁLISE ERGONÔMICA
VIRTUAL NO PROJETO DE PRODUTO**

Tese de Doutorado

Porto Alegre

2017

CLARIANA FISCHER BRENDLER

Modelo Humano Digital Paramétrico para análise ergonômica virtual no projeto de produto

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
Coorientador: Prof^a. Dr^a. Gabriela Zubaran
de Azevedo Pizzato

Porto Alegre

2017

CIP - Catalogação na Publicação

Brendler, Clariana Fischer

Modelo Humano Digital Paramétrico para análise ergonômica virtual no projeto de produto / Clariana Fischer Brendler. -- 2017.

335 f.

Orientador: Fábio Gonçalves Teixeira.

Coorientador: Gabriela Zubaran de Azevedo Pizzato.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, BR-RS, 2017.

1. Desenvolvimento de projeto de produto. 2. Requisitos ergonômicos. 3. Análise ergonômica. 4. Parâmetros antropométricos dinâmicos. 5. Modelo Humano Digital Paramétrico. I. Teixeira, Fábio Gonçalves, orient. II. Pizzato, Gabriela Zubaran de Azevedo, coorient. III. Título.

BRENDLER, C. F. Modelo Humano Digital Paramétrico para análise ergonômica virtual no projeto de produto. 2017. 335 f. Tese (Doutorado em Design) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

Clariana Fischer Brendler

MODELO HUMANO DIGITAL PARAMÉTRICO PARA ANÁLISE ERGONÔMICA VIRTUAL NO PROJETO DE PRODUTO

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, 06 de abril de dois mil e dezessete.

Prof. Dr. Régio Pierre da Silva

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS

Banca Examinadora:

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

Departamento de Design e Expressão Gráfica - DEG/UFRGS

Prof. Dr. Eliane Fátima Manfio

Universidade Feevale – Examinador Externo

Prof. Dr. Fernando Gonçalves Amaral

Departamento de Engenharia de Produção e Transportes - UFRGS – Examinador Externo

Prof. Dr. Régio Pierre da Silva

Departamento de Design e Expressão Gráfica - DEG/UFRGS – Examinador Interno

Prof. Dr. Tânia Luisa Koltermann da Silva

Departamento de Design e Expressão Gráfica - DEG/UFRGS – Examinador Interno

RESUMO

BRENDLER, C, F. **Modelo Humano Digital Paramétrico para análise ergonômica virtual no projeto de produto**. 2017. 335 f. Tese (Doutorado em Design) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

Os parâmetros antropométricos estáticos e dinâmicos são fundamentais para o desenvolvimento do projeto de produto, visto que a correta aplicação destes parâmetros proporciona conforto, segurança e eficácia para o usuário durante o uso do produto. Os parâmetros antropométricos estáticos podem ser obtidos por métodos diretos, indiretos e na literatura. Porém, faltam dados relacionados aos parâmetros antropométricos dinâmicos na literatura especializada e o levantamento destes parâmetros requer métodos mais complexos para sua obtenção. O objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo humano digital (MHD) Paramétrico e articulado que contenha os parâmetros antropométricos estáticos e os parâmetros relacionados ao movimento do corpo para ser utilizado na análise ergonômica virtual, de forma a obter os parâmetros antropométricos dinâmicos, durante o processo de projeto. A metodologia da pesquisa consiste em cinco etapas principais: investigação, intervenção, verificação, análise e interpretação dos dados, descrição e discussão dos resultados. A etapa de investigação contemplou a pesquisa bibliográfica, coleta e análise dos dados relacionados aos parâmetros antropométricos e a estruturação destes para serem utilizados como referência para o desenvolvimento do MHD. Na etapa de intervenção, foi iniciado o processo de desenvolvimento do MHD. Na etapa de verificação, foram realizadas análises ergonômicas em ambiente virtual, utilizando o MHD desenvolvido, e os dados foram comparados aos dados obtidos em análises ergonômicas físicas. Como resultados principais da pesquisa, o uso do MHD desenvolvido é bastante eficiente para auxiliar no desenvolvimento de projetos de produtos porque além de possibilitar a customização das variáveis antropométricas, reproduzir os movimentos o mais próximo do movimento do corpo humano, é viabilizada a identificação do conforto nas articulações por meio da mudança de cor nos *landmarks* (marcadores). Sendo

assim, o MHD auxilia o desenvolvimento de produtos, permite a obtenção dos parâmetros antropométricos dinâmicos e de projeto contribuindo para atender aos requisitos ergonômicos de usuário como conforto, segurança e eficácia. Esta pesquisa tem a aprovação do comitê de ética em pesquisa da UFRGS.

Palavras-chave: Desenvolvimento de projeto de produto, Requisitos ergonômicos, Análise ergonômica, Parâmetros antropométricos dinâmicos, Modelo Humano Digital Paramétrico, Simulação virtual.

ABSTRACT

BRENDLER, C, F. **Human Digital Model customizable virtual ergonomics analysis in product design**. 2017. 335 f. Tese (Doutorado em Design) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

Static and dynamic anthropometric parameters are fundamental for the development of the product design, since the correct application of these parameters provides comfort, safety and effectiveness for the user during the use of the product. Static anthropometric parameters can be obtained by direct, indirect and literature methods. However, there is a lack of data related to the dynamic anthropometric parameters in the specialized literature and the survey of these parameters requires more complex methods to obtain them. The objective of this work is to develop a Parametric and articulated digital human model (MHD) that contains the static anthropometric parameters and the parameters related to the body movement to be used in the virtual ergonomic analysis, in order to obtain the dynamic anthropometric parameters during the process of project. The research methodology consists of five main steps: investigation, intervention, verification, analysis and interpretation of data, description and discussion of results. The research stage involved the bibliographic research, collection and analysis of the data related to the anthropometric parameters and the structuring of these to be used as reference for the development of MHD. In the intervention stage, the development process of MHD was started. In the verification stage, ergonomic analyzes were performed in a virtual environment, using the developed MHD, and the data were compared to the data obtained in physical ergonomic analyzes. As the main results of the research, the use of the MHD developed is quite efficient to assist in the development of product designs because besides allowing the customization of the anthropometric variables, reproducing the movements as close to the movement of the human body, it is possible to identify the comfort in the joints by means of the change of color in the landmarks. Thus, the MHD helps the development of products, allows the achievement of dynamic anthropometric parameters and design contributing to meet ergonomic user

requirements such as comfort, safety and effectiveness. This research has been approved by the research ethics committee of UFRGS.

Keywords: Product design development, Ergonomic requirements, Ergonomic analysis, Dynamic anthropometric parameters, Parametric Digital Human Model, Virtual simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo <i>Boeman</i> desenvolvido pela <i>Boeing Corporation</i>	20
Figura 2 - Exemplo de customização do <i>software</i> RAMSIS	21
Figura 3 – Recorte da pesquisa no PDP	23
Figura 4 - Divisão dos assuntos da fundamentação teórica.	29
Figura 5 - Fases do projeto de produto.	32
Figura 6 - Fases de projeto.	33
Figura 7 – Requisitos de usuário / Requisitos de projeto.....	34
Figura 8 - Diferenças no perímetro craniano e na face entre as duas populações: os caucasianos e os chineses	37
Figura 9 - Variação dos parâmetros antropométricos para uma pessoa na posição sentada utilizando diferentes posições.	39
Figura 10 – Medidas antropométricas e angulares.....	40
Figura 11 - Etapas da análise ergonômica.....	41
Figura 12 – Análise ergonômica dos comandos de uma cabine de avião.	43
Figura 13 - Modelo humano matemático.	47
Figura 14 - Modelos Humanos bidimensionais representando o percentil 50% em escala reduzida.....	48
Figura 15 - Análise ergonômica em estação de trabalho para medir alcances.	48
Figura 16 - imagem de análise ergonômica de interior de automóvel.....	50
Figura 17 - Modelo paramétrico de Baek e lee (2012)	51
Figura 18 - Principais variáveis utilizadas para as medições antropométricas estáticas.	54
Figura 19 - Levantamento antropométrico pelo método de Brendler (2013).....	58
Figura 20 - Obtenção de moldes para desenvolvimento de projeto de produto.....	59
Figura 21 - Equipamento construído para medir o alcance das mãos na posição sentado. .	60
Figura 22 - Antropometria dinâmica. Registro nos planos frontal e sagital.	61
Figura 23 - Definição dos planos para registro dos movimentos corporais.....	61
Figura 24 - Antropometria dinâmica. Registro dos movimentos nos planos frontal, sagital e transversal na posição sentado.....	62
Figura 25 - Localização de alguns pontos anatômicos de referência.	64
Figura 26 - desenho do método de seleção dos artigos analisados.	66
Figura 27 - Método de seleção dos artigos analisados.	76
Figura 28 - Representação dos planos e eixos anatômicos	85
Figura 29 - Planos e eixos de movimento no plano sagital em torno do eixo látero-lateral (Flexão e Extensão).....	86
Figura 30 - Planos e eixos de movimento no plano frontal em torno do eixo ântero-posterior (Abdução e Adução).	87
Figura 31 - Movimento no plano horizontal ou transversal em torno do eixo longitudinal (Rotação).....	87
Figura 32 - Desenho da articulação plana ou deslizante; articulação em sela e articulação elipsóide	88
Figura 33 - Desenho da articulação em dobradiça	89

Figura 34 - Desenho da articulação em pivô	89
Figura 35 - Desenho da articulação condilar	90
Figura 36 - Desenho da articulação em bola-e-soquete	90
Figura 37 - coluna vertebral	92
Figura 38 - Etapas da metodologia da pesquisa.	103
Figura 39 - Desenho da etapa de investigação.	105
Figura 40 - Fases do processo de Intervenção.	108
Figura 41- Verificação da funcionalidade do MHD.	114
Figura 42 - Estação de trabalho	115
Figura 43 - Simulador veicular de autoescola	116
Figura 44 - Aplicação do MHD no processo de análise ergonômica virtual.	117
Figura 45 - Esquema da etapa de análise de coleta de dados.	121
Figura 46 - Imagem do Software OpenSIM	124
Figura 47 - Interface do <i>software</i> 3DSSPP (demonstração de uma determinada postura do MHD e a análise da força exercida)	125
Figura 48 - Demonstração do MHD sem restrições de movimento articular	125
Figura 49 - Exemplos de customização do MHD contido no MakeHuman®	126
Figura 50 - Superfície do modelo do Makehuman® sem a estrutura óssea.	129
Figura 51 - Segmento ósseo construído e acoplado ao modelo do Makehuman	130
Figura 52 - Estrutura segmentar construída e acoplada ao modelo do Makehuman®	131
Figura 53 - Rigging acoplado ao MHD	132
Figura 54 - Pintura de influência.	133
Figura 55 - MHD em desenvolvimento - exemplos de movimentos.	134
Figura 56 - modelo em desenvolvimento sem as inserções dos valores das restrições e limites de movimento (movimento da articulação do pescoço).	135
Figura 57 - Modelo em desenvolvimento com as inserções dos valores das restrições e limites de movimento (movimento da cabeça)	136
Figura 58 - Movimento das articulações carpometacarpal do polegar, das metacarpofalângicas e interfalângicas dos dedos e do polegar.	136
Figura 59 - Sistema de coordenada com o “eixo Y” adjacente ao X	137
Figura 60 - Customização do antebraço	138
Figura 61 - Amputação da perna esquerda	138
Figura 62 - Movimentos na região lombar.	139
Figura 63 - Landmarks inseridos no MHD.	140
Figura 64 - Sinalização do conforto na articulação do punho	141
Figura 65 - Sinalização do conforto na articulação do quadril	141
Figura 66 – Movimentos na região lombar da coluna vertebral.	142
Figura 67 – Movimentos na região lombar.	143
Figura 68 - Modelo 3D da mão direita.	145
Figura 69 - Modelo 3D do pé direito.	145
Figura 70 - Modelo 3D do corpo inteiro da participante representando o percentil 5% de altura feminino.	146
Figura 71 - Modelo 3D da mão direita do participante masculino.	146
Figura 72 - Modelo 3D do pé direito do participante masculino.	147
Figura 73 - Modelo 3D do corpo inteiro do participante masculino.	147
Figura 74 - Processo de medição do corpo inteiro no modelo 3D feminino.	149
Figura 75 - Processo de medição do modelo 3D feminino da mão direita.	149
Figura 76 - Processo de medição do pé direito do modelo 3D feminino.	150

Figura 77- Processo de medição da mão direita no modelo 3D masculino.	151
Figura 78 - Processo de medição do pé no modelo 3D masculino.	151
Figura 79 - Processo de medição do corpo inteiro no modelo 3D masculino.	152
Figura 80 - Modelo 3D do participante feminino e o MHD.	153
Figura 81 - Modelo feminino no Makehuman e as opções de customização no próprio software para exportação do modelo na configuração desejada.	154
Figura 82 - Inserção dos valores das medidas antropométricas.	155
Figura 83 - Modelo 3D do participante maculino e o MHD (vista frontal e lateral).	155
Figura 84 - Inserção das medidas das variáveis antropométricas no MHD.	156
Figura 85 - modelo 3D da estação de trabalho.	157
Figura 86 - fotografias do simulador veicular.	158
Figura 87 - Modelo 3D do simulador veicular (vista perspectiva direita).	158
Figura 88 - Modelo 3D do simulador veicular (vista perspectiva esquerda).	159
Figura 89 - Imagens dos protótipos: estação de trabalho (A) e simulador veicular (B).	161
Figura 90 - Localização e descrição dos pontos anatômicos para inserção dos <i>landmarks</i>	161
Figura 91 - Imagens do participante feminino com os <i>landmarks</i>	162
Figura 92 - Imagens do participante masculino com os landmarks.	163
Figura 93 - Imagens do processamento do vídeo em que apresenta a realização da tarefa da estação de trabalho pelo participante feminino.	164
Figura 94 - Imagens do processamento do vídeo em que apresenta a realização da tarefa da estação de trabalho pelo participante masculino.	165
Figura 95 - Imagens do processamento do vídeo em que apresenta a realização da tarefa no simulador veicular pelo participante feminino.	166
Figura 96 - Imagens do processamento do vídeo em que apresenta a realização da tarefa no simulador veicular pelo participante masculino.	167
Figura 97 - Imagens do MHD com as posições dos <i>landmarks</i> ajustadas para realização da verificação dos parâmetros.	174
Figura 98 - Comparação dos parâmetros antropométricos dinâmicos referente a posição no frame 00: Estação de trabalho; posição inicial.	176
Figura 99 - Comparação dos parâmetros antropométricos dinâmicos referente a posição no frame 100.	177
Figura 100 - Comparação dos parâmetros antropométricos dinâmicos referente a posição no frame 676.	178
Figura 101 - Comparação dos parâmetros antropométricos dinâmicos referente a posição no frame 960.	179
Figura 102 - Comparação dos parâmetros antropométricos dinâmicos (frame 1348).	180
Figura 103 - Comparação dos parâmetros antropométricos dinâmicos (frame 00).	181
Figura 104 - Comparação dos parâmetros antropométricos dinâmicos (frame296).	182
Figura 105 - Comparação dos parâmetros antropométricos dinâmicos (frame 380).	183
Figura 106- Comparação dos parâmetros antropométricos dinâmicos (frame 860).	184
Figura 107 - Comparação dos parâmetros antropométricos dinâmicos referente a posição: Estação de trabalho; posição inicial.	185
Figura 108 - Comparação dos parâmetros antropométricos dinâmicos (frame 572).	186
Figura 109 - Comparação dos parâmetros antropométricos dinâmicos referentes ao frame 812.	187
Figura 110 - Comparação dos parâmetros antropométricos dinâmicos referente a posição no frame 1252.	188

Figura 111 - Comparação dos parâmetros antropométricos dinâmicos referente a posição no frame 00.	189
Figura 112 - Comparação dos parâmetros antropométricos dinâmicos referente a posição no frame 372.	190
Figura 113 - Comparação dos parâmetros antropométricos dinâmicos referentes à posição no frame 676.....	191
Figura 114 - Média das variáveis antropométricas analisadas entre o MHD masculino e o MHD feminino na estação de trabalho.	192
Figura 115 - Média das variáveis antropométricas analisadas entre o MHD masculino e o MHD feminino no simulador veicular.....	193
Figura 116 - Análise ergonômica virtual da estação de trabalho (MHD feminino).	196
Figura 117 - Análise ergonômica virtual da estação de trabalho.	198
Figura 118 - Alterações realizadas conforme as recomendações ergonômicas.	199
Figura 119 - Medições dos ângulos em relação à postura apresentada na Figura 116.	200
Figura 120 - medições dos ângulos em relação à postura apresentada na Figura 122.	201
Figura 121 - Medição do alcance do braço mais o deslocamento do corpo.	202
Figura 122 - Parâmetros antropométricos dinâmicos em relação à posição de conforto para a região dos membros superiores.	204
Figura 123 - Medições dos ângulos em relação à postura apresentada na Figura 117.	205
Figura 124 - Variáveis antropométricas e o valor do dimensionamento do produto em relação ao participante feminino (vista lateral).	206
Figura 125 - Variáveis antropométricas e o valor do dimensionamento do produto em relação ao participante feminino (vista posterior).	207
Figura 126 - Medições dos ângulos em relação à postura apresentada na Figura 124.	208
Figura 127 - Análise ergonômica virtual da estação de trabalho, MHD masculino.	209
Figura 128 - Alterações realizadas no produto conforme as recomendações ergonômicas.	210
Figura 129 - Medidas dos parâmetros antropométricos dinâmicos (articulações).	211
Figura 130 - Medições dos ângulos em relação à postura apresentada na Figura 127.	212
Figura 131 - Medições dos ângulos em relação à postura apresentada na Figura 127.	213
Figura 132 - Medições dos ângulos em relação à postura apresentada na Figura 127.	213
Figura 133 - Dimensionamento do produto em relação ao participante masculino.	214
Figura 134 - Análise ergonômica virtual do simulador veicular (MHD feminino).	217
Figura 135 - Detalhe da articulação do tornozelo (MHD feminino).	217
Figura 136 - Alterações realizadas conforme as recomendações ergonômicas.	218
Figura 137 - Parâmetros antropométricos dinâmicos em relação ao participante feminino.	219
Figura 138 - Valor do ângulo na articulação do tornozelo (MHD feminino).	220
Figura 139 - Recomendações Ergonômicas.	221
Figura 140 - Recomendações Ergonômicas.	222
Figura 141 - Análise ergonômica virtual do simulador veicular (MHD masculino).	224
Figura 142 - Valores antropométricos dinâmicos da tarefa realizada pelo MHD masculino.	225
Figura 143 - recomendações ergonômicas (ajuste no volante e na distância do assento aos pedais).	227
Figura 144 - Ajustes na distância do volante, dos pedais, no encosto e do apoio de cabeça.	228
Figura 145 - Imagens fotográficas da tarefa na estação de trabalho pelo participante feminino.	230

Figura 146 - Imagens fotográficas da tarefa na estação de trabalho pelo participante masculino.	231
Figura 147 - Imagens fotográficas da tarefa no simulador veicular pelo participante feminino.	232
Figura 148 - Imagens fotográficas da tarefa no simulador veicular pelo participante masculino.	233
Figura 149 - Análise Ergonômica da tarefa realizada pelo participante feminino na estação de trabalho.....	234
Figura 150 - Uso da ferramenta 3D Rotate para auxiliar na análise da observação.	235
Figura 151 - Análise Ergonômica da tarefa realizada pelo participante masculino na estação de trabalho.....	238
Figura 152 - Análise Ergonômica da tarefa realizada pelo participante feminino no simulador.	239
Figura 153 - Análise Ergonômica da tarefa realizada pelo participante masculino no simulador veicular.	242
Figura 154 - Resultados apresentados graficamente da análise ergonômica.....	246

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Descrição das variáveis antropométricas conforme apresentado na Figura 18. .55	55
Quadro 2 - Estado da arte sobre análise ergonômica do produto, ergonomia no projeto de produto e métodos para obtenção dos parâmetros antropométricos para o projeto de produto.66	66
Quadro 3 - Estado da arte sobre ângulos de conforto, ângulos ótimos ou ideais, biomecânica e o projeto de produto, métodos para análise postural e antropometria dinâmica.....77	77
Quadro 4 - Parâmetros antropométricos provenientes da biomecânica e da ergonomia física.94	94
Quadro 5 - Parâmetros de ângulos de conforto com base nos conhecimentos teóricos na posição sentado realizando a tarefa de dirigir um automóvel (literatura científica).98	98
Quadro 6 - Parâmetros de ângulos de conforto com base em experimentos 3D para inserção em MHD.100	100
Quadro 7 - Objetivos específicos, técnica aplicada e finalidade destes objetivos.104	104
Quadro 8 - Os valores das medidas antropométricas referentes ao modelo feminino.....150	150
Quadro 9 - Os valores das medidas antropométricas referentes ao modelo masculino.....152	152
Quadro 10 - Apresentação da localização das posturas analisadas durante a realização da tarefa.170	170
Quadro 11 - Legenda para identificação das variáveis antropométricas utilizadas nas análises.175	175
Quadro 12 - Imagens da postura, no frame 00, analisadas na captura de movimento e na tarefa em ambiente virtual.....176	176
Quadro 13 - Imagens da postura, no frame 100, analisadas na captura de movimento e na tarefa em ambiente virtual.....177	177
Quadro 14 - Imagens da postura, no frame 676, analisadas na captura de movimento e na tarefa em ambiente virtual.....178	178
Quadro 15 - Imagens da postura, no frame 960, analisadas na captura de movimento e na tarefa em ambiente virtual.....179	179
Quadro 16 - Imagens da postura, no frame 1348, analisadas na captura de movimento e na tarefa em ambiente virtual.....180	180
Quadro 17- Imagens da postura, no frame 00, analisadas na captura de movimento e na tarefa em ambiente virtual.....181	181
Quadro 18 - Imagens da postura, no frame 296, analisadas na captura de movimento e na tarefa em ambiente virtual.....182	182
Quadro 19 - Imagens da postura, no frame 380, analisadas na captura de movimento e na análise ergonômica virtual.....183	183
Quadro 20 - Imagens da postura, no frame 860, analisadas na captura de movimento e na análise ergonômica virtual.....184	184
Quadro 21- Imagens da postura, no frame 00, analisadas na captura de movimento e na análise ergonômica virtual.....185	185
Quadro 22 - Imagens da postura, no frame 572, analisadas na captura de movimento e na análise ergonômica virtual.....186	186

Quadro 23 - Imagens da postura, no frame 812, analisadas na captura de movimento e na análise ergonômica virtual.....	187
Quadro 24 - Imagens da postura, no frame 1252, analisadas na captura de movimento e na análise ergonômica virtual.....	188
Quadro 25 - Imagens da postura, no frame 00, analisadas na captura de movimento e na análise ergonômica virtual.....	189
Quadro 26 - Imagens da postura, no frame 372, analisadas na captura de movimento e na análise ergonômica virtual.....	190
Quadro 27 - Imagens da postura, no frame 676, analisadas na captura de movimento e na análise ergonômica virtual.....	191
Quadro 28- Coleta dos parâmetros antropométricos dinâmicos referentes à Figura 136....	203
Quadro 29- Coleta dos parâmetros antropométricos dinâmicos referentes à Figura 122 e 123.....	205
Quadro 30- Recomendações ergonômicas para o MHD feminino.....	208
Quadro 31 - Parâmetros antropométricos dinâmicos referentes à análise ergonômica no MHD masculino.....	214
Quadro 32 - Recomendações ergonômicas a para a estação de trabalho (MHD masculino).	215
Quadro 33 - Recomendações ergonômicas para a estação de trabalho.	216
Quadro 34 - Parâmetros antropométricos dinâmicos referentes à Figura 148.	220
Quadro 35 - Parâmetros antropométricos dinâmicos referentes à Figura 139.	222
Quadro 36 - Recomendações ergonômicas que contemplam os requisitos de conforto e segurança para o simulador de autoescola.....	223
Quadro 37 - Parâmetros antropométricos dinâmicos referentes à Figura 141.	226
Quadro 38- Recomendações ergonômicas (Parâmetros para o projeto).	226
Quadro 39 - Recomendações ergonômicas (simulador veicular) para usuários desde os 5% de altura feminino aos 95% de altura masculino.....	229
Quadro 40 - Análise por meio da observação (estação de trabalho; participante feminino).	236
Quadro 41 - Entrevista semiestruturada sobre a análise de uso da estação de trabalho....	236
Quadro 42 - Análise por meio da observação (estação de trabalho; participante masculino).	237
Quadro 43 - Entrevista semiestruturada sobre a análise de uso da estação de trabalho (participante masculino).	239
Quadro 44 - Análise por meio da observação (simulador veicular; participante feminino). ..	240
Quadro 45 - Entrevista semiestruturada sobre a análise de uso do simulador veicular (participante feminino).	240
Quadro 46 - Resultados da análise por meio da observação do simulador veicular.....	241
Quadro 47 - Entrevista semiestruturada sobre a análise de uso do simulador veicular.	241

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CAESAR - *American and European Surface Anthropometry Resource Civilian* (Pesquisa Antropométrica em Americanos e Europeus Civis)

CAD – *Computer Aided Design* (Desenho Assistido por computador)

CAVE – *Cave Automatic Virtual Environment* (Sala com Ambiente Virtual Automatizado)

CNC - *Computer Numeric Control* (Comando Numérico Computadorizado)

CPU - Unidade Central de Processamento

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INT - Instituto Nacional de Tecnologia

Lapex – Laboratório de pesquisa do exercício

LED - *Light Emitting Diode* (Diodos Emissores de Luz)

MHD - Modelo Humano Digital

NASA - *National Aeronautics and Space Administration* (Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço)

PDP - Processo de desenvolvimento de produto

PPIII – Projeto de produto III

PPIV- Projeto de produto IV

RBS - Revisão Bibliográfica Sistemática

UCD - *User-Centered Design* (Design Centrado no Usuário)

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

3D – Tridimensional

2D - Bidimensional

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	9
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE QUADROS	16
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	18
SUMÁRIO	12
1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Contextualização do tema	16
1.2 Delimitação da pesquisa	22
1.3 Problema de pesquisa	23
1.4 Hipótese de pesquisa	24
1.5 Objetivo Geral	24
1.5.1 Objetivos específicos	24
1.6 Justificativa	25
1.7 Estrutura geral do trabalho	27
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	29
2.1 Parâmetros antropométricos no PDP	30
2.1.1 Requisitos ergonômicos para o projeto de produto	35
2.2 Análise Ergonômica do produto	41
2.2.1 Postura do corpo	43
2.3 Modelos Humanos Digitais (MHD) e a simulação virtual	46
2.4 Métodos para obtenção de parâmetros antropométricos	52
2.4.1 Pontos Anatômicos (processo de medição)	62
2.5 Estado da arte e considerações sobre métodos para a obtenção de parâmetros antropométricos e análises ergonômica do produto	65

2.6 Estado da arte e considerações sobre: biomecânica e o projeto de produto; métodos para análise postural e antropometria dinâmica; ângulos de conforto.....	75
2.7 Parâmetros antropométricos referentes à biomecânica para auxiliar no desenvolvimento do MHD Paramétrico.....	83
3 METODOLOGIA DA PESQUISA	102
3.1 Etapa de Investigação	105
3.1.1 Softwares Livres (<i>Free Software</i>), códigos abertos (<i>Open Source</i>) e softwares gratuitos.....	Erro! Indicador não definido.
3.2 Etapa de Intervenção.....	108
3.2.1 Processo de modelagem do MHD Paramétrico.....	108
3.2.2 Descrição da análise ergonômica virtual.....	109
3.2.3 Verificação da funcionalidade do MHD	113
3.2.4 Modelagem 3D dos produtos	115
3.3 Etapa de verificação	117
3.3.1 Participação dos usuários na pesquisa para as análises ergonômicas	119
3.4 Etapa de análise dos dados.....	120
4 DESENVOLVIMENTO DA ETAPA DE INTERVENÇÃO	122
4.1 Processo de verificação e seleção dos softwares OpenSIM [®] , MakeHuman [®] , 3DSSPP, Blender [®] e Sverschok.....	123
4.1.1 OpenSIM [®]	123
4.1.2 3DSSPP.....	124
4.1.3 MakeHuman [®]	126
4.1.4 Blender [®]	127
4.1.5 Sverschok.....	128
4.2 Processo de modelagem do MHD	128
4.2.1 Inserção de <i>landmarks</i> no MHD e a sinalização de conforto nas articulações ...	139
4.2.2 Realização dos movimentos do MHD	141
4.3 Coleta das medidas antropométricas dos usuários participantes da pesquisa	143
4.3.1 inserção das medidas antropométricas estáticas no MHD	153

4.4 Processo de modelagem 3D da estação de trabalho e do simulador veicular de autoescola.	156
4.4.1 Estação de trabalho	156
4.4.2 Simulador veicular da autoescola	157
4.5 Processo de verificação do funcionamento do MHD	159
4.5.1 Análise ergonômica por captura e registro dos movimentos	159
4.5.2 Obtenção dos parâmetros antropométricos pelos sistemas de captura de movimento	168
4.5.3 Realização da tarefa em ambiente virtual para comparação como os parâmetros obtidos pela captura de movimento	173
5 ETAPA DE VERIFICAÇÃO	195
5.1 Análise ergonômica virtual da estação de trabalho (MHD feminino).....	195
5.1.2 Parâmetros antropométricos dinâmicos referentes à análise ergonômica virtual da estação de trabalho (MHD feminino).....	199
5.2 Análise ergonômica virtual da estação de trabalho (MHD masculino).....	209
5.2.1 Parâmetros antropométricos dinâmicos referentes à análise ergonômica virtual da estação de trabalho (MHD masculino)	211
5.3 Análise ergonômica virtual do simulador veicular de autoescola (MHD feminino) .	216
5.3.1 Parâmetros antropométricos dinâmicos referentes à análise ergonômica virtual do simulador de autoescola com o MHD feminino	218
5.3.2 Análise ergonômica virtual do simulador veicular de autoescola (MHD masculino)	223
5.3.3 Parâmetros antropométricos dinâmicos referentes à análise ergonômica virtual do simulador de autoescola (MHD masculino).....	225
5.4 Análise ergonômica utilizando os produtos em ambiente físico.....	229
5.4.1 Análise dos dados referentes à análise ergonômica dos produtos físicos por meio de observação direta, fotografias e entrevista semiestruturada	234
5.5 Discussão	244
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	249
6.1 Sugestões para trabalhos futuros	252
REFERÊNCIA.....	254

APÊNDICE A.....	266
APÊNDICE B.....	267
APÊNDICE C.....	268
APÊNDICE D.....	271
APÊNDICE E.....	273
APÊNDICE F - Algoritmo utilizado e desenvolvido no software Scilab®	276
APÊNDICE G – Dados convertidos (vetores e ângulos)	278
APÊNDICE H – Desenhos Técnicos.....	290
APÊNDICE I - Valores da Captura de Movimento, do MHD e as Médias do erro relativo e desvio padrão do erro relativo.....	296
ANEXO A – Parâmetros antropométricos estáticos	299
ANEXO B - Tipos de movimento.....	303
ANEXO C – Ângulos Articulares dos Membros Superiores.....	315
ANEXO D – Ângulos de conforto conforme Tilley e Dreyfruss (2005)	325
ANEXO E – Parecer Consubstanciado do CEP	331

1 INTRODUÇÃO

Os parâmetros antropométricos estão relacionados às medidas do corpo humano que definem as características físicas de uma determinada população. Estes parâmetros são aplicados no processo de projeto, que envolve os seres humanos, para um correto dimensionamento de produtos, equipamentos e postos de trabalho, proporcionando maior conforto, segurança e eficácia destes durante o uso (IIDA, 2005; PEQUINI, 2005; GUIMARÃES, 2000).

Os parâmetros antropométricos estáticos são obtidos por métodos diretos, indiretos e por meio da literatura específica. Entretanto, o levantamento dos parâmetros antropométricos dinâmicos requer métodos mais complexos para sua obtenção, através de análises ergonômicas realizadas durante o uso do produto (MORAES; MONT'ALVÃO, 1998). As análises ergonômicas realizadas em ambiente virtual, com uso de modelos humanos digitais (MHD), facilitam e proporcionam o levantamento de parâmetros antropométricos dinâmicos para a obtenção dos parâmetros de projeto para o processo de desenvolvimento de produto (PDP). Neste contexto que circunscreve a presente pesquisa, são analisadas as questões sobre os parâmetros antropométricos estáticos e dinâmicos, os métodos de análise e obtenção destes parâmetros, o uso de MHD nas análises ergonômicas e a aplicação dos parâmetros ergonômicos de projeto no PDP.

Este capítulo está dividido em: contextualização do tema, onde são abordadas questões sobre a problematização do tema; a delimitação do tema; a descrição do problema de pesquisa; a hipótese; a descrição dos objetivos (geral e específicos) e a justificativa do trabalho. Por fim, é apresentada a estrutura geral do trabalho.

1.1 Contextualização do tema

As medidas do corpo humano são obtidas através de estudos advindos da antropometria, que passou a ser reconhecida como disciplina em 1950, e têm contribuído para a melhoria da qualidade dos produtos de consumo, adaptando-os melhor às necessidades e características do usuário (SIMMONS, 2001). A melhoria da qualidade dos produtos é conseguida quando esses atendem aos requisitos ergonômicos de projeto como o conforto, a segurança e a eficácia (SCHOENARDIEA *et al.*, 2011). Para isso, é necessário identificar e selecionar as

informações corretas e pertinentes em relação a quais parâmetros antropométricos são necessários e relacioná-los às variáveis antropométricas que irão influenciar ergonomicamente em cada projeto. As variáveis antropométricas são referentes às partes do corpo humano em que são mensuradas como, por exemplo, a variável estatura, largura dos ombros e comprimento do pé. Os parâmetros antropométricos são definidos como os valores obtidos destas variáveis e podem ser classificados em estáticos e dinâmicos (TILLEY; DREYFUSS, 2005).

Os parâmetros antropométricos estáticos são aqueles em que as medidas se referem ao corpo parado ou com poucos movimentos, cujas medições são realizadas entre pontos anatômicos identificados. Os parâmetros antropométricos dinâmicos estão relacionados aos ângulos articulares e aos movimentos de alcance obtidos durante a realização de tarefas específicas. Neste caso, é analisado não apenas a antropometria estática e a dinâmica, mas também, as funções em que cada parte do corpo irá exercer para realizar uma determinada tarefa (TILLEY; DREYFUSS, 2005; IIDA, 2005). Os parâmetros relacionados à antropometria estática são recomendados para o dimensionamento de produtos que envolvem pequenos movimentos corporais. Entretanto, não é o que acontece na maioria dos casos. Movimentos de maior amplitude são comuns no uso de um produto ou em uma estação de trabalho (IIDA, 2005; GUIMARÃES, 2000). Produtos que requerem o movimento do corpo durante seu uso podem até ser dimensionados com os parâmetros da antropometria estática. Porém, seu uso poderá implicar no desconforto e na insegurança, podendo causar dor, fadiga e lesões musculares, nas articulações e até mesmo acidentes de trabalho em função do dimensionamento incorreto das medidas antropométricas. Neste caso, é recomendada a aplicação dos parâmetros referentes à antropometria dinâmica no desenvolvimento de produtos que requerem o movimento do usuário (PANERO; ZELNICK, 2002; GUIMARÃES, 2000).

Entretanto, há uma carência de informações em literatura específica sobre os valores das variáveis antropométricas relacionadas aos parâmetros antropométricos dinâmicos. O que se encontra, são valores obtidos através do movimento de partes separadas do corpo, mantendo o resto do corpo estático como, por exemplo, o alcance do braço sem o movimento natural da cintura escapular e do tronco (IIDA,

2005). A questão é que os parâmetros da antropometria dinâmica devem ser obtidos a partir da análise ergonômica em que o usuário realiza o movimento ao exercer a tarefa para que sejam obtidos os valores das variáveis antropométricas conforme o movimento real do corpo humano (PANERO; ZELNICK, 2002; TILLEY; DREYFUSS, 2005).

Na prática, cada parte do corpo não se move isoladamente, há uma conjugação de diversos movimentos para se realizar uma determinada função. “Ao passar da antropometria estática para a dinâmica, há um aumento do grau de complexidade, exigindo-se também instrumentos de medição mais complexos” (IIDA, 2005, p.110). Durante uma jornada de trabalho, por exemplo, um trabalhador pode vir a assumir diferentes posturas, que acionam diferentes conjuntos da musculatura. Portanto, uma simples observação visual não é suficiente para analisar essas posturas detalhadamente, o que acarreta na carência de informações em literatura específica sobre os parâmetros antropométricos dinâmicos (IIDA, 2005).

A análise ergonômica permite: (i) avaliar se o uso de um produto está adequado antropometricamente ou não ao usuário; (ii) identificar e obter os parâmetros antropométricos dinâmicos e, assim, relacioná-los aos requisitos ergonômicos de projeto para o desenvolvimento de produtos. Esses requisitos estão associados as qualidades desejadas para um produto ergonomicamente correto e podem ser identificados e quantificados antropometricamente para aplicação no projeto (MORAES; MONT’ALVÃO, 1998; GOMES FILHO, 2010).

A análise ergonômica tem como objetivo analisar o uso de um produto ou estação de trabalho e, assim, determinar as recomendações ergonômicas a partir da identificação dos parâmetros antropométricos corretos para aplicação desses no projeto (IIDA, 2005). Para a identificação e obtenção dos parâmetros antropométricos, há técnicas que podem ser utilizadas, como: técnicas subjetivas (diretas) e objetivas (indiretas). As técnicas subjetivas são realizadas através de observações, questionários e entrevistas com o usuário de um produto ou um operador em uma estação de trabalho. A questão é que a coleta de dados, através das técnicas subjetivas, pode levar a distorções da situação real de uma atividade e os dados obtidos não são mensuráveis em relação aos parâmetros antropométricos. A técnica objetiva ou indireta se dá por meio da observação com a utilização de

instrumentos de registro, como câmeras fotográficas ou vídeo, das atividades ao longo de um período pré-determinado (VIDAL, 2002).

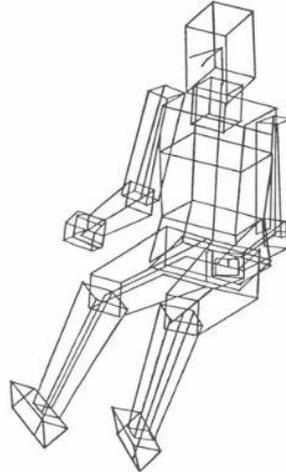
A observação é o método mais utilizado numa análise ergonômica. Entretanto, a análise somente pela observação direta (sem algum tipo de instrumento que faça o registro das informações) não é suficiente para registro e arquivamento de dados para avaliação e quantificação. O registro em vídeo permite com maior fidedignidade os dados completos das ações do usuário ao realizar uma determinada tarefa, capturando não apenas detalhes posturais, mas também, comportamentais (VIDAL, 2002). Contudo, é necessário alto investimento em infraestrutura para a realização das análises ergonômicas utilizando sistemas estruturados por câmeras de vídeo ou câmeras fotográficas e uma grande participação de usuários para coleta de dados (BLANCHONETTE, 2010).

Para minimizar a participação desses usuários nas análises ergonômicas e diminuir o custo para o projeto, foram desenvolvidos modelos humanos digitais (MHD) ergonômicos para serem utilizados em ambientes virtuais (YANG J. *et al.*, 2007; LÄMKULL D. *et al.*, 2007). Os MHD começaram a ser utilizados para auxiliar o processo de desenvolvimento de projetos no final da década de 60, pela indústria aeronáutica, nas décadas de 70 e 80, pela indústria automobilística e, cada vez mais, são utilizados pelas grandes empresas de projetos (OLIVEIRA, 2013; BLANCHONETTE, 2010). Porém, muitos desses *softwares* em que são desenvolvidos os MHD não estão disponíveis para o acesso no mercado (YANG J. *et al.*, 2007; LÄMKULL D. *et al.*, 2007; BLANCHONETTE, 2010).

A primeira referência significativa em relação ao uso de MHD tridimensionais para fins de projeto data do final dos anos 60, denominada de *Boeman* (Fig. 1), e foi desenvolvido pela *Boeing Corporation*[®] para avaliar a adequação do layout de suas cabines de aeronaves. Este era composto de 23 articulações e seu tamanho foi baseado nas medidas antropométricas para um homem com percentil 50 (medida antropométrica com referência ao homem médio americano e militar). Os segmentos podiam ser movimentados, embora as dimensões desses segmentos não pudessem ser alteradas (BLANCHONETTE, 2010; OLIVEIRA, 2013). Em 1981, uma publicação da associação entre as fábricas da Peugeot[®] e da Renault[®], trazem estudos antropométricos referentes aos condutores de automóveis da França que

introduziam mais dinamismo e precisão no decorrer dos projetos de assentos destas montadoras. Porém, os conhecimentos advindos das análises ergonômicas e os MHD desenvolvidos pelas indústrias automobilísticas não eram publicados e nem comercializados para o público em geral (OLIVEIRA, 2013).

Figura 1 - Modelo *Boeman* desenvolvido pela *Boeing Corporation*



Fonte: Blanchonette (2010).

A partir da década de 60, foram desenvolvidos *softwares* de projeto auxiliados por computador (CADs), que tornaram possíveis o desenvolvimento de produtos e avaliações em ambientes virtuais. O desenvolvimento desses *softwares* de modelagem 3D significava que os desenhos poderiam ser criados em uma escala de tempo muito menor, reduzindo os custos e minimizando erros de projeto já nas etapas iniciais de desenvolvimento de produto. Esses *softwares* de modelagem, ao mesmo tempo, permitiam a exploração de uma ampla gama de soluções de design e aceleravam o processo de projeto, otimizando a interface homem-máquina (BLANCHONETTE, 2010).

A partir do desenvolvimento destes *softwares* de modelagem, foram desenvolvidos diversos *softwares* contendo MHD, que se encontram disponíveis para comercialização, como: Cyberman, Combiman, Crew Chief, Sammie, Jack e Mannequin (IIDA, 2005; FEYEN *et al.* 2000; BLANCHONETTE, 2010). Entretanto, esses *softwares* contendo MHD são limitados nas possibilidades de variações de medidas antropométricas. As opções existentes de MHD customizáveis no mercado são limitadas aos percentis do padrão mínimo, médio e máximo, respectivamente,

5%, 50% e 95% do homem e da mulher. A carência de MHD customizáveis, contendo a possibilidade de modificações nas variáveis e nos percentis, prejudica o desenvolvimento de projetos que demandam maior nível de detalhamento e precisão dimensional (HELIN *et al.* 2012; BLANCHONETTE, 2010; TILLEY; DREYFUSS, 2005).

Segundo Feyen *et al.* (2000) e Helin *et al.* (2012), há a necessidade do desenvolvimento de um *software* que contenha informações ergonômicas para serem utilizadas durante o PDP. Os autores afirmam que não há uma padronização nos MHD existentes, o que pode acarretar em problemas de dimensionamento de produtos e espaços de trabalho. MHD como Sammie, Apolin, CAAA, Combiman, Ergoman, Ergospace e Jack, não possuem a capacidade de avaliação de risco de lesão em função de movimentos do corpo que ultrapassam as zonas de conforto e amplitude articular (FEYEN *et al.* 2000).

Helin *et al.* (2012) afirmam que há a necessidade de integração dos modelos biomecânicos e dos parâmetros antropométricos aos MHD para análise ergonômica e customização dos modelos, necessidades essas que não são atendidas pelos MHD disponíveis no mercado. Os quais, apresentam estruturas que não podem ser alteradas ou customizadas e, quando possibilitam a customização, como no exemplo do *software* RAMSIS, ocorre apenas sobre os percentis da altura 5%, 50% e 95%. A Figura 2 apresenta um exemplo de customização pelo *software* RAMSIS.

Figura 2 - Exemplo de customização do *software* RAMSIS



Fonte: adaptado de OLIVEIRA (2013).

Além da possibilidade de customização, é de extrema importância que os MHD sejam capazes de reproduzir o movimento do corpo humano para a obtenção dos parâmetros antropométricos dinâmicos (SISAY, 2015). Para isso, os MHD devem conter informações relacionadas aos parâmetros de amplitude de movimento articular, limites e restrições de movimento bem como os ângulos de conforto articular para desenvolver MHD conforme a anatomia e o movimento do corpo. Portanto, os MHD desenvolvidos para auxiliar nas análises ergonômicas do produto, devem representar o usuário real e possuir possibilidade de customização nas variáveis do corpo, para que seja possível o levantamento dos parâmetros antropométricos dinâmicos para o PDP (SISAY, 2015; SCHMIDT *et al.*, 2014).

1.2 Delimitação da pesquisa

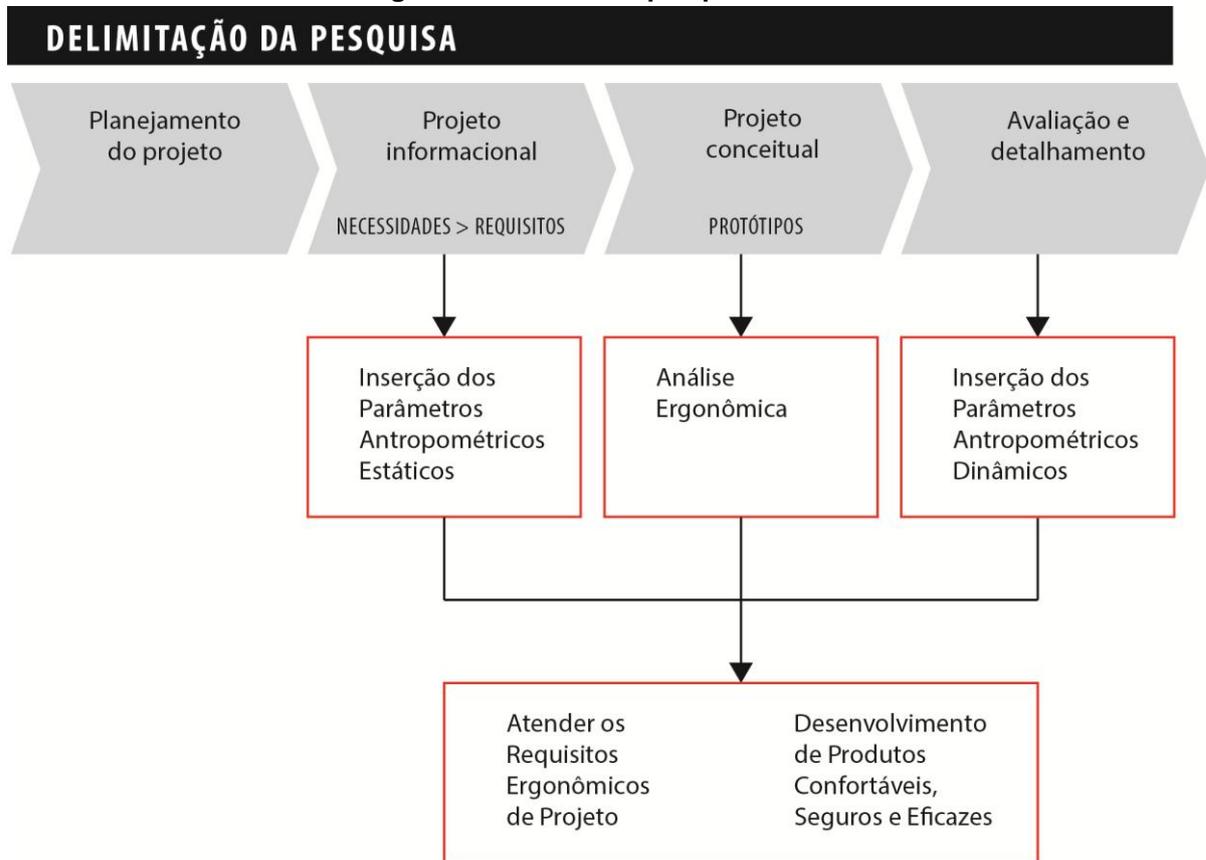
Esta pesquisa aborda a obtenção e inserção de parâmetros antropométricos estáticos e dinâmicos no processo de projeto, suas contribuições e possíveis implicações no desenvolvimento de produtos, bem como seus processos e métodos para a obtenção desses parâmetros. O recorte desta pesquisa, no processo de desenvolvimento de produto (PDP), é apresentado graficamente na Figura 3 pela cor vermelha.

Conforme a Figura 3, o recorte demarca a inserção da presente pesquisa no PDP. Na etapa de projeto informacional, em que são determinados os usuários do produto, as necessidades desses usuários e os requisitos ergonômicos de projeto, são identificados e inseridos os parâmetros antropométricos estáticos no projeto. Na etapa de projeto conceitual, em que é realizada a geração de alternativas e a solução de projeto, são realizadas as análises ergonômicas do produto e, nas etapas de avaliação e detalhamento, são inseridos os parâmetros antropométricos dinâmicos obtidos por meio das análises ergonômicas do produto.

Portanto, os seguintes assuntos a serem tratados nesta pesquisa compreendem o processo de desenvolvimento de produto, análise ergonômica do produto, os parâmetros antropométricos estáticos e dinâmicos, e os parâmetros provenientes do movimento do corpo humano, como os ângulos de amplitude de movimento em cada articulação do corpo e os ângulos de conforto. Para isso, são analisados os métodos para o levantamento de parâmetros antropométricos

estáticos e dinâmicos e as técnicas de análise postural para realização da análise ergonômica do produto.

Figura 3 – Recorte da pesquisa no PDP



Fonte: Baseado em Rosenfeld *et al.* (2009).

Em relação a biomecânica, a presente pesquisa se limita a tratar assuntos relacionados à obtenção dos parâmetros antropométricos referentes às medições lineares, medidas de alcances máximos e mínimos, tipos de movimentos das articulações do corpo bem como as amplitudes e as restrições de movimento e a determinação de zonas de conforto e desconforto articular.

1.3 Problema de pesquisa

Como os parâmetros antropométricos dinâmicos podem ser obtidos durante o processo de projeto de forma a contribuir para atender aos requisitos ergonômicos de projeto de produto?

1.4 Hipótese de pesquisa

Os parâmetros antropométricos dinâmicos podem ser obtidos durante o processo de projeto por meio de uma análise ergonômica realizada, com auxílio de um modelo humano digital paramétrico e articulado, a partir da antropometria estática, em ambiente virtual, visando atender aos requisitos ergonômicos do usuário.

1.5 Objetivo Geral

Desenvolver um MHD Paramétrico e articulado que contenha os parâmetros antropométricos estáticos e os parâmetros relacionados ao movimento do corpo, para ser utilizado na análise ergonômica virtual, de forma a obter os parâmetros antropométricos dinâmicos, durante o processo de projeto.

1.5.1 Objetivos específicos

- Levantar o estado da arte dos métodos e técnicas existentes para realização da análise ergonômica e os métodos desenvolvidos para a obtenção dos parâmetros antropométricos a fim de identificar lacunas e contribuições relevantes para o desenvolvimento do MHD Paramétrico;
- Selecionar os parâmetros de referência relacionados ao movimento do corpo humano, considerando a amplitude do movimento articular, limitações e restrições de movimento conforme a geometria da articulação, os planos e eixos de movimento e os ângulos de conforto articular para fundamentar o projeto do MHD Paramétrico;
- Identificar os *softwares* que possuam formatos Livres (*Free Software*) e/ou de códigos abertos (*Open Source*) e com custo acessível ou gratuito para o desenvolvimento do MHD Paramétrico e articulado para a realização da análise ergonômica virtual de produtos;
- Estabelecer requisitos bem como analisar a funcionalidade do MHD por meio de análises ergonômicas em ambiente físico e virtual, para fins de desenvolver o MHD e suas funcionalidades para realização da análise ergonômica proposta na presente pesquisa;

- Elaborar um manual de uso para auxiliar na obtenção e aplicação dos parâmetros antropométricos no MHD desenvolvido na presente pesquisa e para realização da análise ergonômica do produto por meio da simulação virtual no processo de projeto de produto.

1.6 Justificativa

Os parâmetros antropométricos estáticos e dinâmicos obtidos conforme as características físicas do usuário do produto podem auxiliar a minimizar o desconforto, as fisiopatologias e, até mesmo, os acidentes de trabalho que podem ser causados pelo inadequado dimensionamento do produto. Desta forma, a presente pesquisa pode contribuir significativamente na qualidade de vida dos usuários, no uso de produtos confortáveis, seguros e eficazes.

O surgimento de fisiopatologias devido ao uso de produtos antropometricamente incorretos em relação ao usuário é muito comum e estas são decorrentes de dores e lesões nos músculos, nas articulações e na coluna vertebral, denominados de Distúrbios Osteomusculares. As fisiopatologias ocorrem devido à postura inadequada, locais e estações de trabalho onde os usuários necessitam realizar as tarefas com esforço extenuante, pelo fato dos objetos estarem fora dos alcances máximos e mínimos, das zonas de conforto articular e da sobrecarga dos produtos (IIDA, 2005).

Os parâmetros antropométricos dinâmicos são necessários para o desenvolvimento de projetos de produtos que requerem o movimento do usuário e, por este motivo, o ideal é que sejam obtidos durante a análise ergonômica de uso do produto. Como foi explicitada na contextualização da presente pesquisa, a análise ergonômica quando é realizada utilizando protótipos físicos e com um grande número de usuários reais para o produto, pode gerar impacto significativo no custo do desenvolvimento do produto. Desta forma, a presente pesquisa contribui com os projetistas ao propor o desenvolvimento de um MHD para ser utilizado em ambiente virtual. Visando, assim, a diminuição dos custos de projeto devido à eliminação da produção de protótipos físicos durante as fases de projeto, bem como eliminando a participação de usuários para realização das análises ergonômicas.

Segundo Santos *et al.* (2009) é de grande relevância o uso de MHD em ambiente virtual para realização de testes com protótipos virtuais, ajustes de medidas no projeto, redução dos custos e de tempo em função da inserção antecipada de parâmetros antropométricos nas etapas iniciais do projeto e na redução de possíveis erros de projeto.

Os MHD são cada vez mais utilizados na fase inicial de concepção de um produto e no planejamento de estações de trabalho para minimizar riscos, custos e otimizar a produção. Os modelos devem representar os movimentos do corpo humano, não só em termos de antropometria, mas também, na sua biomecânica (IIDA, 2005; BLANCHONETTE, 2010). Boa parte dos MHD disponíveis no mercado apresentam problemas semelhantes: não permitem a customização das medidas antropométricas das variáveis antropométricas e dos percentis, possuem baixa fidelidade aos movimentos do corpo humano e não estão incluídas as limitações, amplitudes e os possíveis movimentos realizados nas articulações do corpo humano (OLIVEIRA, 2013; BLANCHONETTE, 2010).

Devido a essas necessidades, é proposto o desenvolvimento do MHD na presente pesquisa no qual contemple os seguintes requisitos: customização das variáveis antropométricas e dos percentis, e a inserção dos valores dos ângulos de amplitudes e limitações do movimento nas articulações, com as devidas determinações das zonas de conforto articular, conforme os movimentos do MHD. Autores como Helin *et al.* (2012); Blanchonette, (2010); Tilley; Dreyfuss, (2005); Sisay (2015) e Schmidt *et al.* (2014) afirmam que os MHD existentes no mercado possuem customização apenas sobre os percentis mínimo, médio e máximo de altura. Os autores afirmam que os parâmetros antropométricos considerados no projeto não devem ser limitados aos percentis extremos ou ao homem médio como é usualmente realizado em análises ergonômicas do produto.

O MHD além de auxiliar aos projetistas, pode contribuir com o ensino em cursos de graduação, como, por exemplo, design, engenharias e arquitetura. Conforme Schmidt *et al.* (2014), os métodos para análise ergonômica utilizando MHD não são utilizados como uma prática projetual comum aos cursos de graduação no Brasil porque os *softwares* disponíveis no mercado são limitados em suas configurações, e não são acessíveis. Devido a essa necessidade, o

desenvolvimento do MHD na presente pesquisa tem como requisito o desenvolvimento em *softwares* que possuam códigos abertos, livres e gratuitos, para que sejam acessíveis aos estudantes de graduação.

Portanto, a presente pesquisa contribui ao proporcionar o uso do MHD Paramétrico aos profissionais e estudantes dos cursos de design e áreas afins para a realização das análises ergonômicas do produto e, assim, facilitar a obtenção dos parâmetros antropométricos dinâmicos necessários para o desenvolvimento de produtos confortáveis, seguros e eficazes.

1.7 Estrutura geral do trabalho

Esta pesquisa está organizada em 6 capítulos, dos quais o capítulo 1, apresenta o fenômeno de pesquisa a ser abordado, contextualiza o assunto e delimita o escopo da pesquisa. Neste capítulo, é exposto o problema de pesquisa, a hipótese a ser verificada, os objetivos a serem atingidos e justifica a relevância e o porquê da realização da presente pesquisa.

O capítulo 2, denominado de fundamentação teórica, abrange assuntos relacionados ao tema desta pesquisa: desenvolvimento de projetos de produtos, métodos para obtenção dos parâmetros antropométricos, análise ergonômica, MHD e parâmetros antropométricos relacionados ao movimento do corpo humano. O capítulo 3 apresenta a metodologia da pesquisa que descreve as etapas metodológicas adotadas na presente pesquisa. Os capítulos 4, 5 e 6 são desenvolvidos após a aprovação da qualificação da tese e aprovação do Comitê de Ética em pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (CEP - UFRGS). Assim, o capítulo 4 corresponde ao desenvolvimento da pesquisa, onde as etapas metodológicas são desenvolvidas e descritas. Na primeira etapa do capítulo 4, intervenção, é iniciado o processo de modelagem do MHD Paramétrico. É realizada a verificação da funcionalidade do MHD através da comparação da análise ergonômica virtual e física. A análise ergonômica física utiliza protótipos físicos dos produtos, em laboratório equipado com um sistema de marcadores e câmeras com sistema de luz infravermelho para a captura do movimento.

Na capítulo 5, denominado de etapa de verificação da pesquisa, é realizada a análise ergonômica virtual e física de dois produtos: um simulador veicular de auto

escola e uma estação de trabalho. São realizadas as análises dos dados referentes à etapa de verificação da pesquisa e a discussão destes resultados com o cruzamento das informações obtidas nas etapas de investigação, intervenção e verificação da pesquisa e, após, a descrição das diretrizes que irão auxiliar nas análises ergonômicas e na obtenção dos parâmetros antropométricos para o projeto.

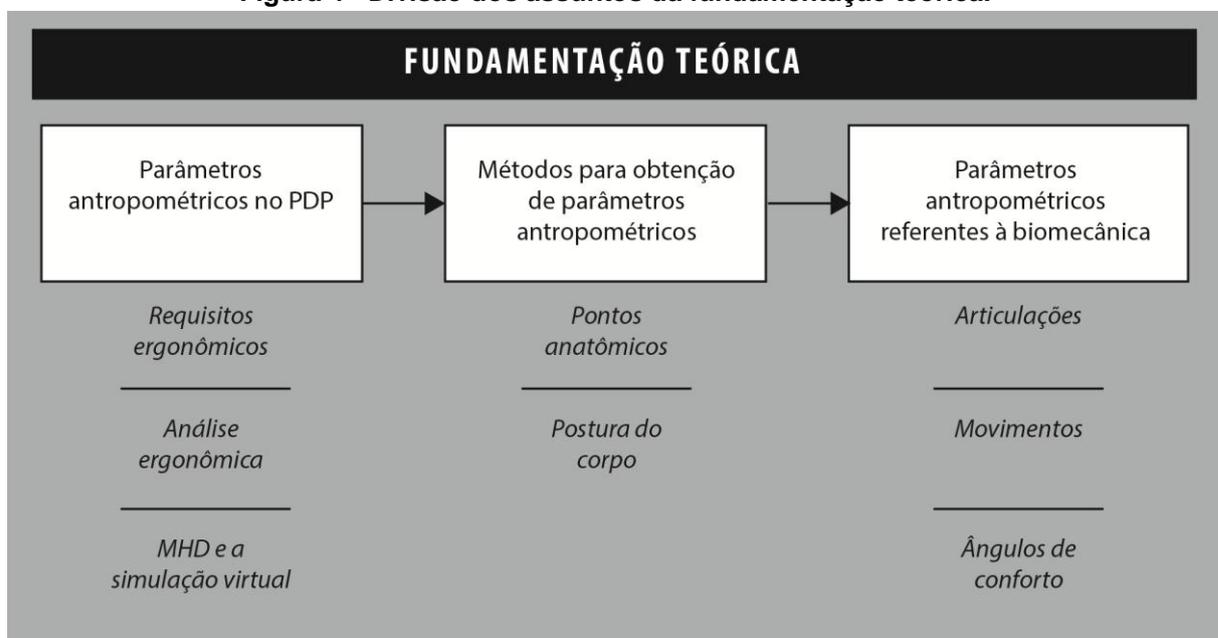
O capítulo 6 corresponde à finalização da pesquisa, apresentando as considerações finais e as sugestões para futuros trabalhos de pesquisa.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, são abordados temas pertinentes para que possam auxiliar nas seguintes questões: como e quais parâmetros antropométricos são utilizados em um determinado projeto de produto, e em que etapa do PDP são utilizados estes parâmetros? Como são obtidas as medidas antropométricas estáticas e dinâmicas? Quais são os instrumentos e os métodos utilizados para estes levantamentos antropométricos? Quais são os pontos anatômicos corretos no corpo humano que fazem relação com as variáveis antropométricas que serão mensuradas, e como identificá-los? Como os parâmetros antropométricos relacionados à biomecânica podem auxiliar na obtenção de parâmetros antropométricos dinâmicos?

Portanto, a fundamentação teórica contempla assuntos como o desenvolvimento de projeto de produto, análise ergonômica, MHD, métodos utilizados para a obtenção de parâmetros antropométricos estáticos e dinâmicos e parâmetros antropométricos relacionados ao movimento do corpo humano. A Figura 4 apresenta o desenho da estrutura dos assuntos abordados e como estão relacionados entre si na fundamentação teórica.

Figura 4 - Divisão dos assuntos da fundamentação teórica.



Fonte: Elaborado pela autora.

2.1 Parâmetros antropométricos no PDP

O objetivo deste item é descrever o PDP e a aplicação dos parâmetros antropométricos estáticos e dinâmicos nas etapas do processo e como estes atendem aos requisitos ergonômicos de projeto. O desenvolvimento de projeto de produto abrange, na concepção mais ampla, a concretização de uma ideia em forma de produtos físicos ou virtuais. Até a segunda metade do século XIX, os produtos eram fabricados, principalmente, de forma artesanal para atender a função prática do produto, integrando o material à sua função, sem aplicar fatores ergonômicos ao projeto (LOBACH, 2000). Com a Revolução Industrial, os produtos passaram a ser fabricados de forma idêntica para um grande número de usuários causando problemas de mal uso de produtos relacionados ao conforto, segurança e eficácia. Neste contexto, o projeto não contemplava questões ergonômicas ou antropométricas (LOBACH, 2000; PANERO; ZELNICK, 2002).

A ergonomia só foi realmente introduzida como uma área de conhecimento científico e aplicada no projeto de produto durante a Segunda Guerra Mundial (PANERO; ZELNICK, 2002). Esta introdução ocorreu, principalmente, devido à necessidade de auxiliar na solução de problemas em relação ao projeto e uso de produtos bélicos. A elevada frequência de acidentes durante o uso de determinados produtos fizeram com que equipes de médicos, engenheiros e psicólogos se organizassem para repensar o projeto desses produtos com a finalidade de melhor adequá-los ao homem, tanto no aspecto da percepção sensorial, como da capacidade fisiológica de esforço (GOMES FILHO, 2010; PANERO; ZELNICK, 2002). Portanto, a antropometria começou a ser inserida como um requisito fundamental para o PDP, sendo classificado em três grandes categorias, conforme Löbach (2000):

- Produtos de uso individual ou personalizados, quando são utilizados por um único usuário e requerem medições antropométricas diretamente no usuário final;
- Produtos desenvolvidos para um determinado grupo de usuários como, por exemplo, os eletrodomésticos, mobiliário, vestuário e produtos de locomoção. Estes produtos requerem o uso de tabelas antropométricas referentes aos usuários ou grupo de usuários em que irão utilizá-los;

- Produtos para uso indireto, nos quais não são utilizados diretamente pelos usuários como, por exemplo, as turbinas e as engrenagens. São produtos que, na maioria das vezes, fazem parte de um projeto mais amplo e não dependem de medidas antropométricas para o seu desenvolvimento.

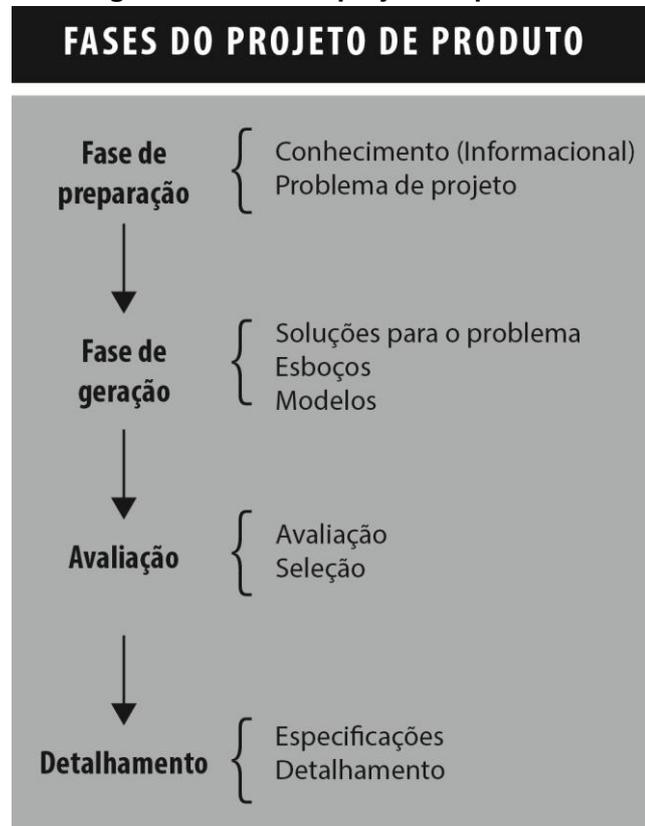
Autores de desenvolvimento de projeto de produto, como, por exemplo, Löbach (2000), Baxter (2005), Back *et al.* (2008), Rosenfeld *et al.* (2009), Ulrich e Eppinger (2012) definem o processo de design como um processo de solução de problemas, incorporando as características que possam satisfazer as necessidades dos usuários. Devido à complexidade do processo de design, que depende significativamente do problema de projeto, estes dividem o processo em etapas ou fases principais. Löbach (2000) dividiu o processo de design em quatro fases principais. Na primeira fase, nomeada de Fase de Preparação, é realizada a etapa de conhecimento, análise e definição do problema e coleta das informações. Na segunda fase, nomeada de Fase de Geração, são geradas possíveis soluções para o problema em formato de esboços e modelos. Na terceira fase, Fase de Avaliação, são realizadas as avaliações e é feita a seleção da solução final de projeto para o problema definido. Na quarta etapa, Detalhamento, são realizadas as especificações e os detalhamentos da solução do problema, como o desenho técnico, projeto mecânico e estrutural e o desenvolvimento do modelo final, conforme é apresentado na Figura 5.

Na primeira fase do processo de design de Löbach (2000), na fase de preparação, é realizada a análise da necessidade, onde são obtidas as informações dos usuários do produto e os fatores que influenciam na solução do problema. É nesta fase que são levados em consideração os parâmetros antropométricos estáticos adequados a gama de usuários que irão utilizar o produto desenvolvido através da definição do público alvo, de suas características físicas e das circunstâncias e situações em que o produto será utilizado por ele. Portanto, é realizada também, nessa primeira fase, a análise da função, no qual é possível determinar como será realizado o uso do produto.

Na fase de geração, os esboços e modelos são desenvolvidos e, na fase de avaliação, estes modelos são testados e avaliados conforme a análise ergonômica. Assim, as características técnicas, formais, funcionais e ergonômicas são

especificadas na fase de detalhamento, nas quais, os parâmetros antropométricos dinâmicos são aplicados na solução final do produto.

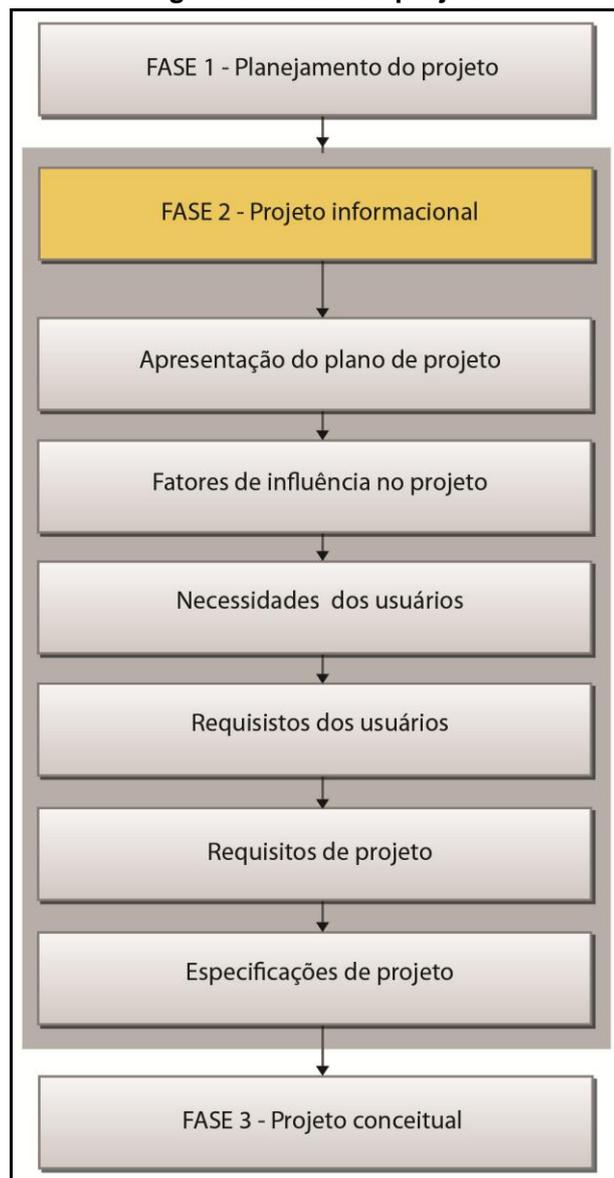
Figura 5 - Fases do projeto de produto.



Fonte: Adaptado de Löbach (2000).

Para Back *et al.* (2008) e Rozenfeld *et al.* (2009), o desenvolvimento de projeto de produto é categorizado em diversas fases de projeto, as quais definidas como: planejamento do projeto, projeto informacional, projeto conceitual e projeto detalhado. Na fase projeto informacional, são determinadas as especificações de projeto de produto. São verificadas as necessidades dos usuários, os requisitos dos usuários e os requisitos de projeto, conforme é apresentado na Figura 6.

A partir das informações geradas na fase do projeto informacional, são realizadas as etapas posteriores como, as gerações de soluções, os critérios para avaliações e tomadas de decisões para o projeto. Portanto, estas informações devem refletir as características que o produto deve ter para atender as necessidades dos usuários (ROZENFELD *et al.*, 2009).

Figura 6 - Fases de projeto.

Fonte: Adaptado de Back *et al.* (2008) e Rozenfeld *et al.* (2009).

As necessidades dos usuários podem ser registradas através de diversas práticas e métodos, como questionários com os usuários e análises de uso do produto através da análise ergonômica. As informações levantadas que expressam as necessidades dos usuários devem ser triadas, classificadas e agrupadas de modo a formar as necessidades que sejam representativas e que expressem as vontades e desejos (qualidades) dos usuários sobre o produto. Estas necessidades estão relacionadas aos requisitos dos usuários (BACK *et al.*, 2008; ROZENFELD *et al.*, 2009).

Para que a equipe de projeto obtenha uma compreensão correta das necessidades do usuário, é necessário que os requisitos de usuário sejam escritos em uma linguagem técnica de projeto. Dessa forma, é possível aprimorá-los em requisitos de projeto – parâmetros mensuráveis associados à descrição do desempenho esperado para o produto. No processo de desenvolvimento de produto, as informações são refinadas a cada fase que o produto evolui, desde a elicitación das necessidades dos usuários à especificação dos requisitos do projeto (ROZENFELD *et al.*, 2009).

Em relação à ergonomia do produto, os requisitos dos usuários geralmente estão relacionados com conforto, segurança e eficácia (qualidades desejadas). Refinando-os em requisitos de projeto, podem ser determinados os parâmetros antropométricos necessários para a configuração adequada do produto, tais como medidas de alcance, medidas lineares, zonas de conforto articular, dentre outros (IIDA, 2005). A Figura 7 apresenta uma matriz de dois eixos, contendo os requisitos do usuário e os requisitos de projeto. O relacionamento entre os elementos da matriz demonstra o quanto determinado requisito de projeto atende aos requisitos do usuário. Essa ferramenta possibilita à equipe de projeto determinar quais aspectos do produto devem ser atendidos, considerando as prioridades do projeto.

Figura 7 – Requisitos de usuário / Requisitos de projeto.

		Requisitos de projeto					
		Forma	Dimensionamento	Material	Outros		
Ergonomia	Conforto						
	Segurança						
	Eficácia						

Fonte: Adaptado de Rozenfeld *et al.* (2009).

Os requisitos ergonômicos para o projeto de produto são descritos detalhadamente no item 2.1.1 na presente pesquisa.

2.1.1 Requisitos ergonômicos para o projeto de produto

Os requisitos para o desenvolvimento do produto podem estar relacionados a aspectos da qualidade de desempenho funcional do produto, aos fatores humanos (ergonomia), ao ciclo de vida, à confiabilidade, dentre outros. Através das ferramentas de registro e seleção, como os questionários estruturados, entrevistas, *Brainstorming*, diagramas de afinidades e a Matriz da Casa da Qualidade (QFD), as necessidades dos usuários podem ser estruturadas e quantificadas para aplicação no processo de projeto (ROZENFELD *et al.*, 2009).

Os requisitos de usuário relacionados à ergonomia no projeto de produto são conceituados e definidos como fatores ergonômicos, relativos à tarefa, à segurança, ao conforto, alcances, posturas, aplicação de forças e materiais. Estes requisitos dependem fundamentalmente dos parâmetros antropométricos e, estas informações devem fazer parte do repertório do projetista e necessitam ser estabelecidas ao iniciar qualquer projeto de produto ou espaço de trabalho. Evidentemente, conforme à natureza e especificações de uso do referido produto (IIDA, 2005; GOMES FILHO, 2010).

A tarefa é conceituada como um conjunto de ações humanas em que torna possível um sistema atingir um resultado pretendido (MORAES; MONT'ALVÃO, 1998). É a utilização de um determinado produto em relação à sua função de uso. Os fatores ergonômicos relacionados à tarefa podem tanto auxiliar como trazer dificuldades ao usuário em relação à utilização de um produto, sobretudo, em termos de suas características antropométricas, sua postura corporal, membros envolvidos durante o movimento e os alcances. Assim, a análise da tarefa é de fundamental importância, pois define os parâmetros antropométricos que irão influenciar nas características de conforto, segurança e eficácia do produto, alcances físicos (GOMES FILHO, 2010).

O requisito conforto é conceituado como uma qualidade de comodidade, bem-estar, ou até mesmo a segurança percebida pelo usuário em níveis físicos e sensoriais. Assim, apresenta-se muitas vezes atrelado ao fator segurança e às

condições subjetivas, o que o torna, sobretudo, difícil de ser quantificado. Entretanto, o requisito conforto pode ser avaliado em relação às condições ou situações de uso dos produtos e aos parâmetros antropométricos. O uso de produto desconfortável pode provocar diversos tipos de fadiga, lesões e doenças no organismo humano como LER (lesões por esforços repetitivos) e DORT (distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho) (MORAES; MONT'ALVÃO, 1998).

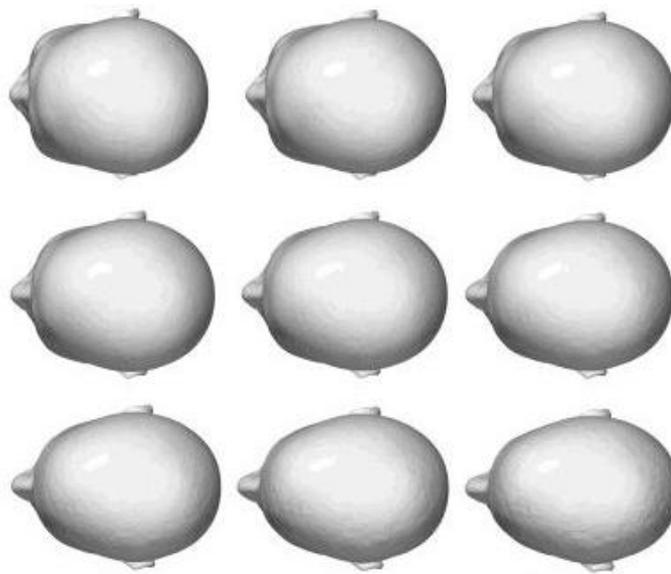
Os alcances são definidos como o volume espacial que o usuário consegue atingir. As questões ergonômicas relacionadas aos alcances ocorrem quando o indivíduo não consegue alcançar os produtos ou os elementos que os compõem como, por exemplo, os controles de uma cabine de aeronave sem que haja um esforço para realizar estes alcances. Estas questões incidem diretamente nos requisitos de segurança e conforto (GOMES FILHO, 2010).

O requisito de usuário segurança, genericamente, diz respeito à confiança. Está relacionado ao uso do produto de forma segura e confiável em relação às suas características funcionais, operacionais e configuração formal, fundamentais para prevenir riscos de acidentes que possam envolver o usuário. O fator segurança sempre depende do tipo e da natureza do produto. Para alguns produtos a segurança é crucial, em outros é apenas relativa. Assim, pode-se quantificar o fator segurança em termos de maior ou menor qualidade em relação a sua importância, passando de um requisito com uma conceituação subjetiva para um requisito mensurável (GOMES FILHO, 2010).

A postura é definida como a organização dos segmentos corporais no espaço e se relaciona às características anatômicas e fisiológicas do corpo humano, obedecendo às leis da física e da biomecânica. A postura, portanto, depende sempre do tipo de envolvimento e relação do corpo humano com o uso de um produto. As questões ergonômicas decorrentes da postura dizem respeito ao conforto, à segurança e a facilidade de operacionalidade de determinados produtos e estações de trabalho, obedecendo às zonas de alcance físico máximo e mínimo. Posturas incorretas geram a médio e longo prazo de tempo problemas de fadiga muscular, deformação na coluna vertebral, problemas nas articulações e tendinites (MORAES; MONT'ALVÃO, 1998; GOMES FILHO, 2010).

Melhorias ergonômicas são obtidas por meio da aplicação dos parâmetros antropométricos corretos do usuário no PDP, e estes são definidos através da análise ergonômica de uso do produto (tarefa). Iida (2005) afirma que um produto adequado às características antropométricas terá um melhor desempenho da sua função e das características formais. Portanto, é necessário determinar o público usuário do produto a ser desenvolvido e aplicar as medidas antropométricas referentes a ele. Neste caso, um mesmo produto pode ser adequado a um determinado público alvo e não adequado a outro, pois as medidas antropométricas irão variar, ocasionando mudanças de dimensões do produto e, conseqüentemente, no conforto, na segurança e na eficácia do mesmo. Um exemplo que confirma a afirmação de Iida (2005), está nos estudos de Ball *et al.* (2010), que realizaram uma comparação entre duas diferentes populações, os chineses e os caucasianos (Fig. 8).

Figura 8 - Diferenças no perímetro craniano e na face entre as duas populações: os caucasianos e os chineses



Fonte: Ball *et al.* (2010).

Na Figura 8, é evidenciada a diferença entre as características antropométricas da geometria do perímetro craniano entre os chineses (formato esférico) e os caucasianos (formato oval). Esta diferença pode influenciar significativamente nos requisitos ergonômicos do usuário como conforto, segurança e no desempenho de produtos como capacetes, óculos, dentre outros (BALL *et al.*, 2010).

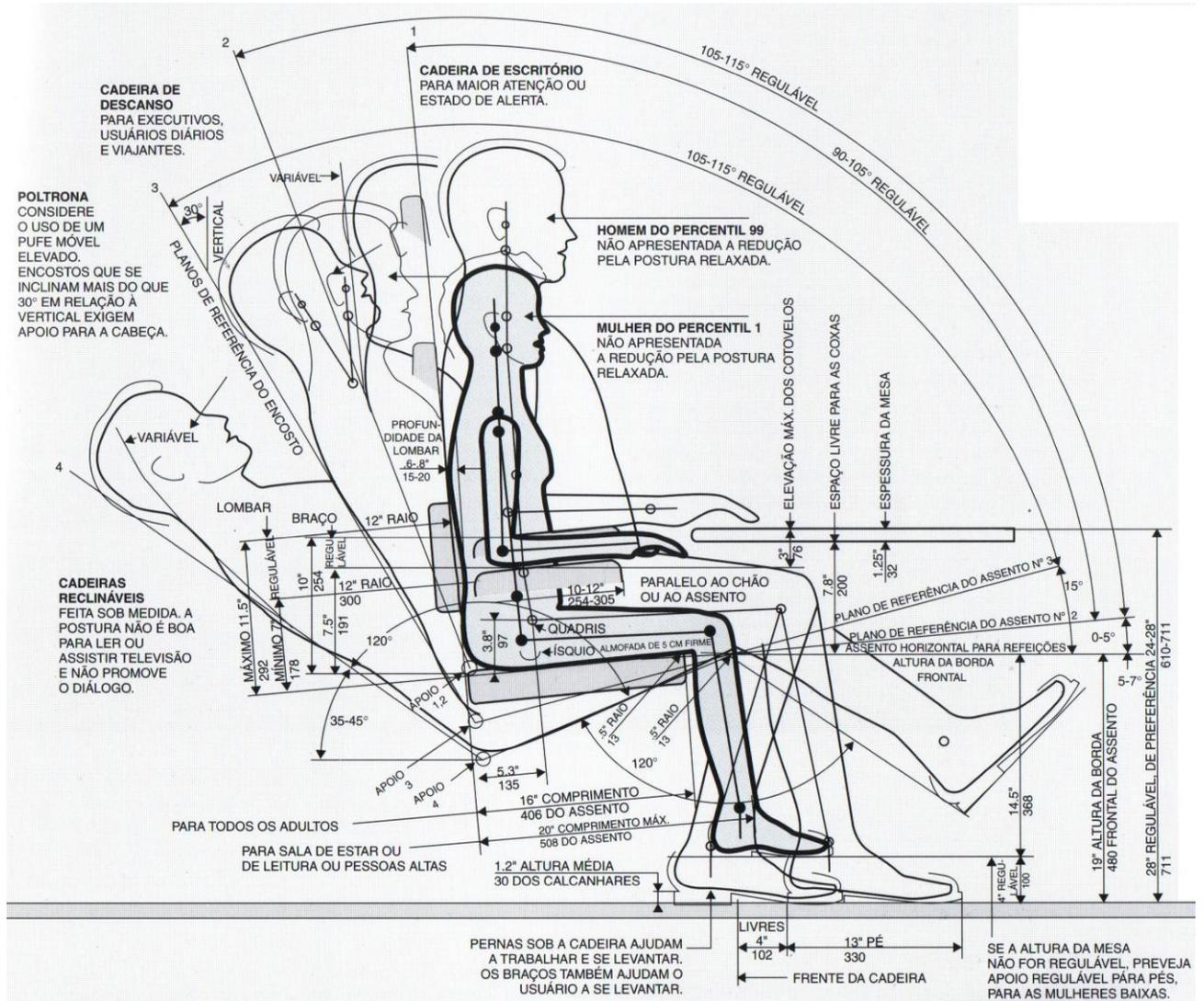
No PDP, é fundamental conhecer o usuário (público-alvo) e, assim, a identificação das suas necessidades e características físicas. Os parâmetros antropométricos estáticos e dinâmicos são aplicados no processo de projeto como requisitos de projeto e, assim, atendem às necessidades dos usuários para o desenvolvimento de produtos. Portanto, é fundamental uma correta definição dos usuários em termos de idade, sexo, etnia e profissão. Se é um produto utilizado por um único usuário, necessitando de personalização dos parâmetros antropométricos, ou se é um produto para uso de um grupo maior de usuários e, também, a identificação das variáveis antropométricas corretas para cada projeto de produto (CLARKSON, 2008; IIDA, 2005).

Para o design, a seleção dos parâmetros antropométricos estáticos e dinâmicos deve estar atrelada ao problema específico de cada projeto e na sua função. Em outras situações, pode ser necessário definir um projeto com capacidade de regulagem ou ajuste. A gama de regulagens deve ser baseada na antropometria do usuário, na natureza da tarefa e nas limitações físicas ou mecânicas envolvidas (IIDA, 2005). Por exemplo, o projeto de assento de cadeira é bastante complexo em função da variabilidade antropométrica da população em termos de tamanhos e proporções e das funções de cada produto. Assentos de jantar, cadeira de escritório e cadeiras de descanso, possuem funções diferentes e, assim, medidas e angulações diferentes, conforme é apresentado nos parâmetros antropométricos na Figura 9 (TILLEY; DREYFUSS, 2005).

Na Figura 9 são apresentadas as medidas relacionadas ao percentil 1 da mulher americana e do percentil 99 do homem americano. Nesta figura, é possível verificar os parâmetros da antropometria estática e da antropometria dinâmica. Há diferentes variações angulares recomendadas conforme as diferentes funções dos diferentes produtos. Neste caso, para cadeiras reclináveis, o recomendado é uma reclinção do encosto da cadeira de até 120°. Para cadeiras de descanso, a recomendação é uma reclinção da postura de 105-115° e para cadeiras de escritório, uma inclinação de 90-105°. Também, é possível obter as medidas máximas e mínimas do assento das cadeiras, altura da borda frontal do assento, apoio da lombar, profundidade da lombar, elevação dos cotovelos, espaço livre das coxas, regulagem da altura da mesa e do tampo da mesa (Fig. 9) em que os ângulos

da articulação do joelho e do quadril são levemente maiores que 90° (TILLEY; DREYFUSS, 2005).

Figura 9 - Variação dos parâmetros antropométricos para uma pessoa na posição sentada utilizando diferentes posições.

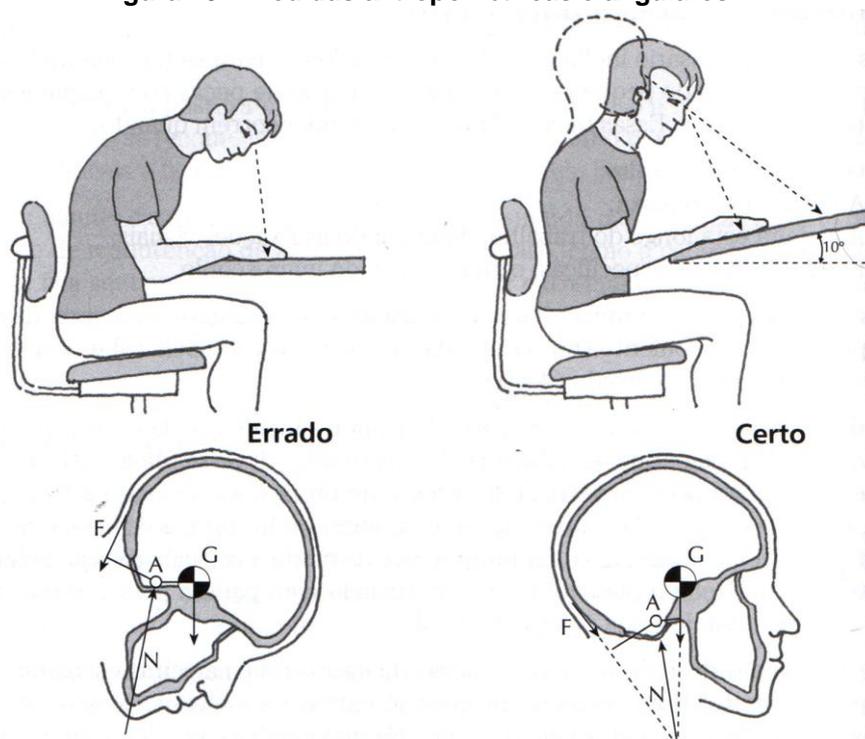


Fonte: Tilley e Dreyfuss (2005, p.51).

Em relação aos ângulos que devem ser considerados no projeto, os planos do assento e encosto não devem ser ortogonais (GOMES FILHO, 2010). O ângulo formado entre eles deve ser necessariamente maior que 90°. Ângulos ortogonais ou retos fazem com que o usuário naturalmente escorregue para frente, ou seja, seu tronco automaticamente sempre se curva para frente trazendo evidente desconforto. Assim, é recomendada uma pequena reclinção para trás tanto no assento quanto no encosto, como forma de impedir que o corpo deslize para frente. As medidas dos ângulos estão relacionadas ao conforto articular do corpo humano. No exemplo da

Figura 10, o indivíduo está exercendo uma tarefa de leitura, na posição sentado, onde o produto que está sobre a mesa de trabalho está relacionado à medida antropométrica do indivíduo, à altura do tampo da mesa e à altura do assento da cadeira. Nessa figura, onde está sinalizado 'Errado', a articulação do pescoço e a coluna vertebral do indivíduo estão em uma angulação (postura) incorreta, em que ultrapassa 10° a zona delimitada como ângulo de conforto articular. Para corrigir a postura incorreta, a angulação do tampo da mesa de trabalho é alterada, em uma angulação de 10° , para que a postura do indivíduo se torne correta e confortável e, assim, os ângulos do corpo permanecem na zona de conforto articular (IIDA, 2005).

Figura 10 – Medidas antropométricas e angulares.



Fonte: IIDA, 2005, p.168.

Os parâmetros antropométricos aplicados no desenvolvimento de produtos estão relacionados às funções dos produtos, aos percentis que caracterizam determinada população e à medida que contemplam os parâmetros de limites e amplitudes do movimento e de conforto articular. Os parâmetros antropométricos relacionados ao movimento do corpo humano (dinâmicos) são obtidos através da análise do uso de um determinado produto, e o método para identificar e obter esses parâmetros antropométricos é denominado de análise ergonômica, assunto abordado no item 2.2 (TILLEY; DREYFUSS, 2005).

2.2 Análise Ergonômica do produto

A análise ergonômica tem como objetivo analisar, diagnosticar e corrigir uma situação real de trabalho ou uso de um determinado produto e, assim, obter os parâmetros antropométricos estáticos e, principalmente, os dinâmicos, necessários para o projeto (MORAES; MONT'ALVÃO, 1998). Segundo Vidal (2002), as análises ergonômicas são análises quantitativas e qualitativas, pois permitem a descrição e a interpretação do uso de um determinado produto. A análise ergonômica é dividida em cinco etapas (Fig. 11): análise da demanda; análise da tarefa; análise da atividade; diagnóstico e recomendações ergonômicas (IIDA, 2005).

Figura 11 - etapas da análise ergonômica.



Fonte: Adaptado de Iida (2005)

A primeira etapa da análise ergonômica é aquela onde o problema é identificado, denominada de Etapa da Demanda. Na segunda etapa, denominada de Etapa da tarefa, é realizada a prescrição de como a atividade deve ser realizada, são prescritas as posturas adequadas e as instruções de uso do produto. A partir destas prescrições, na Etapa da Atividade, é realizada a análise de como o produto está sendo utilizado. São comparadas as posturas e as instruções de uso com o prescrito e o realizado pelo usuário. Após estas análises, na Etapa de Diagnóstico, as questões ergonômicas são identificadas por meio da comparação entre a Etapa da Atividade e da Tarefa e os resultados são descritos na Etapa de Recomendações ergonômicas (IIDA, 2005).

Assim, é possível formular um diagnóstico para descobrir as causas que provocam o problema identificado e descrito na Demanda. Por exemplo, identificar problemas que podem causar a fadiga, lesão ou dores musculares e, até mesmo, acidentes gerados pelo dimensionamento incorreto do produto. Desta forma, as recomendações ergonômicas estão relacionadas aos parâmetros antropométricos adequados para determinado produto (IIDA, 2005). Portanto, a análise ergonômica é

um método utilizado para verificar e analisar o uso do produto e obtenção dos parâmetros antropométricos dinâmicos para aplicação no PDP.

Alguns autores apresentam o desenvolvimento de métodos para a realização das análises ergonômicas de produtos, como: Tilley e Dreyfuss (2005), Iida (2005); Guimarães (2002); K. Jung *et al.* (2009); G. De Magistris *et al.* (2013) e Gómez-Bull *et al.* (2015). Estes autores descrevem em seus trabalhos a realização da análise ergonômica como uma etapa fundamental para verificação do comportamento postural do usuário enquanto a realização da tarefa.

Durante o uso de um produto, o usuário pode sofrer algum esforço fatigante na musculatura ou nas articulações, podendo sentir dor ou lesão, ou até mesmo algum acidente devido ao dimensionamento incorreto dos produtos. Portanto, os autores definem a análise ergonômica como uma etapa do desenvolvimento de produto essencial para a identificação e definição dos parâmetros antropométricos dinâmicos necessários para aplicação destes no projeto (TILLEY; DREYFUSS, 2005; IIDA, 2005; GUIMARÃES, 2002; K. JUNG *et al.*, 2009; G. DE MAGISTRIS *et al.*, 2013; GÓMEZ-BULL *et al.*, 2015).

No trabalho de Gómez-Bull *et al.* (2015), por exemplo, foram realizados dois estudos de caso com protótipos em escala real: o primeiro em uma montadora de peças automobilísticas e o segundo em uma indústria calçadista, na cidade do México. O método de análise ergonômica utilizado pelos autores é constituído por 5 etapas principais: reconhecimento da tarefa, registro por vídeo, seleção das variáveis antropométricas analisadas, análise da tarefa efetuada e as recomendações ergonômicas. Krüger e Nguye (2015) desenvolvem um processo que facilita a análise ergonômica através da automatização de dados posturais corretos por meio de um *software* específico. Este possibilita reconhecer as posturas corretas pré-estabelecidas de uma determinada tarefa, registrada por vídeo, a fim de auxiliar na análise ergonômica e na identificação das posturas incorretas durante o uso de um produto, prevenindo dores e lesões.

As análises ergonômicas realizadas com protótipos físicos de produtos e em escala real, como no exemplo da Figura 12, são frequentemente utilizadas para auxiliar no desenvolvimento de projetos de produtos. Por meio destas análises, é possível verificar as medidas das distâncias dos alcances máximos e mínimos dos

pés e das mãos e dos ângulos de conforto articular do corpo humano ao exercer a tarefa.

Figura 12 – Análise ergonômica dos comandos de uma cabine de avião.



Fonte: Tilley e Dreyfuss (p.12, 2005).

Ao fazer o cruzamento destas informações com o presente trabalho, fica evidente a necessidade de realizar a análise ergonômica do uso de um produto, a partir de etapas pré-definidas, como, por exemplo: a determinação da tarefa, análise de como está sendo efetuada esta tarefa, avaliação das informações observadas, obtenção dos parâmetros antropométricos adequados e aplicação destes no PDP.

2.2.1 Postura do corpo

A postura é conceituada pelo posicionamento relativo de partes do corpo (como cabeça, tronco e membros) no espaço. A boa postura é importante para que se realizem as funções de uso de um produto sem esforço e estresse muscular. As posturas inadequadas e os produtos com dimensões inadequadas podem provocar nos usuários dores corporais, fadigas e doenças ocupacionais que podem vir a ser resolvidas com providências simples, como o aumento ou redução da altura de uma mesa ou cadeira, proporcionando maior conforto, segurança e eficácia no uso (IIDA, 2005). Para as medições relacionadas às análises de movimento e posturas, existem instrumentos específicos. A disciplina que trata deste assunto é a biodinâmica, a qual trabalha com a análise do movimento humano e suas relações interdisciplinares (AMADIO; BARBANTI, 2000).

As técnicas de sistemas de captura e análise de movimento podem ser divididas em bidimensionais e tridimensionais. As técnicas bidimensionais de análise do movimento são limitadas, pois não permite a visualização das rotações e dos deslocamentos laterais dos corpos, o que invalida qualquer cálculo espacial. Com base nestas limitações, os pesquisadores Wilhelm Braune e Ott Fischer, em 1895, estudaram a análise da marcha humana e introduziram a reconstrução tridimensional através da utilização de quatro câmeras posicionadas lateralmente, permitindo a conversão de coordenadas bidimensionais de cada ponto da imagem em coordenadas tridimensionais espaciais do objeto estudado (MORAES, 2000).

O processo fotogramétrico de obtenção das coordenadas de uma imagem por meio de câmeras foi inicialmente realizado através da utilização de filmes e equipamentos analógicos, o que tornava o processo muito demorado. No entanto, o avanço da tecnologia permitiu a sua substituição por capturas eletrônicas automáticas e em tempo real. O procedimento é efetuado com a colocação de marcadores no indivíduo a ser mensurado, em movimento, para que seja possível identificá-los dentro do volume de aquisição das câmeras (MORAES, 2000). As medidas antropométricas das variáveis, por exemplo, podem ser obtidas através das medições entre estes marcadores.

Tanto a fotogrametria quanto as imagens geradas por câmeras de vídeo, necessitam da colocação dos marcadores para avaliação do movimento do corpo em 3D. Os marcadores colocados sobre pontos anatômicos identificados pela palpação se tornam pontos refletores de luz ao serem iluminados pelo sistema de luz nas câmeras de vídeo e os sinais refletidos são captados por elas. Os marcadores podem ser divididos em marcadores ativos e passivos. Os marcadores ativos geralmente são diodos emissores de luz (LEDs), que emitem luz infravermelha ao sensor; e marcadores passivos são dispositivos refletores a luz ambiente ou projetada de volta ao sensor. Este sistema de captura de imagem através dos marcadores é composto de *hardware* e *software*, integrando câmeras de vídeo a um determinado *frame*. Os dados obtidos pelas câmeras de vídeo são enviados ao computador e são processados por um *software* específico que realiza a integração dos sinais provenientes das câmeras de vídeo com a finalidade de

obter as imagens tridimensionais através de reconstrução fotogramétrica (MORAES, 2000).

Assim, é possível analisar e ter a descrição completa da amplitude do movimento das articulações. Estas características podem ser determinadas a partir do conhecimento de parâmetros como as coordenadas x , y e z , constituindo o vetor posição e, também, os parâmetros relacionados aos ângulos x , y e z , que são as variações rotacionais em torno dos eixos no sistema de coordenadas. Os maiores problemas que devem ser considerados são as alterações nos eixos de rotação onde os marcadores encontram-se colocados e que se deslocam durante a marcha e os movimentos da pele e dos tecidos moles. É importante considerar a necessidade de uma adequada calibração do sistema de coordenadas das câmeras em relação ao sistema de coordenadas do laboratório ou centro de medição (MORAES, 2000).

Guimarães (2000) apresenta alguns métodos de análise ergonômica para avaliação da postura dos indivíduos no ambiente do trabalho, como: observações, entrevistas e questionários. Essa afirma que a escolha do método específico depende dos recursos disponíveis e da precisão requerida dos dados. Segundo Guimarães (2000), existem métodos de análise ergonômica que possibilitam medições mais precisas, como, por exemplo: as medições por dispositivos de registros eletromiográficos, registros de posturas e movimentos por goniômetros digitais, acelerômetros e dispositivo óptico-eletrônico.

Para a realização da análise da postura do usuário ao utilizar um produto, é necessário ter dados sobre a tarefa e a atividade, sobre os produtos envolvidos, as condições físicas dos usuários e o meio ambiente em que está sendo executada a tarefa; denominado contexto de uso. Para auxiliar nas análises posturais durante a execução de uma tarefa, existem modelos fisiológicos que servem para fornecer informações sobre a conversão e o consumo de energia. Possibilitando a identificação das capacidades e limitações fisiológicas relacionadas à movimentação do indivíduo durante a execução de uma tarefa. (GUIMARÃES, 2000). Para o desenvolvimento de projeto de produtos, é importante o uso de modelos humanos digitais ergonômicos, que representem o usuário real, para auxiliar nas análises

ergonômicas e, assim, obter as informações necessárias para o projeto (JUNG *et al.*, 2009).

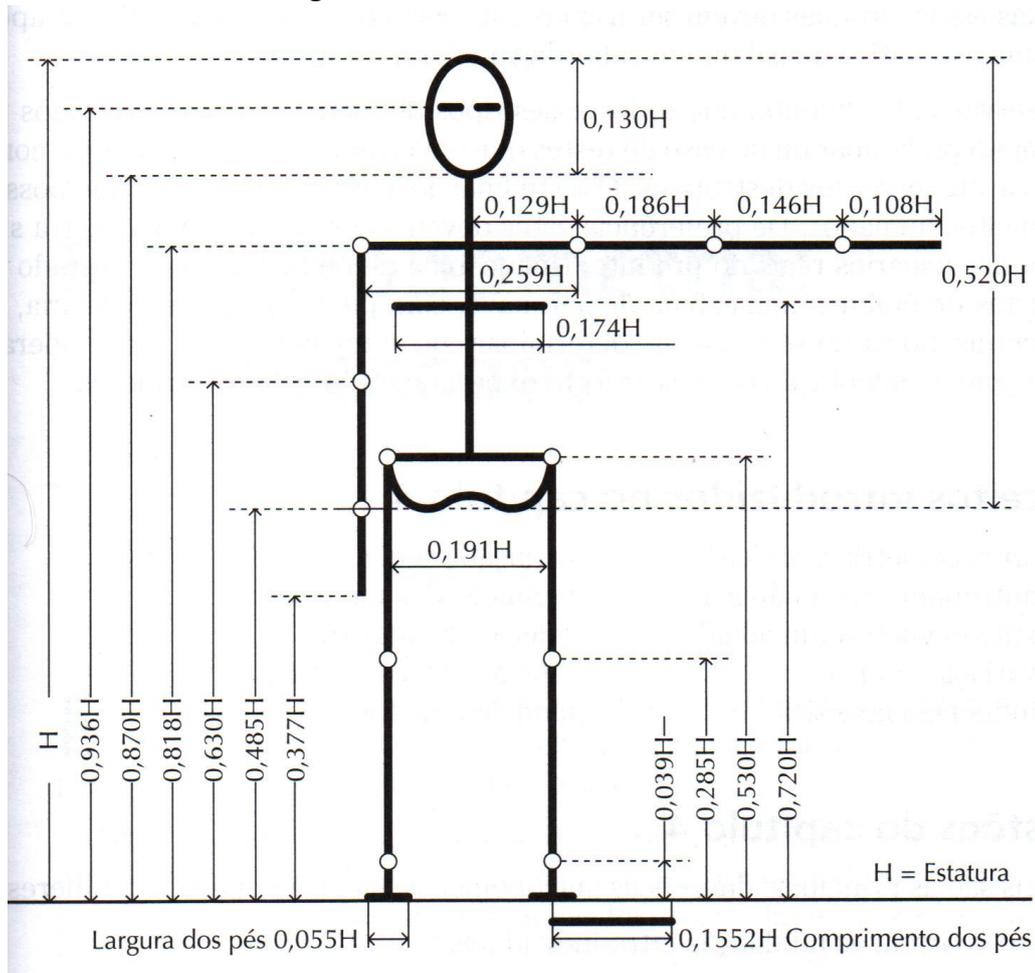
2.3 Modelos Humanos Digitais (MHD) e a simulação virtual

Os estudos descritos no item 2.2 trazem informações de análises ergonômicas realizadas com uso de participantes reais em ambientes físicos e protótipos de produtos e estações de trabalho em escala real. Para minimizar questões de custo e a participação de usuários reais nas análises ergonômicas, foram desenvolvidos MHD (Modelo Humano Digital) para serem utilizados em ambientes virtuais para a realização das análises ergonômicas. Os MHD são desenvolvidos a partir dos parâmetros antropométricos identificados e são utilizados conforme a especificidade e necessidade de cada projeto. Os modelos descritos neste item são modelos humanos utilizados em análises ergonômicas para o desenvolvimento de projetos de produtos e estações de trabalho. Segundo Lida (2005), os MHD podem ser representados em diferentes formatos (matemáticos, bidimensionais, tridimensionais e modelos digitais).

Os modelos matemáticos eram desenvolvidos a partir da medição de duas ou três variáveis antropométricas do corpo e as demais medidas eram obtidas por fórmulas matemáticas em função destas variáveis, o que era uma vantagem em termos de facilidade de obtenção das medidas de todo o corpo (Fig. 13). Porém, a dificuldade do uso destes modelos matemáticos está relacionada a muitos segmentos corporais não serem proporcionais entre si, o que poderia causar erros de medidas antropométricas (IIDA, 2005).

Como exemplos de pesquisadores que desenvolveram estudos com modelos matemáticos, estão: Kroemer (1994), Contini e Drillis (1966), Siqueira (1976) e Roozbazar (1977). Entretanto, esses autores afirmam que os modelos matemáticos só podem ser utilizados no projeto como uma estimativa inicial para o levantamento de parâmetros antropométricos, porque não há precisão das medidas através desses modelos (IIDA, 2005).

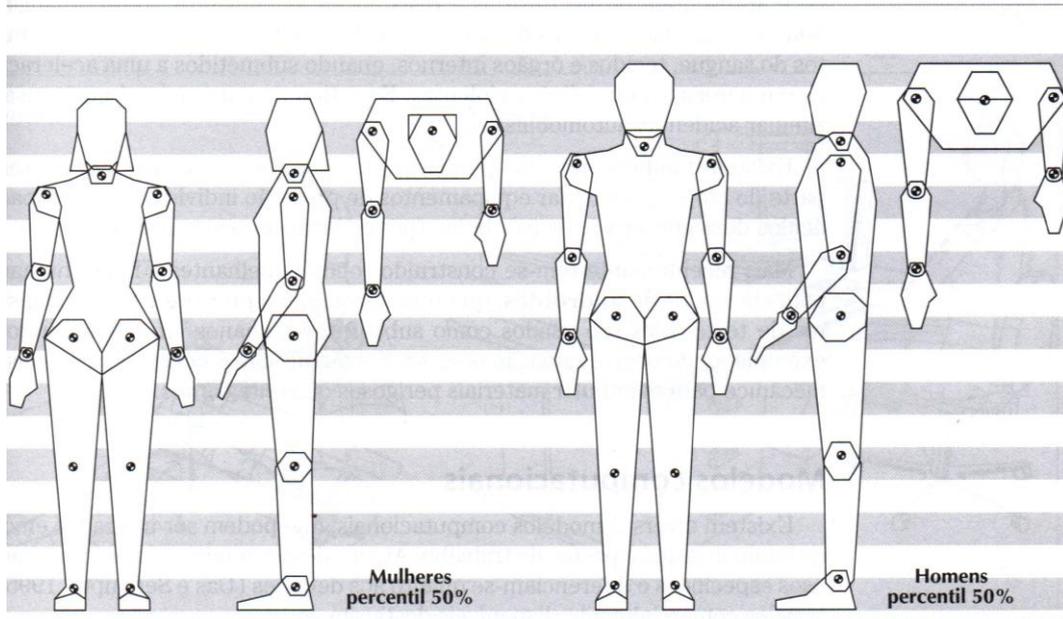
Figura 13 - Modelo humano matemático.



Fonte: IIDA (2005, p.133).

Outro formato de modelo humano é o modelo bidimensional ou planificado. Esses representam apenas uma das vistas do corpo humano, como as vistas lateral, frontal ou superior. Normalmente, representam homens e mulheres com os percentis de 5%, 50% e 95% e são construídos em diferentes escalas. São modelos produzidos com baixo custo de fabricação utilizando material como papelão e polímero. A finalidade de uso destes modelos é para análises de estações de trabalho ou de produtos que não requerem maior precisão e detalhamento de medidas antropométricas (IIDA, 2005). A Figura 14 apresenta um exemplo de modelo humano bidimensional desenvolvido para ser utilizado em protótipos de projeto de produto.

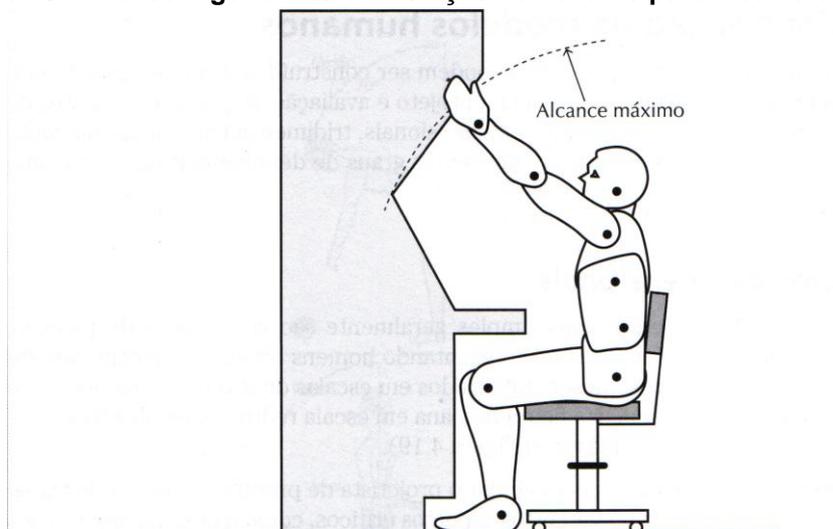
Figura 14 - Modelos Humanos bidimensionais representando o percentil 50% em escala reduzida.



Fonte: IIDA (2005, p.129)

Os primeiros modelos humanos ergonômicos que se tem registro para o projeto, são os modelos bidimensionais, usados para ilustrar situações de interação do projeto com o homem e o ambiente. Boa parte dessas aplicações se dava de forma muito restrita, com pouca precisão dimensional e com medidas antropométricas limitadas (OLIVEIRA, 2013). A Figura 15 apresenta um exemplo do uso de um modelo bidimensional para realização da análise ergonômica em uma estação de trabalho.

Figura 15 - Análise ergonômica em estação de trabalho para medir alcances.



Fonte: IIDA (2005, p.130)

Conforme apresentado nas Figuras 14 e 15, é notado que os modelos humanos bidimensionais são limitados e não representam a anatomia fiel do corpo humano, nos seus movimentos e nos parâmetros antropométricos aplicados. Um dos maiores problemas desses modelos é que, como não são customizáveis, as medições ficam restritas aos percentis 5%, 50% e 95%. Estas restrições limitam o desenvolvimento de produtos com maior precisão de medidas, gerando produtos que durante o seu uso podem ocasionar acidentes, causar desconforto ou lesões nos músculos e nas articulações (TILLEY; DREYFUSS, 2005).

Devido a problemas relacionados com o uso dos modelos humanos bidimensionais, foram desenvolvidos modelos humanos em formato tridimensional, mais completos que os bidimensionais, pois reproduzem com maior fidelidade o contorno e o volume do corpo humano, representado em três dimensões. Os modelos tridimensionais desenvolvidos para o meio digital passaram a ser denominados de modelos humanos digitais (MDH), utilizados principalmente em áreas como a biomecânica e a ergonomia, pois possibilita a obtenção de parâmetros antropométricos estáticos e dinâmicos, assim como, parâmetros relacionados à distribuição de pesos, força e resistência ao impacto (IIDA, 2005).

Existem no mercado *softwares* contendo os MHD em diversos níveis de complexidade de modelos. A aquisição destes *softwares* de maior ou menor complexidade é decidida a partir das demandas de projeto bem como do investimento financeiro (HELIN *et al.* 2012). Diversos estudos foram desenvolvidos utilizando MHD tridimensionais para análise ergonômica de produtos e de estações de trabalho. Conforme Jung *et al.* (2009), o desenvolvimento de projeto de produto utilizando MHD nas análises ergonômicas torna o processo de avaliação, diagnóstico e revisão mais rápido e econômico. Além de possibilitar diversas análises ergonômicas em diferentes etapas do desenvolvimento do projeto. Em seu trabalho, Jung *et al.* (2009) desenvolveram um método de geração de modelos humanos, implementado em um sistema baseado na Web, para analisar o interior de projetos de automóveis. Entretanto, o estudo realizado não apresenta uma análise ergonômica utilizando o MHD desenvolvido. Os autores apenas citam que poderá ser utilizado para fins de análises e recomendam a necessidade de aprimorar o

MHD e acrescentar informações ao banco de dados relacionadas as medidas das variáveis que representem outras populações.

Kuo e Chu (2005) utilizam modelos humanos em sistemas baseado na web em que há modelos disponíveis em vários padrões de medidas. Os autores realizam a análise ergonômica em ambiente virtual e os MHD desenvolvidos contemplam os parâmetros antropométricos de adultos representando a população de Taiwan (Fig. 16). Nesta figura, é apresentado um MHD com a antropometria de um homem adulto de Taiwan, com o percentil 50% da variável antropométrica estatura, o qual foi utilizado para auxiliar na análise ergonômica do interior do automóvel.

Figura 16 - imagem de análise ergonômica de interior de automóvel.



Fonte: Kuo e Chu (2005).

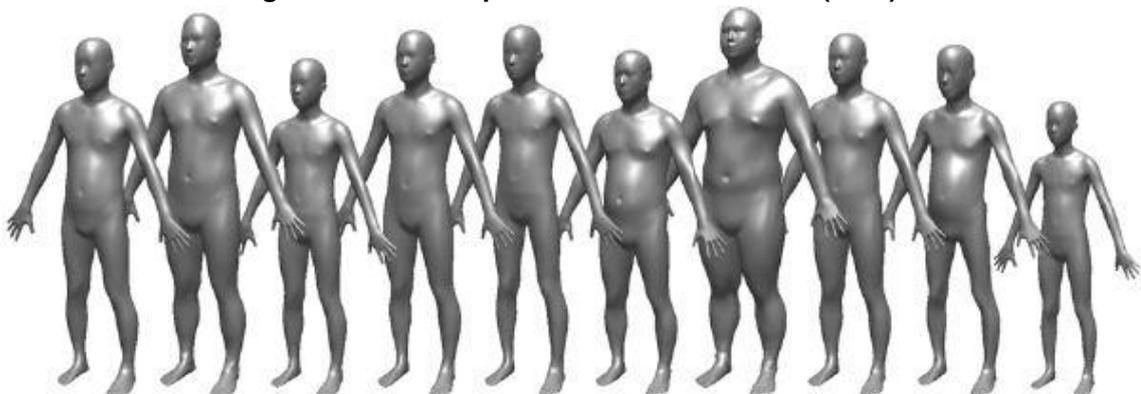
Jung *et al.* (2009) e Kuo e Chu (2005) desenvolvem em seus estudos *softwares* contendo uma variação relevante de percentis de MHD em banco de dados para serem utilizados nas análises ergonômicas. Porém, estes MHD são limitados na questão da customização das variáveis antropométricas, uma vez que os dados são fixos e não possibilitam qualquer alteração fora do determinado no banco de dados. A relevância dos estudos de Jung *et al.* (2009) e Kuo e Chu (2005) está na variabilidade de MHD e, para o presente estudo, a possibilidade de registrar estas informações (modelos padrões) em um banco de dados. Esse registro pode facilitar estudos de casos de análises ergonômicas, sendo uma opção para o uso de modelos humanos que não necessitem de medidas personalizadas.

Autores como Grajewski *et al.* (2013), B.-Y. Koo *et al.* (2015) e Baek e Lee (2012) concluíram em suas pesquisas que é fundamental utilizar a tecnologia como

a simulação virtual para auxiliar na análise ergonômica do uso de produto e, assim, minimizar erros de projeto. Grajewski *et al.* (2013), por exemplo, desenvolveram um sistema utilizando a realidade virtual para auxiliar nas análises ergonômicas em que utilizam protótipos virtuais de locais de trabalho que permitem realizar uma análise completa e otimização de soluções. Principalmente, relacionadas à segurança do trabalho, sem necessidade de construir protótipos físicos, como é feito tradicionalmente. O estudo de Grajewski *et al.* (2013) enfatiza a relevância do uso de tecnologias para auxiliar nas análises ergonômicas como o desenvolvimento de produtos virtuais, eliminando desta forma os protótipos físicos durante as fases do PDP. Entretanto, os estudos de análise ergonômica utilizando a realidade virtual em CAVE¹, mesmo eliminando protótipos físicos dos produtos, necessitam de um grande número de participantes reais para as análises ergonômicas.

Baek e Lee (2012) desenvolveram um MHD parametrizado no qual permite a variabilidade de medidas do corpo humano (Fig. 17). B.-Y. Koo *et al.* (2015) aprimoraram os estudos de Baek e Lee (2012) resolvendo problemas demarcados pelos autores como a precisão de medidas gerando, desta forma, modelos mais realistas em relação ao corpo humano. Entretanto, apesar dos trabalhos desses autores contribuírem para a presente pesquisa, no sentido de desenvolver um método para a parametrização de MHD a partir de um modelo base, o mesmo não permite o movimento das articulações. O que elimina a possibilidade de utilizar o MHD desenvolvido pelos autores para uso em análises ergonômicas.

Figura 17 - Modelo paramétrico de Baek e lee (2012)



Fonte: Adaptado de Baek e lee (2012)

¹ Cave Automatic Virtual Environment (ambiente físico contendo um sistema de multiprojeção para realidade virtual). Fonte: Traduzido pela autora de Grajewski *et al.* (2013).

Conforme o objetivo da presente pesquisa de desenvolver um MHD Paramétrico, os estudos apresentados são de fundamental importância, pois além de enfatizarem a relevância e a necessidade de usar MHD para auxiliar nas análises ergonômicas, apresentam diversos modelos e métodos que podem auxiliar no desenvolvimento do MHD na presente pesquisa.

Os estudos descritos apresentam problemas a serem solucionados em relação aos MHD existentes e afirmam a necessidade da customização das variáveis antropométricas e do movimento das articulações do MHD, conforme o movimento real do corpo humano para a realização das tarefas nas análises ergonômicas. Para o desenvolvimento do MHD proposto na presente pesquisa é necessário contemplar assuntos como *softwares* livres e de códigos abertos, e as diferenças entre estes *softwares* para ter o conhecimento necessário a fim de selecionar os *softwares* que serão utilizados para o desenvolvimento do MHD (assunto que é tratado no item 3 da presente pesquisa).

2.4 Métodos para obtenção de parâmetros antropométricos

As metodologias de levantamento antropométrico para o projeto de produto ergonômico “permitem saber como a pesquisa foi planejada e executada; quais foram as variáveis antropométricas medidas; como foram feitas essas medições e análises; e que tipo de cuidados ou controles foram exercidos durante o experimento” (IIDA, 2005, p.33).

Os métodos para a realização das medições antropométricas se classificam em dois tipos: diretos e indiretos. Nos métodos diretos, são utilizados instrumentos que envolvem o contato físico com o indivíduo a ser mensurado. Usam-se réguas, trenas, fitas métricas, esquadros, paquímetros, transferidores, balanças e outros instrumentos semelhantes. Nos métodos indiretos, são utilizados sistemas de registro que não envolvem o contato físico diretamente no indivíduo, como os sistemas de digitalização tridimensional e fotogrametria (IIDA, 2005).

O levantamento dos parâmetros antropométricos compreende as etapas de definição de objetivos, definição das variáveis antropométricas a serem medidas, da necessidade de detalhamento ou precisão destas medidas, a escolha do método, seleção de amostra e as análises estatísticas, que orientam o pesquisador em saber

“onde” e “para que” está sendo realizado o levantamento antropométrico. É necessário selecionar um número limitado de indivíduos que participarão da pesquisa para que seja possível reproduzir, da melhor forma possível, as características presentes do universo em que estes indivíduos representam (IIDA, 2005).

Cada medição a ser efetuada deve especificar a sua localização, direção e postura. A localização indica o ponto do corpo a partir de outro ponto de referência, a direção indica se o comprimento é medido no sentido horizontal ou vertical, e a postura indica a posição do corpo, sentado, em pé ereto ou relaxado (IIDA, 2005). Para a maioria das medições relacionadas à antropometria estática, o corpo do sujeito é colocado numa postura reta e ereta, com os segmentos corporais nos ângulos de 180, 0, ou 90 graus em relação aos pontos demarcados (IIDA, 2005; NORTON; OLDS, 2005; PANEIRO; ZELNICK, 2002).

Para facilitar o processo de localização das variáveis antropométricas do corpo para medição, Lida (2005) apresenta a norma alemã DIN 33402 de junho de 1981, que contém uma das tabelas de variáveis antropométricas mais completas, abrangendo 38 variáveis do corpo, medidas conforme os pontos anatômicos do corpo. Na Figura 18, são apresentadas as principais variáveis antropométricas do corpo utilizadas para as medições, assim como as posturas em pé, sentado, as variáveis antropométricas da cabeça, das mãos e dos pés. As cotas apresentadas na Figura 18 representam as variáveis antropométricas e, no Quadro 1, estas variáveis são descritas detalhadamente.

Para o desenvolvimento de projeto de produto, devem ser definidas as variáveis antropométricas do corpo e os pontos anatômicos, que serão mensurados conforme a necessidade de cada projeto. Muitas vezes não é possível obter os parâmetros antropométricos pelo método direto, principalmente, se houver a necessidade de medidas personalizadas e complexas, como as medidas relacionadas à silhueta do corpo. D'Apuzzo (2009), Tong *et al.* (2012) e Simmons (2001) afirmam que os métodos mais indicados para a obtenção de medidas que envolvem ângulos, contornos e superfícies complexas do corpo são os que utilizam os sistemas indiretos de medição.

Quadro 1 - Descrição das variáveis antropométricas conforme apresentado na Figura 18.

1. CORPO EM PÉ
1.1 ESTATURA, CORPO ERETO
1.2 ALTURA DOS OLHOS, EM PÉ, ERETO
1.3 ALTURA DOS OMBROS, EM PÉ, ERETO
1.4 ALTURA DO COTOVELO, EM PÉ, ERETO
1.5 ALTURA DO CENTRO DA MÃO, BRAÇO PENDIDO, EM PÉ
1.6 ALTURA DO CENTRO DA MÃO, BRAÇO ERGUIDO, EM PÉ
1.7 COMPRIMENTO DO BRAÇO, NA HORIZONTAL, ATÉ O CENTRO DA MÃO
1.8 PROFUNDIDADE DO CORPO, NA ALTURA DO TÓRAX
1.9 LARGURA DOS OMBROS, EM PÉ
1.10 LARGURA DOS QUADRIS, EM PÉ
2. CORPO SENTADO
2.1 ALTURA DA CABEÇA, A PARTIR DO ASSENTO, CORPO ERETO
2.2 ALTURA DOS OLHOS, A PARTIR DO ASSENTO, ERETO
2.3 ALTURA DOS OMBROS, A PARTIR DO ASSENTO, ERETO
2.4 ALTURA DOS COTOVELO, A PARTIR DO ASSENTO, ERETO
2.5 ALTURA DO JOELHO SENTADO
2.6 ALTURA POPLÍTEA (PARTE INFERIOR DA COXA)
2.7 COMPRIMENTO DO ANTEBRAÇO, NA HORIZONTAL ATÉ O CENTRO DA MÃO
2.8 COMPRIMENTO NÁDEGA-POPLÍTEA
2.9 COMPRIMENTO NÁDEGA-JOELHO
2.10 COMPRIMENTO NÁDEGA-PÉ, PERNA ESTIRADA NA HORIZONTAL
2.11 ALTURA DA PARTE SUPERIOR DAS COXAS
2.12 LARGURA ENTRE COTOVELOS
2.13 LARGURA DOS QUADRIS, SENTADO
3. CABEÇA (EM PÉ OU SENTADO)
3.1 COMPRIMENTO VERTICAL DA CABEÇA
3.2 LARGURA DA CABEÇA, DE FRENTE
3.3 LARGURA DA CABEÇA, DE PERFIL
3.4 DISTÂNCIA ENTRE OS OLHOS
3.5 CIRCUNFERÊNCIA DA CABEÇA
4. MÃOS (EM PÉ OU SENTADO)
4.1 COMPRIMENTO DA MÃO
4.2 LARGURA DA MÃO
4.3 COMPRIMENTO DA PALMA DA MÃO
4.4 LARGURA DA PALMA DA MÃO
4.5 CIRCUNFERÊNCIA DA PALMA
4.6 CIRCUNFERÊNCIA DO PUNHO
5. PÉS (EM PÉ OU SENTADO)
5.1 COMPRIMENTO DO PÉ
5.2 LARGURA DO PÉ
5.3 LARGURA DO CALCANHAR

Fonte: adaptado de lida (2005, p.117)

Há fatores que influenciam na precisão dos parâmetros antropométricos obtidos pelo método indireto, como, por exemplo, a iluminação e o movimento do indivíduo a ser digitalizado. É difícil assegurar a qualidade das imagens, visto que o *scanner* 3D a *laser* é um equipamento de medição óptico, sensível à condição de iluminação. Assim como o controle da iluminação, outro fator importante a ser considerado é o movimento do corpo humano no momento da digitalização. Até mesmo a respiração pode afetar a qualidade da imagem digitalizada dependendo do nível de precisão do modelo 3D gerado pelo *scanner* (WANG *et al.*, 2007).

Para a realização das medições, o ideal é a colocação dos marcadores (*landmarks*) nos pontos anatômicos para facilitar a obtenção dos parâmetros antropométricos. Assim, as posições dos pontos de referência podem ser facilmente identificadas no modelo 3D gerado. A silhueta do corpo humano é muitas vezes essencial para identificação de ângulos, volumes e deformações para aplicação como medidas antropométricas estáticas no projeto de produto, principalmente, em produtos personalizados (LU; WANG, 2008).

Assim como a digitalização 3D a *laser*, a digitalização por luz branca também é baseada no princípio da triangulação, em que as luzes (*laser* ou luz branca) são projetadas e captadas por um sensor que as codificam em imagens 3D (D'APUZZO, 2009). O digitalizador 3D se movimenta nos planos X e Y através de comandos numéricos (CNC) e, depois de finalizada a varredura, é adquirido o mapeamento ponto a ponto da superfície. São obtidas as coordenadas X, Y e Z, denominadas de "nuvens de pontos", a partir da qual é gerada a malha do modelo 3D (SILVA, 2011).

Assim como a digitalização 3D, há o processo por fotogrametria, as quais são capturadas diversas imagens fotográficas de um objeto de diversos ângulos para geração do modelo 3D. As coordenadas tridimensionais de pontos sobre o corpo humano fotografado são determinadas através de medições efetuadas em duas ou mais imagens fotográficas tomadas a partir de posições diferentes, onde pontos comuns são identificados em cada imagem. Uma linha de visão (ou raios) pode ser construída a partir da localização da câmera para o ponto na superfície do corpo. São as interseções destes raios (triangulação) que determinam a localização tridimensional do ponto (CELANI; CANCHERINI, 2009). Várias câmeras são utilizadas para fotografar o indivíduo e os pontos correspondentes são determinados

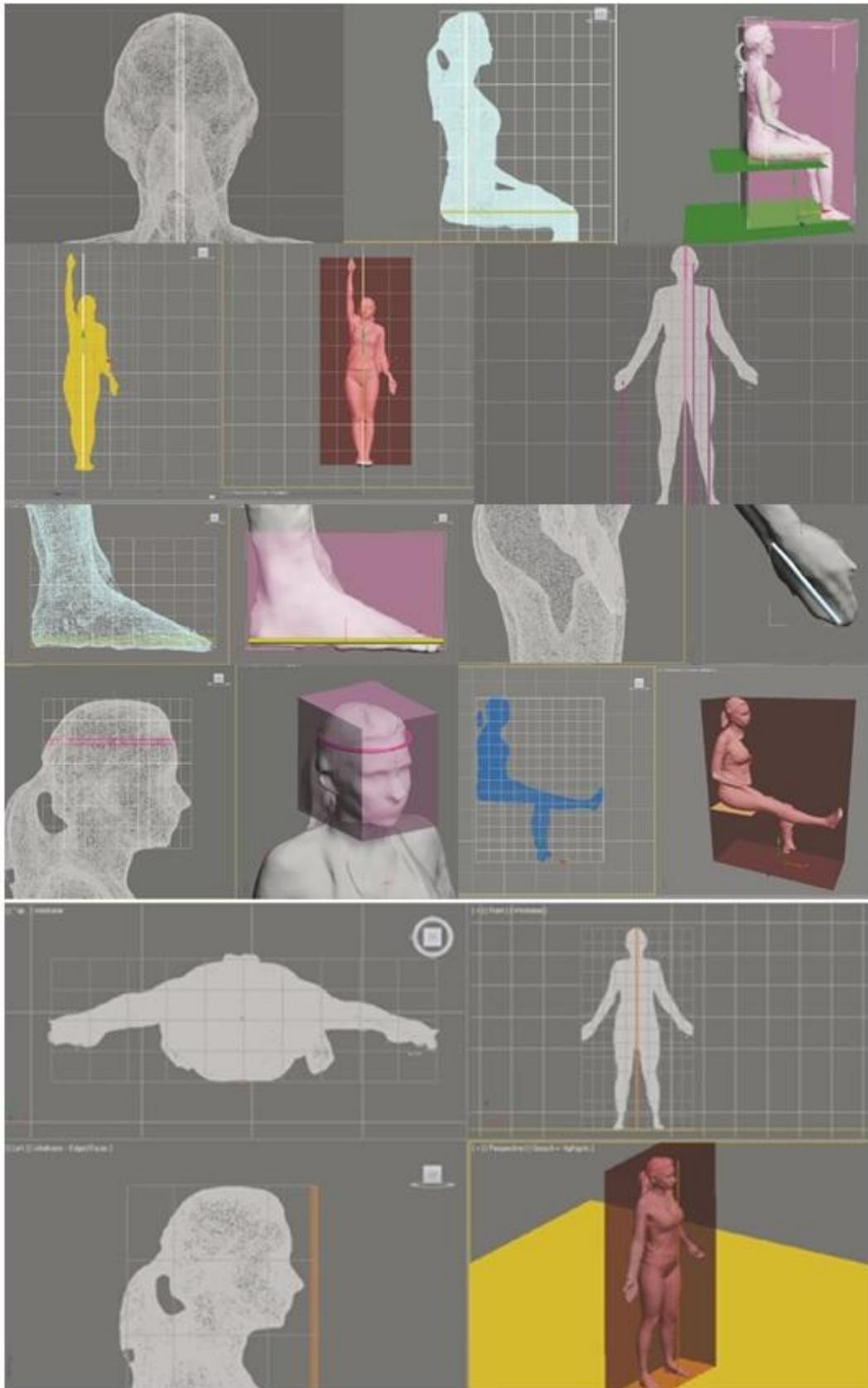
pelo Sistema de Triangulação. Para este método, é fundamental a demarcação dos *landmarks* no corpo em que será fotografado, para que algoritmos específicos possam determinar a correspondência entre os pontos nas diferentes imagens e, assim, estimar as coordenadas tridimensionais (SILVA, 2011).

Desenvolvimentos em fotogrametria digital permitem associar as imagens digitais ou digitalizadas aos métodos computacionais, permitindo o registro de pontos anatômicos a partir de fotografias digitais, gerando uma planilha com todas as medições realizadas (IIDA, 2005). Entretanto, os modelos 3D gerados utilizando o sistema de fotogrametria demandam tempo, devido à sincronização das imagens e do elevado número de câmeras necessárias para a geração do modelo 3D (D'APUZZO, 2009).

Em busca de um método de obtenção de parâmetros antropométricos estáticos por um sistema de baixo custo, a autora da presente pesquisa, Brendler (2013), desenvolveu um método utilizando o dispositivo *Microsoft Kinect*[®] que pode ser utilizado como um *scanner* 3D do corpo humano. Este dispositivo contém um sensor de movimento que reconhece gestos do usuário e comandos de voz. O acionador para o reconhecimento de gestos é um conjunto composto por um emissor e um sensor de luz infravermelho utilizado para capturar a geometria do corpo para geração do modelo 3D (TONG, *et al.*, 2012). Utilizando este sistema, o método de Brendler (2013) possibilita a digitalização do corpo inteiro de um indivíduo e, desta forma, a obtenção das medidas antropométricas diretamente no modelo 3D gerado.

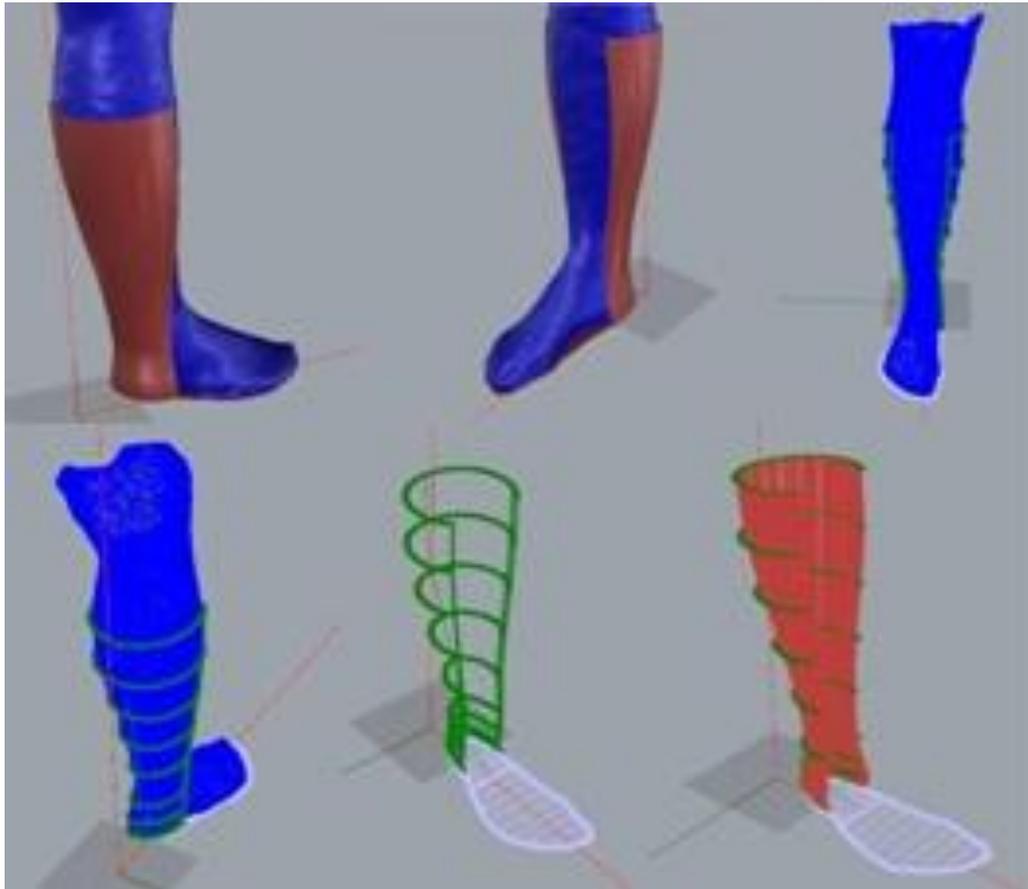
A Figura 19 apresenta imagens de diferentes posições de um indivíduo digitalizado. As imagens demonstram o processo de levantamento das medidas antropométricas estáticas diretamente no modelo 3D gerado pela digitalização 3D utilizando o dispositivo *Microsoft Kinect*[®]. Desta forma, é possível obter a silhueta bem como a forma do corpo em 3D para auxiliar como moldes para o desenvolvimento de projetos de produtos personalizados, conforme realizado por Brendler *et al.* (2014), em que apresentaram em seu trabalho uma alternativa para substituição dos moldes de gesso para o projeto de órteses e próteses (Fig. 20).

Figura 19 - Levantamento antropométrico pelo método de Brendler (2013)



Fonte: Adaptado de Brendler (2013).

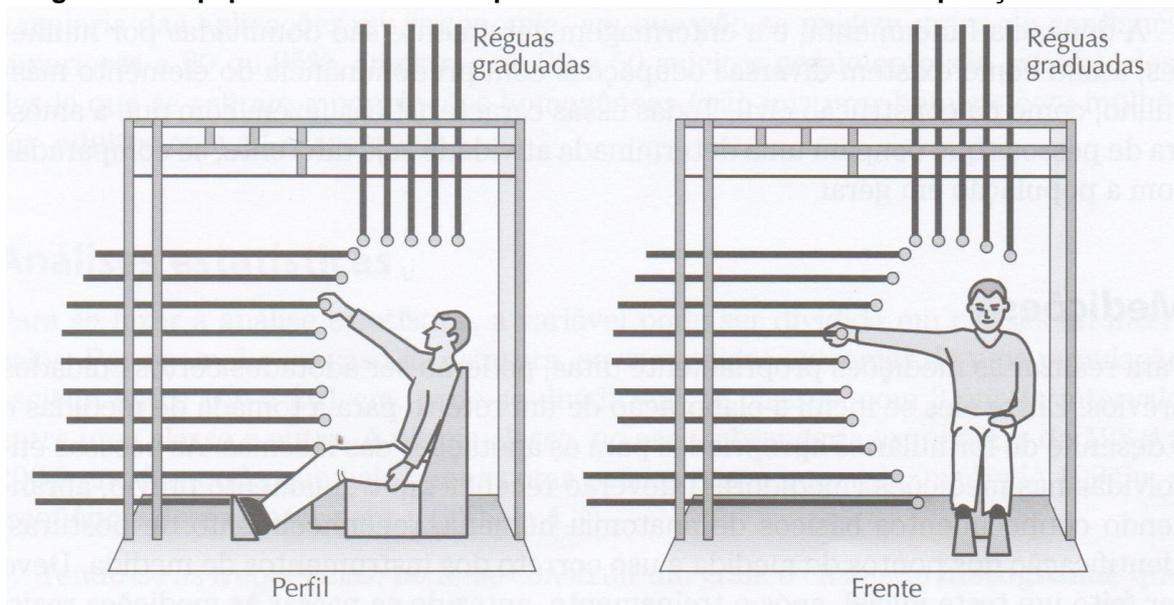
Figura 20 - Obtenção de moldes para desenvolvimento de projeto de produto.



Fonte: Brendler *et al.* (2014).

Os processos, levantamento antropométrico pela digitalização 3D e fotogrametria, são recomendados para obtenção de medidas estáticas. Porém, a desvantagem destes sistemas é que não possibilitam a obtenção dos parâmetros antropométricos dinâmicos, pois o modelo 3D gerado é estático e não possibilita a movimentação. Devido à necessidade de parâmetros antropométricos dinâmicos obtidos com o corpo em movimento e, aplicação destes parâmetros no projeto, foram desenvolvidos equipamentos e sistemas especialmente construídos para determinar medidas antropométricas relacionadas aos alcances do usuário. Conforme apresentado na Figura 21, a “gaiola” é um sistema desenvolvido para obtenção das medidas de alcance dos braços, com os indivíduos na posição sentado, por Dempsey em 1953. Este sistema utiliza réguas graduadas para a determinação das medidas (IIDA, 2005).

Figura 21 - Equipamento construído para medir o alcance das mãos na posição sentado.

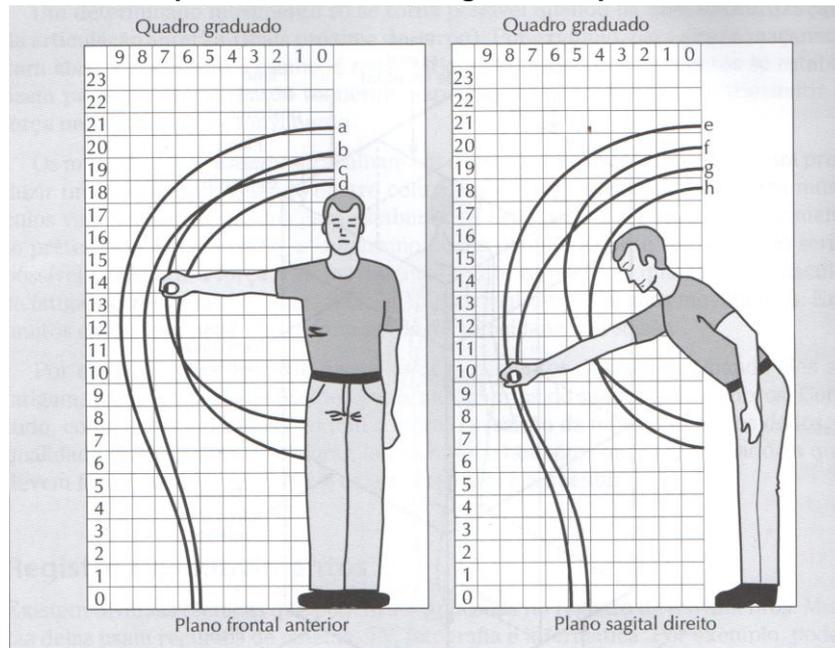


Fonte: Iida (2005, p.111).

Existem métodos indiretos de obtenção das medidas antropométricas, nos quais são utilizados sistemas de câmeras de vídeos e/ou fotografias para o registro dos movimentos. “Os registros dos movimentos são importantes porque delimitam o espaço onde deverão ser colocados os objetos”. (IIDA, 2005, p. 126). Por exemplo, os registros fotográficos podem ser feitos contra um fundo graduado, no qual servem de escala para a medida. De forma mais simples, as medidas relacionadas à antropometria dinâmica podem ser obtidas através de riscos sobre um papel (Fig. 22). Os alcances máximos da mão podem ser determinados traçando riscos em um quadro graduado, sendo possível verificar e mensurar diferentes distâncias e posturas do corpo (IIDA, 2005).

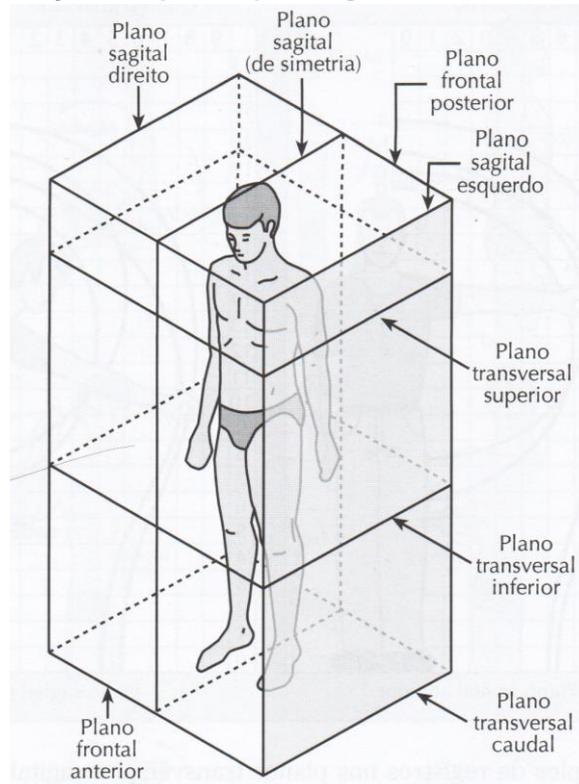
Os registros dos movimentos são realizados em um sistema de planos triortogonais (Fig. 23). O plano vertical, que divide o indivíduo em duas partes simétricas (direita e esquerda), denominado plano sagital de simetria. Os planos verticais são perpendiculares a estes planos sagitais, denominados frontais. Na frente, são denominados de frontais anteriores, e nas costas, frontais posteriores. Os planos horizontais, paralelos ao piso, são denominados de planos transversais (IIDA, 2005).

Figura 22 - Antropometria dinâmica. Registro nos planos frontal e sagital.



Fonte: Iida (2005, p. 126).

Figura 23 - Definição dos planos para registro dos movimentos corporais.

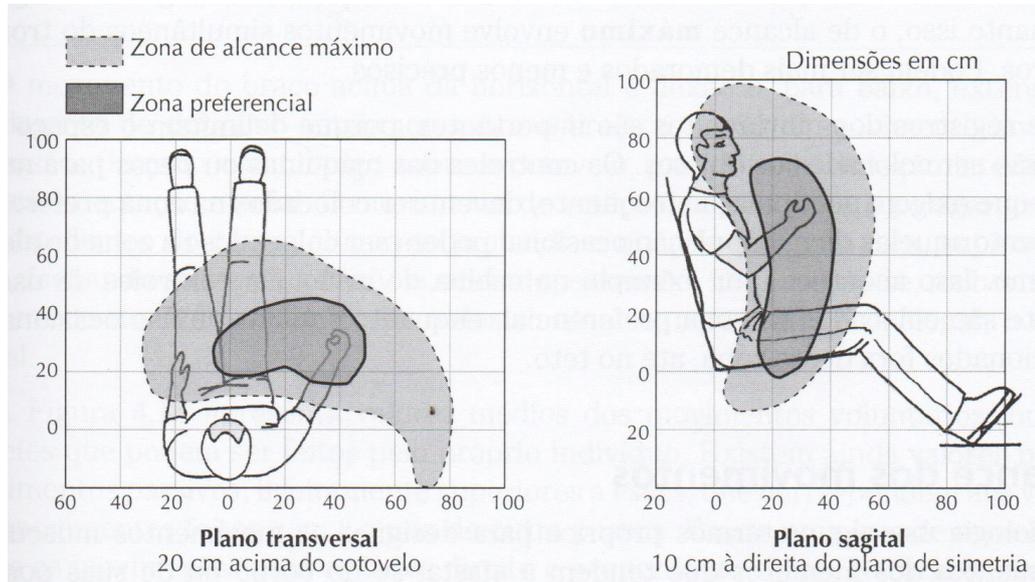


Fonte: Iida (2005, p. 125).

A Figura 24 apresenta um exemplo de registro de movimento para antropometria dinâmica, no plano transversal e sagital para uma pessoa sentada.

Nota-se que o alcance das mãos pode ser registrado nesses três planos (sagital, frontal e transversal) e, assim, pode ser traçado o volume do alcance, fornecendo informações de zonas de alcances máximos e preferenciais para a posição sentada.

Figura 24 - Antropometria dinâmica. Registro dos movimentos nos planos frontal, sagital e transversal na posição sentada.



Fonte: Iida (2005, p. 125).

As medidas que determinam os alcances máximos e mínimos e zonas preferências estão relacionadas aos parâmetros de amplitude e limites do movimento articular e aos ângulos de conforto do usuário. Estes parâmetros são utilizados com base em áreas de conhecimento específicas da ergonomia e da biomecânica e são apresentados no item 2.7 da presente pesquisa.

2.4.1 Pontos Anatômicos (processo de medição)

A antropometria é uma área de conhecimento interdisciplinar que possui uma diversidade de profissionais que atuam paralelamente (nutricionistas, ergonomistas, designers, psicólogos, educadores físicos e os fisioterapeutas). Essa diversidade de profissionais atuando paralelamente pode ocasionar a falta de padronização na identificação dos pontos anatômicos e nas técnicas de medição para o levantamento antropométrico. Mesmo nas medições pelo método indireto (digitalização 3D), é necessário saber identificar locais específicos do corpo (denominados de pontos anatômicos) para realização da verificação das medidas no modelo tridimensional gerado. Para a realização de medições antropométricas é necessário compreender

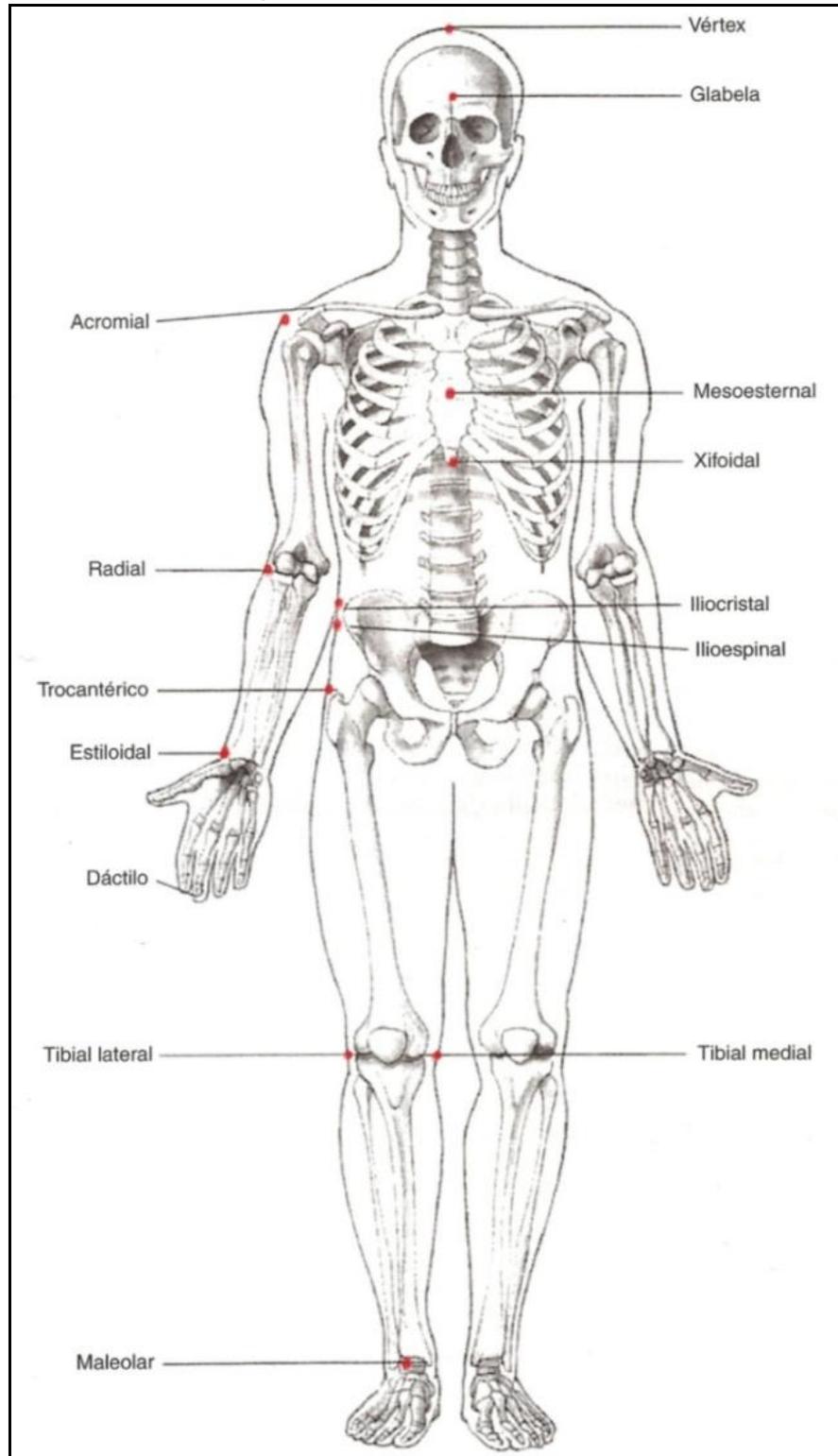
a natureza tridimensional do corpo humano. Conhecer a anatomia básica para uma correta identificação dos pontos anatômicos e, assim, adquirir conhecimento para a localização dos mesmos no corpo humano. Desta forma, minimizar os possíveis erros que podem ocorrer no processo de obtenção de medidas, tanto pelo método direto como indireto (NORTON; OLDS, 2005).

A falta de padronização está relacionada à localização dos pontos anatômicos, que podem sofrer uma leve variação de uma medida para outra, assim como, aos instrumentos de medição, que podem estar calibrados diferentemente de outros utilizados para o mesmo fim. O entendimento do esqueleto humano serve de base para o reconhecimento dos pontos anatômicos necessários para o levantamento dos parâmetros antropométricos. Os pontos anatômicos são pontos esqueléticos identificáveis pela palpação próximos à superfície do corpo que caracterizam os locais exatos de medição. Para que se possa compreender a natureza tridimensional do corpo humano e para a correta identificação dos locais específicos do corpo, é necessário saber os nomes anatômicos de cada parte individual da anatomia esquelética básica e se familiarizar com termos e posturas. Assim, o entendimento do esqueleto humano serve de base para o reconhecimento dos pontos anatômicos necessários para o levantamento dos parâmetros antropométricos (NORTON; OLDS, 2005).

Na Figura 25, são apresentados, em pontos vermelhos, os locais de referência para medição antropométrica que podem ser identificados pela palpação e sua respectiva nomenclatura. Norton e Olds (2005) enfatizam que os resultados das medições antropométricas poderão variar, mesmo realizando as medições no indivíduo repetidas vezes em dias sucessivos. Segundo os autores, a variação no resultado das medidas acontece devido às variações biológicas do indivíduo. Pesquisas apresentam dificuldades existentes na medição, em relação à padronização das medidas e à identificação dos pontos anatômicos (HAN *et al.* (2010). São descritas as diferenças antropométricas entre os diferentes métodos de levantamento antropométrico (manuais e por digitalização 3D) e as dificuldades em cada um destes métodos. Segundo Han *et al.* (2010), as principais diferenças encontradas entre os métodos são as realizadas pelo método manual, devido à compressão do tecido mole no momento da medição do corpo humano, em variáveis

que envolvem medidas de circunferências e nas diferenças em função da postura do indivíduo (relaxada ou ereta), no momento em que é mensurado.

Figura 25 - Localização de alguns pontos anatômicos de referência.



Fonte: Adaptado de Norton e Olds (2005, p.55).

Estudos como os de Fourie *et al.* (2011), Vezzetti e Marcolin (2012), Lin e Wang (2012), Maal *et al.* (2010), Ozsoy *et al.* (2009), Li *et al.* (2008), Luximon *et al.* (2012) e Kouchi e Mochimaru (2011) afirmam a importância da identificação correta dos pontos anatômicos de referência e a demarcação destes através dos marcadores, também denominados de *landmarks*. Estes marcadores são posicionados nos pontos anatômicos e auxiliam nas identificações das articulações, principalmente, para facilitar no processo de medição do corpo em movimento.

2.5 Estado da arte e considerações sobre métodos para a obtenção de parâmetros antropométricos e análises ergonômicas do produto

Neste item, foi realizado o estado da arte e as considerações sobre os principais resultados em artigos estudados e suas contribuições para a presente pesquisa. O Quadro 2 é composto de 22 artigos, resultante de uma pesquisa extensa no portal de busca de periódicos *ScienceDirect*², entre os anos de 2001 e 2015, utilizando-se as seguintes palavras-chave: *Ergonomic analysis of the product, ergonomics in product design and methods for obtaining the anthropometric parameters for product design*³. O desenho do método de seleção utilizado para os artigos é apresentado na Figura 26.

A primeira etapa da seleção dos artigos analisados ocorre por meio da aplicação do filtro dos anos de interesse. Portanto, são 275 artigos relacionados às palavras-chaves citadas e aos anos demarcados. Após, a seleção foi realizada através dos títulos dos artigos, dos quais foram selecionados 141 artigos. Destes, por meio da análise mais aprofundada do resumo e das palavras-chaves, permaneceram 22 artigos para análise. Desta forma, foi elaborado um quadro (Quadro 2) que compreende o título do artigo, os autores e o ano da publicação, a revista em que foi publicado o artigo e os principais resultados e contribuições para a presente pesquisa.

² <http://www.sciencedirect.com/>

³ análise ergonômica do produto, ergonomia no projeto de produto e métodos para obtenção dos parâmetros antropométricos para o projeto de produto (traduzido pela autora).

Figura 26 - desenho do método de seleção dos artigos analisados.



Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 2 - Estado da arte sobre análise ergonômica do produto, ergonomia no projeto de produto e métodos para obtenção dos parâmetros antropométricos para o projeto de produto.

TÍTULO	AUTORES	REVISTA	RESULTADOS E CONTRIBUIÇÕES
The significance of using anthropometric parameters and postures of European drivers as a database for finite-element models when calculating spinal forces during whole-body vibration exposure	B. Hinz <i>et al.</i> (2008)	International Journal of Industrial Ergonomics	Os autores realizam um estudo para avaliar as forças que atuam na coluna vertebral e os fatores de riscos causados por estas, em função de posturas incorretas em condutores europeus de veículos de carga pesada. A avaliação é realizada em ambiente virtual, utilizando o <i>software</i> FE-models no qual possibilita a variação das medidas antropométricas do peso e da estatura. A contribuição para a presente pesquisa está no método de investigação para avaliação das posturas incorretas dos condutores dos automóveis em função de assentos desconfortáveis.

Quadro 2 - Continuação.

TÍTULO	AUTORES	REVISTA	RESULTADOS E CONTRIBUIÇÕES
Kano Model and QFD integration approach for Ergonomic Design Improvement	Hashim e Dawal (2012)	Procedia - Social and Behavioral Sciences	Os autores realizam um estudo em que utilizam as ferramentas Desdobramento da Função Qualidade (QFD) e Kano Model para identificar e selecionar as principais necessidades dos usuários e melhorar a qualidade ergonômica dos produtos. A pesquisa foi realizada em uma escola, em uma estação de trabalho, e foram entrevistadas 225 crianças. Os autores concluíram a importância de desenvolver produtos ergonomicamente corretos desde a infância para prevenção de doenças osteomusculares e, segundo os resultados, os requisitos segurança e conforto foram os mais desejados pelos usuários. A contribuição para a presente pesquisa está nas técnicas utilizadas para identificar os requisitos ergonômicos e da importância de aplicar estes requisitos de projeto no desenvolvimento de produtos ergonômicos.
A proposed methodology for task analysis in ergonomic evaluations	K.G. Gómez-Bull <i>et al.</i> (2015)	Procedia Manufacturing	Os autores realizam um estudo em que elaboram etapas e subetapas para auxiliar na análise ergonômica da tarefa do uso de sistemas complexos como as estações de trabalho. Os autores afirmam que há a necessidade de realizar análises das tarefas em relação à ergonomia e à biomecânica, associando ambas as áreas de conhecimento para que se consiga minimizar as dores e lesões osteomusculares em função de posturas incorretas. A contribuição para a presente pesquisa está na elaboração das etapas metodológicas do processo de análise ergonômica integrando os conhecimentos da ergonomia, design e biomecânica, utilizando registros por câmeras de vídeo para análise dos movimentos posturais ao exercer a tarefa prescrita.

Quadro 2 - Continuação.

TÍTULO	AUTORES	REVISTA	RESULTADOS E CONTRIBUIÇÕES
Dynamic control of DHM for ergonomic assessments	G. De Magistris <i>et al.</i> (2013)	International Journal of Industrial Ergonomics	<p>Os autores desenvolvem um MHD para auxiliar nas análises ergonômicas e prevenção de riscos de lesão por esforço e postura inadequada em postos de trabalho. O MHD avalia especificamente a força exercida pelo usuário ao desempenhar uma determinada tarefa.</p> <p>A contribuição para a presente pesquisa está na justificativa de que os métodos tradicionais de análise ergonômica, apenas por meio de questionários, entrevistas e vídeos, não são suficientes para análises mais precisas e específicas, principalmente para os parâmetros dinâmicos. Os autores afirmam a necessidade de desenvolver MHD com base em conhecimentos da biomecânica e variações de medidas antropométricas para um resultado mais preciso e detalhado nas análises.</p>
Development of a digital human model generation method for ergonomic design in virtual environment	K. Jung <i>et al.</i> (2009)	International Journal of Industrial Ergonomics	<p>Os autores desenvolvem um MHD, implementado em um sistema baseado na Web, utilizando medidas antropométricas estáticas do Exército EUA de 1988, que poderão auxiliar nas análises ergonômicas do interior de automóveis.</p> <p>A contribuição para a presente pesquisa está no método desenvolvido em que possibilita a customização dos MHD em um maior número de variações antropométricas fora das utilizadas frequentemente, como os percentis 5%, 50% e 95% de altura. O método desenvolvido não foi avaliado, mas os autores afirmam a necessidade da continuidade de pesquisas no âmbito de desenvolver MHD com base na customização das medidas para auxiliar em análises ergonômicas de produtos.</p>

Quadro 2 - Continuação.

TÍTULO	AUTORES	REVISTA	RESULTADOS E CONTRIBUIÇÕES
Example-based statistical framework for parametric modeling of human body shapes	B.-Y. Koo <i>et al.</i> (2015)	Computers in Industry	<p>Os autores realizaram um estudo, com base nos resultados de S.-Y. Baek, K. Lee (2012), para aprimorar o método de modelagem paramétrica de MHD. Os modelos são divididos em 16 regiões do corpo parametrizáveis e em 15 articulações móveis. O sistema utilizado é a digitalização 3D para o escaneamento de modelos de seres humanos a fim de construir um banco de dados de diversos modelos.</p> <p>As contribuições para a presente pesquisa estão nos princípios estabelecidos para a parametrização e customização de formas geométricas e de medidas antropométricas para o desenvolvimento de MHD. Entretanto, os autores não focam na análise ergonômica e mencionam que ocorrem erros de deformação do corpo durante as realizações de posturas no modelo desenvolvido. Portanto, o modelo pode ser utilizado apenas nas posturas em pé, o que inviabiliza o uso desta técnica para análises ergonômicas.</p>
Predicting real-world ergonomic measurements by simulation in a virtual environment	B. Hu et al. (2011)	International Journal of Industrial Ergonomics	<p>Os autores realizaram um estudo em que utiliza a realidade virtual para realização das análises ergonômicas e comparação com a análise ergonômica em um ambiente físico.</p> <p>A contribuição para a presente pesquisa está no método desenvolvido para simular a análise ergonômica real, utilizando um MHD. São descritas as etapas em que são analisadas e comparadas as variáveis antropométricas dos ângulos do cotovelo e ombro, bem como as forças exercidas e o tempo da realização da tarefa. Apesar de o estudo focar na mensuração da força e da análise ergonômica ser realizada por sistemas de realidade virtual, é de grande relevância para o desenvolvimento do MHD na presente pesquisa.</p>

Quadro 2 - *Continuação.*

TÍTULO	AUTORES	REVISTA	RESULTADOS E CONTRIBUIÇÕES
Comparative analysis of 3D body scan measurements and manual measurements of size Korea adult females	Han <i>et al.</i> (2010)	International Journal of Industrial Ergonomics	<p>Os autores realizaram um estudo em que comparam os métodos por sistema manual e pela digitalização 3D para obtenção das medidas antropométricas. Os autores descrevem as causas das diferenças nos resultados dos valores das variáveis antropométricas entre os métodos.</p> <p>A contribuição para a presente pesquisa está na descrição das diferenças entre os métodos de obtenção de medidas antropométricas. Por exemplo, na medição pelo método manual podem ocorrer diferenças na precisão das medidas de circunferência em relação ao tecido mole do corpo, em que é comprimido no momento da medição pelos instrumentos antropométricos e, também, nas diferenças em função da postura, relaxada ou ereta, na hora das medições.</p>
Evaluation of anthropometric accuracy and reliability using different three-dimensional scanning systems	Fourie <i>et al.</i> (2011)	Forensic Science International	<p>Estudo em que realiza uma comparação entre três diferentes sistemas de digitalização tridimensional com o objetivo de avaliar a precisão e a confiabilidade dos dados antropométricos.</p> <p>A contribuição para a presente pesquisa está nos métodos de obtenção de medidas antropométricas e os meios de comparação entre eles para verificação da precisão.</p>
3D human face description: landmarks measures and geometrical features	Vezzetti e Marcolin (2012)	Image and Vision Computing	<p>Os autores realizaram um método para obtenção de medidas antropométricas faciais por meio de pontos de referência (<i>landmark</i>) colocados e medidos manualmente.</p> <p>A contribuição para a presente pesquisa está na descrição da relevância dos pontos de referência corretos no corpo humano para o processo de medição.</p>

Quadro 2 - *Continuação.*

TÍTULO	AUTORES	REVISTA	RESULTADOS E CONTRIBUIÇÕES
Novel Method of Capturing Static and Dynamic Anthropometric Data for Home Design	Zhang <i>et al.</i> (2005)	Serbia & Montenegro	<p>Os autores realizaram um importante estudo em que apresentam um método para obtenção de medidas estáticas e dinâmicas simultaneamente em idosos a partir da captura e análise do movimento, utilizando câmeras de infravermelho. O estudo analisa as questões da necessidade de projetos ergonômicos e acessíveis, principalmente para pessoas idosas ou com deficiência, para mobilidade dentro da própria residência. Os autores apresentam técnicas para a coleta e análise de dados com base no movimento do corpo e degenerações fisiológicas. A contribuição para a presente pesquisa está na afirmação dos autores da importância e necessidade de estudar caminhos para obtenção de parâmetros antropométricos dinâmicos e aplicação destes no desenvolvimento de produtos ergonômicos. Os autores apresentam técnicas para coleta de dados por meio da análise de captura de movimento e aplicação de marcadores refletivos nos pontos anatômicos e apresentam um método para o cálculo de medidas de ângulos e parâmetros relacionados ao movimento do corpo ao exercer uma determinada ação.</p>
Constructing 3D human model from front and side images	Lin e Wang (2012)	Expert Systems with Applications	<p>Os autores desenvolveram um método para obtenção de medidas antropométricas estáticas utilizando imagens 2D e um modelo 3D como base.</p> <p>A contribuição para a presente pesquisa está no processo de customização desenvolvido pelos autores em que a partir de um modelo base é possível obter infinitas formas 3D do corpo. A desvantagem é que não é possível a obtenção das medidas antropométricas dinâmicas.</p>

Quadro 2 - Continuação.

TÍTULO	AUTORES	REVISTA	RESULTADOS E CONTRIBUIÇÕES
Registration of 3-Dimensional Facial Photographs for Clinical Use	Maal <i>et al.</i> (2010)	J Oral Maxillofac Surg	Assim como Vezzetti e Marcolin (2012), os autores realizam um método para analisar e obter as medidas antropométricas estáticas da face humana. Porém, Maal <i>et al.</i> (2010) utilizam o processo de fotogrametria e ressalta a importância no processo de medição por meio dos <i>landmarks</i> demarcados corretamente.
Method selection in craniofacial measurements: Advantages and disadvantages of 3D digitization method	Ozsoy <i>et al.</i> (2010)	Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery	Os autores realizam uma comparação entre os diferentes sistemas de levantamento antropométrico: manual, fotogrametria e digitalização 3D a laser e descrevem as vantagens e desvantagens de cada sistema. A contribuição para a presente pesquisa está no desenvolvimento do método pela digitalização 3D e a medição através dos landmarks. O estudo aborda a relevância e a importância da obtenção das medidas utilizando sistemas 3D e a tecnologia para precisão das medidas. Porém, o método não permite a obtenção das medidas antropométricas dinâmicas.
Refraction effect analysis of using a hand-held laser scanner with glass support for 3D anthropometric measurement of the hand: A theoretical study	Li <i>et al.</i> (2008)	Measurement	Os autores realizaram estudos em que descrevem a importância das medições antropométricas utilizando processos de registro por vídeo em um ambiente com boa iluminação e os efeitos negativos no processo quando a iluminação não está adequada, o que pode ocasionar erros de precisão nos valores das medidas antropométricas.
The 3D Chinese head and face modeling	Luximon <i>et al.</i> (2012)	Computer-Aided Design	Assim como os autores Kouchi e Mochimaru (2011), é realizado uma pesquisa em que descreve as vantagens e a relevância da demarcação dos <i>landmarks</i> corretos nos pontos anatômicos do corpo. Os autores enfatizam o uso de sistemas indiretos como câmeras de vídeo e a digitalização 3D para a medição dos parâmetros antropométricos.

Quadro 2 - Continuação.

TÍTULO	AUTORES	REVISTA	RESULTADOS E CONTRIBUIÇÕES
Errors in landmarking and the evaluation of the accuracy of traditional and 3D anthropometry	Kouchi e Mochimaru (2011)	Applied Ergonomics	Os autores realizaram um estudo sobre a demarcação correta para os <i>landmarks</i> , que podem influenciar tanto para medições manuais como para medições indiretas em que há leitura automática através de <i>softwares</i> específicos. Este estudo se torna relevante na medida em que explica como realizar a demarcação correta dos <i>landmarks</i> no corpo a ser mensurado.
Body measurement techniques: a comparison of three-dimensional body scanning and physical anthropometric methods	Simmons (2001)	Raleigh: NCSU, 2001. Tese de Doutorado. North Carolina State University	<p>O autor realiza uma extensa pesquisa de literatura sobre sistemas de levantamento de parâmetros antropométricos, desde os sistemas manuais aos sistemas de alta tecnologia como as digitalizações 3D. Afirma a importância do uso da tecnologia para a medição ser realizada em sistema 3D e descreve diversas vantagens.</p> <p>A contribuição para a presente pesquisa está na afirmação da relevância de métodos em sistemas 3D, na descrição de como deve ser o levantamento 3D e o posicionamento dos <i>landmarks</i>, a importância de diversos fatores de influência na precisão do modelo 3D como a luz, a postura do indivíduo a ser mensurado e sua vestimenta. Entretanto, o método desenvolvido não supre a questão da necessidade da obtenção das medidas antropométricas dinâmicas.</p>
Recent Advances in 3D Full Body scanning with applications to fashion and apparel	D'Apuzzo (2009)	Optical 3-d measurement techniques, 9., 2009, vienna. Anais eletrônicos	O autor realiza um estudo em que compara os diferentes métodos 3D para o levantamento de medidas antropométricas estáticas. Apesar do autor não mencionar as medidas dinâmicas, seu trabalho contribui em questões como o sistema de triangulação para o processo de leitura da medição, em um modelo humano 3D, através das coordenadas x, y e z.

Quadro 2 - Continuação.

TÍTULO	AUTORES	REVISTA	RESULTADOS E CONTRIBUIÇÕES
Automated anthropometric data collection from three-dimensional digital human models	Wang <i>et al.</i> (2007)	The International Journal of Advanced Manufacturing Technology	Os autores desenvolvem um sistema em que as medições antropométricas estáticas são realizadas no modelo humano digital, obtido a partir da digitalização 3D, de forma automatizada. O que possibilita o processo de customização em massa, principalmente, para o desenvolvimento de produtos personalizados.
3D whole body scanning to determine mass properties of legs.	NORTON <i>et al.</i> (2002)	Journal of biomechanics	Os autores desenvolveram um novo método para medir a massa e o formato da perna de um corpo humano em pessoas tetraplégicas, que não são possíveis de serem obtidas pelo método manual de medição.
Automated anthropometric data collection using 3D whole body scanners.	Lu e Wang (2008)	Expert Systems with Applications	Os autores realizam um método automatizado de leitura das medidas antropométricas assim como Wang <i>et al.</i> (2007). Entretanto, os autores afirmam a necessidade de medidas complexas como a silhueta do corpo humano, medidas de ângulos e que fazem relação com o movimento do corpo humano, como as medidas antropométricas dinâmicas.

Fonte: Elaborado pela autora.

A partir da análise das publicações pesquisadas, ficou evidente a dificuldade encontrada para a obtenção dos parâmetros antropométricos dinâmicos e que o uso de MHD é uma alternativa efetiva nesse sentido, auxiliando como uma ferramenta prática para realização de análises ergonômicas. A fim de obter medidas mais precisas e que representem as características físicas dos usuários, os MHD devem possibilitar a customização das variáveis antropométricas (K. JUNG *et al.*, 2009; G. De MAGISTRIS *et al.*, 2013). Foi constatada a necessidade de limitar a movimentação do MHD de acordo com os limites observados nas articulações do corpo humano (JUNG *et al.* 2009). Nesse caso, os conhecimentos da biomecânica auxiliam a configurar um modelo 3D mais realista e, portanto, de melhor funcionalidade. O uso de um modelo base paramétrico pode agilizar o processo de construção de um modelo 3D, conforme apresentado em (LIN; WANG, 2012).

Estudos indicam a necessidade da interdisciplinaridade entre as áreas da ergonomia e a biomecânica a fim de desenvolver um MHD que seja capaz de reproduzir os movimentos do corpo humano (SISAY, 2015; SCHIMIDT *et al.*, 2014; GÓMEZ-BULL *et al.*, 2015). É destacada a importância do uso de *landmarks* (marcadores) sobre pontos anatômicos do corpo humano. Esta técnica de medição padroniza e tornam mais precisos os valores das medidas obtidas (SIMMONS, 2001; KOUCHI; MOCHIMARU, 2011; LUXIMON *et al.*, 2012; VEZZETTI; MARCOLIN, 2012).

Foram identificados métodos e técnicas relevantes para a realização da análise ergonômica, considerando avaliações do movimento e da postura. B. Hinz *et al.* (2008) realizam avaliações posturais para análise ergonômica do interior de automóvel e elaboram metodologias de investigação. Especificamente, para identificação de requisitos ergonômicos para o PDP, o trabalho de Hashim e Dawal (2012) descreve uma metodologia em que são utilizadas ferramentas de seleção como o Desdobramento da Função Qualidade (QFD) e Kano Model, as quais consideram as necessidades dos usuários e os requisitos ergonômicos para o projeto.

A descrição de métodos de avaliação por meio da captura e análise dos movimentos (ZHANG *et al.* 2005) e de metodologias para análise ergonômica utilizando MHD, como as descritas nos trabalhos de G. De Magistris *et al.* (2013) e B.-Y. Koo *et al.* (2015), são de fundamental importância para o desenvolvimento da presente pesquisa, porque além de descrever métodos e técnicas de análises, evidenciam a necessidade do desenvolvimento do MHD Paramétrico para obtenção dos parâmetros antropométricos dinâmicos em ambiente virtual.

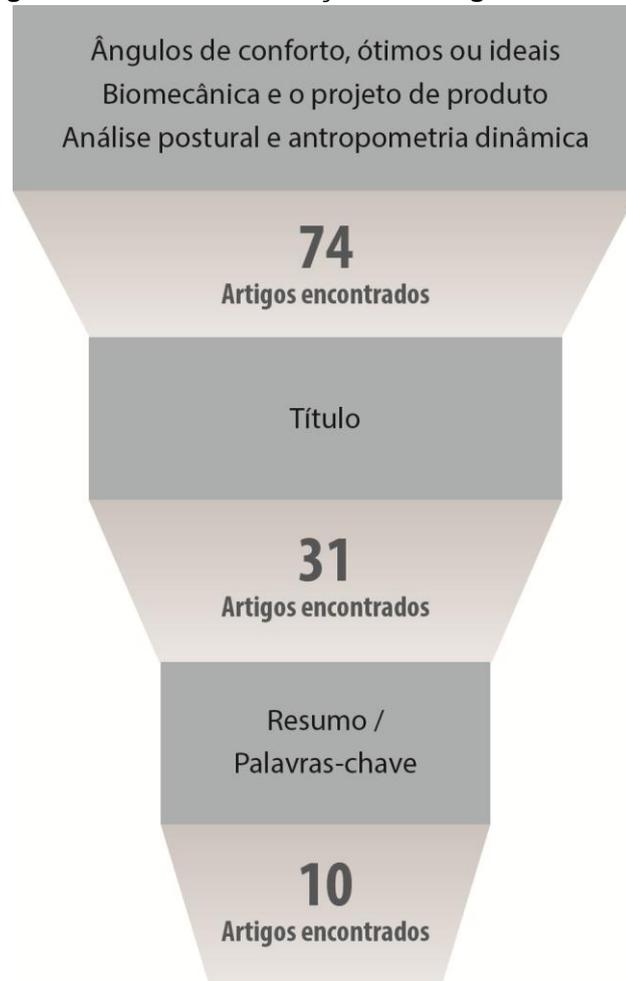
2.6 Estado da arte e considerações sobre: biomecânica e o projeto de produto; métodos para análise postural e antropometria dinâmica; ângulos de conforto, ótimos ou ideais.

Neste item, foi realizada a pesquisa de revisão bibliográfica sistemática (RBS) para as palavras-chave: *angles of comfort, optimum angles, biomechanics and product design, methods for postural analysis and dynamic anthropometry*⁴ entre os

⁴ ângulos de conforto, ângulos ótimos ou ideais, biomecânica e o projeto de produto, métodos para análise postural e antropometria dinâmica (traduzido pela autora).

anos de 2002 e 2015. O método de seleção utilizado para os artigos é apresentado na Figura 27.

Figura 27 - Método de seleção dos artigos analisados.



Fonte: Elaborado pela autora.

A partir das palavras-chaves citadas e dos anos demarcados, foram identificados 74 artigos para análise. Destes, foram selecionados 31 artigos, por meio da seleção do título e, com base no critério de análise do resumo e das palavras-chave de cada artigo, foram considerados relevantes para uma análise mais aprofundada, 10 artigos. Desta forma, foi elaborado um quadro (Quadro 3) que compreende o título do artigo, os autores e o ano da publicação, a revista em que foi publicado o artigo e os principais resultados e contribuições para a presente pesquisa.

Quadro 3 - Estado da arte sobre ângulos de conforto, ângulos ótimos ou ideais, biomecânica e o projeto de produto, métodos para análise postural e antropometria dinâmica.

TÍTULO	AUTORES	REVISTA	RESULTADOS E CONTRIBUIÇÕES
A new digital human environment and assessment of vehicle interior design	J. Yang <i>et al.</i> (2007)	Computer-Aided Design	Os autores apresentam um estudo em que desenvolvem um MHD para ambiente virtual, denominado de Santos TM , para avaliar o interior de um veículo utilizados em obras e mineração da empresa Caterpillar®. A avaliação inclui questões de postura, alcances e conforto. A contribuição para a presente pesquisa está no desenvolvimento do MHD e como é realizada a análise ergonômica, desde a prescrição detalhada da tarefa aos mecanismos de avaliação dos parâmetros antropométricos e de conforto postural. A desvantagem do MHD Santos TM , é que o mesmo apresenta apenas para o sexo masculino e nos percentis 5%, 50% e 95% de estatura.
A literature review on optimum and preferred joint angles in automotive sitting posture	S. Schmidt <i>et al.</i> (2014)	Applied Ergonomics	Os autores apresentam um extenso levantamento da literatura científica com o objetivo de identificar os valores de ângulos articulares ideais da postura na posição sentado para o desenvolvimento de assentos para o interior de automóvel. A pesquisa explorou trinta fontes diferentes, entre 1940 e 2014. Os autores afirmam a importância da determinação de parâmetros de ângulos ideais para a determinação do conforto e segurança para o desenvolvimento de projeto de automóveis. A contribuição para a presente pesquisa está diretamente relacionada aos parâmetros de referência para uso nas análises ergonômicas e na inserção destes parâmetros no MHD desenvolvido na presente pesquisa.

Quadro 3 - *Continuação.*

TÍTULO	AUTORES	REVISTA	RESULTADOS E CONTRIBUIÇÕES
Research on virtual human in ergonomic simulation	H. Honglun <i>et al.</i> (2007)	Computers & Industrial Engineering	<p>Os autores desenvolvem um MHD baseado em estudos biomecânicos e fisiológicos para auxiliar na análise ergonômica de produtos utilizando a realidade virtual. O estudo de caso é realizado em um ambiente virtual de escritório, em que a simulação é realizada em tempo real por meio de sistemas de câmeras que capturam o movimento.</p> <p>As contribuições deste estudo para a presente pesquisa são várias, desde o método desenvolvido em que categoriza as etapas de análise ergonômica, em uma pirâmide hierárquica de relevância ergonômica, prescrição da tarefa, análise de movimento e da postura e análise de força para avaliação da fadiga muscular. Entretanto, o método realiza a análise ergonômica em meio virtual utilizando a realidade virtual, em que só é possível a realização da análise através de sistemas estruturados com câmeras de vídeo para captura de movimento do usuário.</p>
Method for the analysis of posture and interface pressure of car drivers	G. Andreoni <i>et al.</i> (2002)	Applied Ergonomics	<p>Os autores apresentam um método para a análise ergonômica de assentos e encosto do banco do motorista de veículos e as implicações que envolvem as posturas como o conforto e a segurança. O método proposto é baseado na combinação de um sistema óptico eletrônico para avaliação de movimento e matrizes que capturam e verificam a pressão do motorista no encosto do banco por meio de sensores de pressão.</p> <p>A contribuição para a presente pesquisa está no método aplicado para determinar aspectos sobre a antropometria estática e dinâmica e suas influências no projeto de produto. A quantificação do requisito conforto para aplicação no projeto e as técnicas aplicadas pelos autores.</p>

Quadro 3 - *Continuação.*

TÍTULO	AUTORES	REVISTA	RESULTADOS E CONTRIBUIÇÕES
Digital Human Models conceito, aplicabilidade e tecnologias	Oliveira (2013)	Dissertação de mestrado	<p>Esta pesquisa é uma dissertação de mestrado em que o autor realiza uma importante revisão de literatura, desde o contexto histórico ao contexto atual de MHD existentes no mercado, como uma ferramenta para o desenvolvimento de projetos. Os autores realizam uma análise dos modelos existentes, de suas aplicabilidades em projetos bem como um mapeamento das etapas de projeto e das tecnologias existentes para a criação dos modelos.</p> <p>A contribuição para a presente pesquisa está na revisão de literatura realizada pelo autor, na descrição dos MHD existentes no mercado, suas vantagens e desvantagens e na afirmação da necessidade do uso de MHD nas fases de desenvolvimento do projeto de produto para o desenvolvimento de produtos ergonômicos.</p>
Jack Human Modelling Tool: A Review	Blanchonette (2010)	Document ADA 518132.	<p>Os autores descrevem por meio deste documento, um relatório sobre o MHD Jack (versão 5.1), em que realizam a avaliação do uso do modelo e suas características relevantes em estações de trabalho na postura sentado.</p> <p>A principal contribuição deste trabalho está na descrição do MHD Jack, como foi desenvolvido, principais vantagens e desvantagens da ferramenta, desde as análises da tarefa ao ambiente virtual construído e as questões que envolvem a customização das variáveis antropométricas. Os autores fazem uma revisão de literatura em que apontam os principais MHD existentes no mercado, suas principais características, vantagens e desvantagens.</p>

Quadro 3 - Continuação.

TÍTULO	AUTORES	REVISTA	RESULTADOS E CONTRIBUIÇÕES
Computer-aided ergonomics: a case study of incorporating ergonomics analyses into workplace design	Feyen <i>et al.</i> (2000)	Applied Ergonomics	<p>Os autores realizam um estudo para avaliar o <i>software</i> AutoCAD/3DSSPP em que possui um MHD utilizado para quantificar os riscos biomecânicos de um operador em uma estação de trabalho.</p> <p>A contribuição para a presente pesquisa, além da afirmação pelos autores de que os MHD existentes no mercado necessitam de maior estudo e melhorias nas questões de possibilidade de customização das medidas antropométricas, está nas considerações das necessidades de inserção de limites de movimento articular, customização das variáveis antropométricas e possibilidade de uso de MHD em interfaces com custo acessível para o uso em ambiente virtual.</p>
Digital Human Model Based Participatory Design Method to Improve Work Tasks and Workplaces	Helin <i>et al.</i> (2012)	Computer Science	<p>Os autores realizam um estudo em que desenvolvem um MHD – denominado de Osku, para auxiliar em análises ergonômicas de projeto. O <i>software</i> é utilizado em ambiente virtual, e contém um banco de dados com modelos nos percentis 5%, 50% e 95% feminino e masculino. Os autores realizaram uma análise em estação de trabalho utilizando sistemas de captura de movimento para o registro da postura e posterior análise no MHD Osku.</p> <p>A contribuição para a presente pesquisa está no método desenvolvido em que os autores abordam etapas relevantes de análise ergonômica e do desenvolvimento do MHD. A desvantagem do MHD Osku desenvolvido pelos autores está na não customização das variáveis antropométricas no MHD. Entretanto, os autores afirmam que o <i>software</i> necessita de melhorias nas questões de customização e nos movimentos do corpo do MHD relacionados ao movimento real do ser humano.</p>

Quadro 3 - *Continuação.*

TÍTULO	AUTORES	REVISTA	RESULTADOS E CONTRIBUIÇÕES
Application of Virtual Reality Techniques in Design of Ergonomic Manufacturing Workplaces	Grajewski <i>et al.</i> (2013)	Procedia Computer Science	<p>Os autores realizam um estudo em que utilizam sistemas de realidade virtual (RV) e realidade aumentada (RA) para realização de análises ergonômicas em um local de trabalho. O uso da RV e da RA e protótipos virtuais de locais de trabalho permitem realizar uma análise completa e possibilita a otimização de soluções de projeto, principalmente, relacionadas à segurança do trabalho, sem necessidade de construir protótipos físicos.</p> <p>A contribuição para a presente pesquisa está na elaboração de um método com etapas estruturadas de análise ergonômica em um ambiente virtual. Entretanto, o método tem a desvantagem de necessitar de um número elevado de participantes reais para realização das análises ergonômicas, além do alto custo para a realização da análise ergonômica.</p>
Parametric human body shape modeling framework for human-centered product design	S.-Y. Baek, K. Lee (2012)	Computer-Aided Design	<p>Os autores desenvolveram um método para modelagem de um MHD paramétrico. Para isso, os autores utilizam os dados da digitalização 3D pré-processados, as características da variação da forma do corpo humano e suas correlações com as análises estatísticas. O método de modelagem do MHD paramétrico utiliza uma interface de modelagem interativa, em que através de um modelo padrão, é gerado um modelo 3D conforme as medidas obtidas pela digitalização 3D.</p> <p>A contribuição para a presente pesquisa está no método desenvolvido pelos autores para a geração do MHD paramétrico. Entretanto, para fins de análise ergonômica o método não é satisfatório porque os modelos gerados são rígidos e não permitem os movimentos dos membros do corpo.</p>

Quadro 3 - *Continuação.*

TÍTULO	AUTORES	REVISTA	RESULTADOS E CONTRIBUIÇÕES
A comparative study of digital human modelling simulation results and their outcomes in reality: A case study within manual assembly of automobiles	D. Lämkuil <i>et al</i> (2015).	International Journal of Industrial Ergonomics	<p>Este trabalho realiza uma comparação de análise ergonômica em ambiente virtual e ambiente físico de uma montadora de automóveis (<i>Volvo Car Corporation</i>®). Os autores utilizaram a ferramenta MHD RAMSIS da Siemens® para representar os trabalhadores da montadora de automóveis.</p> <p>A contribuição para a presente pesquisa está na metodologia realizada para a comparação das análises ergonômicas em ambiente virtual e físico e a descrição detalhada dos procedimentos como a tarefa prescrita para o procedimento de análise. A descrição da ferramenta RAMSIS, com suas vantagens e desvantagens contribui significativamente para o processo de desenvolvimento do MHD na presente pesquisa.</p>

Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados do estado da arte contribuem, significativamente, para o desenvolvimento da presente pesquisa. Pois, são investigados os principais trabalhos desenvolvidos sobre o assunto demarcado neste item, as contribuições e as lacunas existentes. São identificados estudos que realizam a análise ergonômica com uso de MHD nos quais descrevem desde a prescrição detalhada da tarefa aos métodos e técnicas de avaliação dos parâmetros antropométricos e do conforto postural (YANG *et al.*, 2007; HONGLUN *et al.*, 2007; ANDREONI *et al.*, 2002). São elencados os parâmetros de referência para uso nas análises ergonômicas obtidos por meio de áreas do conhecimento como a ergonomia e a biomecânica para que estes parâmetros possam ser utilizados na construção do MHD na presente pesquisa (SCHMIDT *et al.*, 2014).

Segundo Blanchonette (2010), Feyen *et al.* (2000) e Helin *et al.* (2012), são verificados que os MHD existentes no mercado oferecem vantagens como, por exemplo, a possibilidade de obtenção de parâmetros antropométricos dinâmicos por meio de uso destes em análises ergonômicas. Entretanto, são apontadas

desvantagens destes MHD existentes por não possibilitarem as customizações das variáveis antropométricas, além dos percentis 5%, 50% e 95% da variável estatura. Helin *et al.* (2012) afirma que há a necessidade de desenvolver um MHD que reproduza os movimentos conforme o corpo humano contendo os limites e amplitudes de movimento. São evidenciadas metodologias e métodos para a realização de análises ergonômicas para ambientes virtuais como Grajewski *et al.* (2013) e Lämkuull *et al.* (2015), trabalhos estes que possuem significativa contribuição para a construção do MHD na presente pesquisa.

2.7 Parâmetros antropométricos referentes à biomecânica para auxiliar no desenvolvimento do MHD Paramétrico

Neste item, são investigados os parâmetros referentes à biomecânica e cinesiologia que tratam da amplitude do movimento articular, limitações e restrições do movimento bem como os ângulos de conforto articular de maneira simplificada, porém essencial, para que seja possível obter informações para analisar e prescrever os parâmetros necessários para o desenvolvimento do MHD Paramétrico e, assim, obter os parâmetros antropométricos dinâmicos através da análise ergonômica do uso de um produto. Para se obter os parâmetros antropométricos, especificamente os dinâmicos, é necessário entender a anatomia do corpo humano, como o corpo se movimenta, limites e amplitudes de movimento, ângulos de conforto e medidas de alcances máximos e mínimos. Para isso, é necessário identificar e relacionar estes parâmetros às áreas de conhecimento como a biomecânica para contribuir na obtenção destes parâmetros para a realização da análise ergonômica do produto.

A biomecânica estuda os movimentos humanos integrando aos conhecimentos da mecânica para aplicações em ortopedia, ortodontia, educação física, reabilitação física e ergonomia (GUIMARÃES, 2000). Fundamenta-se na física e nos conceitos de engenharia para descrever o movimento executado pelos segmentos do corpo e das forças que agem sobre esses segmentos durante uma determinada atividade (NORDIN; FRANKEL, 2014). A partir de parâmetros provenientes da biomecânica, as tensões que ocorrem nos músculos e nas articulações, durante uma postura ou um movimento, podem ser estimadas (DUL; WEERDMEESTER, 2012). Por

exemplo, segundo Nordin e Frankel (2014), os princípios da estática são utilizados para analisar a natureza das forças envolvidas nas articulações e músculos do sistema musculoesquelético, e os princípios da dinâmica para a descrição e análise do movimento e análise da marcha.

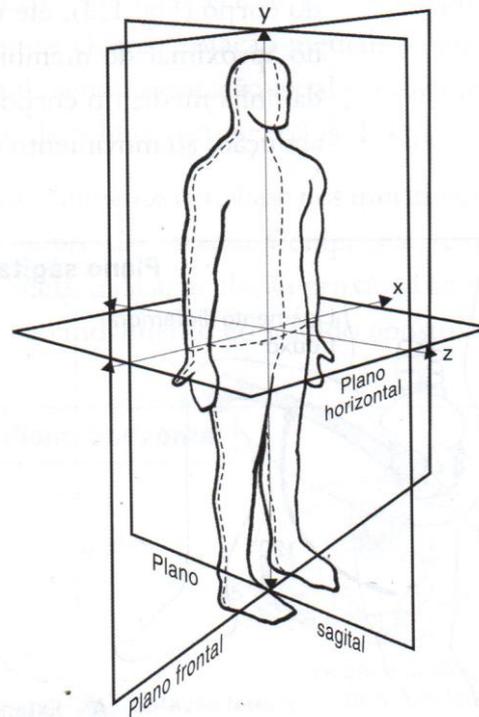
A pesquisa aplicada em biomecânica envolve o emprego de conhecimentos científicos para beneficiar os seres humanos. As lesões e doenças musculoesqueléticas são alguns dos riscos ocupacionais provenientes de posturas incorretas durante uma tarefa. Portanto, é necessário adequar os produtos e estações de trabalho às limitações físicas do corpo humano e aos movimentos corporais naturais para minimizar ou até combater estas lesões (NORDIN; FRANKEL, 2014). O desempenho de uma tarefa, seja em uma estação de trabalho ou utilizando um determinado produto, demanda um trabalho muscular estático e/ou dinâmico. No trabalho estático, a musculatura realiza uma contração contínua em alguns músculos do corpo para que este se mantenha em uma posição específica. O trabalho dinâmico realiza contrações e relaxamentos alternados dos músculos no momento da realização de uma tarefa. No trabalho dinâmico, conforme o aumento do volume de sangue circulado e, conseqüentemente, o aumento do oxigênio na musculatura, faz com que se torne menos fatigante e mais resistente ao esforço físico (IIDA, 2005).

Portanto, é recomendável que os designers desenvolvam produtos que contemplem possibilidades de relaxamento da musculatura mesmo que este não exija o movimento do corpo para executar determinada função. Isto é possível no momento em que o produto permite ao usuário a alternância de posturas e apoio para a lombar, ou em membros inferiores e superiores do corpo. Para a posição sentado, em que se é exigido um trabalho muscular estático, mesmo que a atividade seja considerada com poucos movimentos, é necessário que o assento permita mudanças frequentes de posturas, para diminuir a probabilidade de dores e fadiga muscular (IIDA, 2005; GRANDJEAN, 2005). As dores provenientes do trabalho muscular e posteriores fadigas e lesões são causadas a partir das contrações musculares acima da capacidade circulatória em remover os resíduos do metabolismo como, por exemplo, o ácido láctico. Portanto, as dores, fadigas e lesões são causadas, principalmente, pelo manuseio de cargas pesadas, posturas

inadequadas, alongamentos excessivos nos músculos, tendões e articulações provocados pelo esforço físico fora dos alcances máximos e mínimos e dos limites de amplitude de movimento articular (IIDA, 2005; BANKOFF, 2007).

As articulações se encontram entre as junções de dois ou mais ossos. Existem três tipos de articulações no corpo humano, as quais são classificadas conforme o tipo de movimento que podem realizar, são elas: sinartrose (imóvel), antiartrose (ligeiramente móvel) e diartrose (permite amplos movimentos) (BANKOFF, 2007). Na presente pesquisa, são abordadas apenas as articulações classificadas em diartroses, pois estas possibilitam o movimento do corpo humano e podem fornecer parâmetros de medidas de ângulos articulares, limitações e restrições de movimento, úteis para o projeto de produto. Segundo Whiting e Zernicke (2009), os movimentos articulares são definidos com relação à posição anatômica, posição em que o corpo é referenciado de acordo com três planos perpendiculares entre si e os eixos anatômicos (Fig. 28).

Figura 28 - Representação dos planos e eixos anatômicos



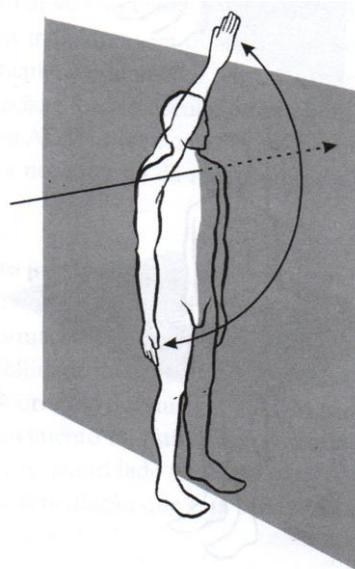
Fonte: SACCO e TANAKA (2008, p.5).

Um movimento só pode ser descrito se sua trajetória espacial for identificada. Matematicamente, essa identificação se obtém por meio de um sistema de coordenadas espaciais (x, y, z). São os planos horizontal, sagital e frontal, nos quais

ocorrem movimentos no eixo longitudinal, látero-lateral e ântero-posterior, respectivamente (SACCO; TANAKA, 2008). O plano horizontal ou transverso divide o corpo em superior e inferior; o plano sagital divide o corpo em direita e esquerda; e o plano frontal ou coronal divide o corpo em anterior e posterior (NORTON; OLDS, 2005). Desta forma, o movimento das articulações está atrelado ao número de eixos e, conseqüentemente, à geometria desta articulação. Por exemplo, algumas articulações permitem apenas o movimento de flexão e extensão; outras permitem uma variabilidade maior de movimentos, permitindo também os movimentos de abdução, adução e rotação (THOMPSON; FLOYD, 2002). Há seis movimentos básicos do corpo humano, são eles (SACCO; TANAKA, 2008):

- Flexão e Extensão: são os termos que se referem ao movimento de um segmento realizado no plano sagital em torno do eixo látero-lateral. O movimento de aproximação dos segmentos é denominado de flexão e o afastamento de extensão. A Figura 29 apresenta um exemplo do movimento da articulação do ombro realizando o movimento.

Figura 29 - Planos e eixos de movimento no plano sagital em torno do eixo látero-lateral (Flexão e Extensão).

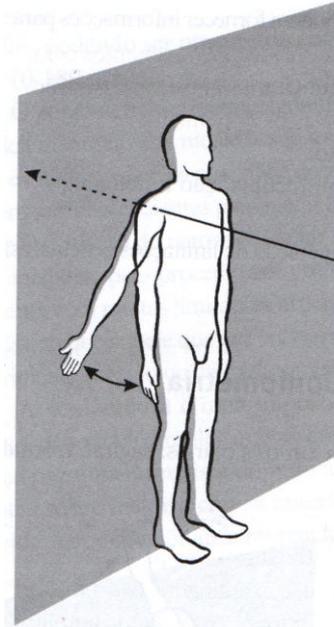


Fonte: MARQUES (2008, p.3).

- Abdução e Adução: são os termos que se referem ao movimento de um segmento realizado no plano frontal em torno do eixo ântero-posterior. Ao afastarmos o membro do corpo o termo é denominado de abdução e ao

aproximar o membro do corpo, o movimento é denominado de adução (Fig. 30).

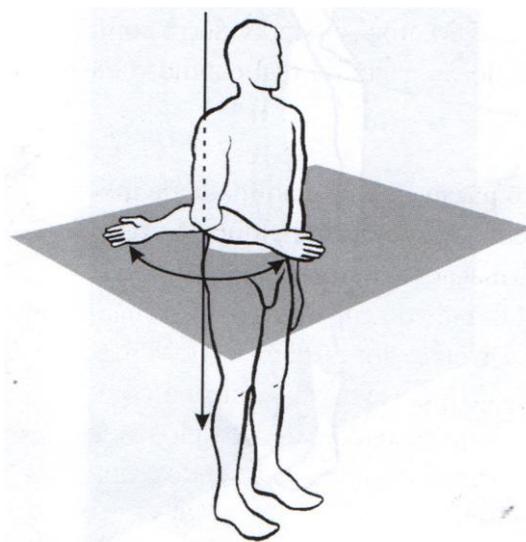
Figura 30 - Planos e eixos de movimento no plano frontal em torno do eixo ântero-posterior (Abdução e Adução).



Fonte: MARQUES (2008, p.4).

- Rotação medial, lateral ou axial: são os termos que se referem ao movimento de um segmento no plano horizontal ou transverso em torno do eixo longitudinal (Fig. 31)

Figura 31 - Movimento no plano horizontal ou transverso em torno do eixo longitudinal (Rotação)

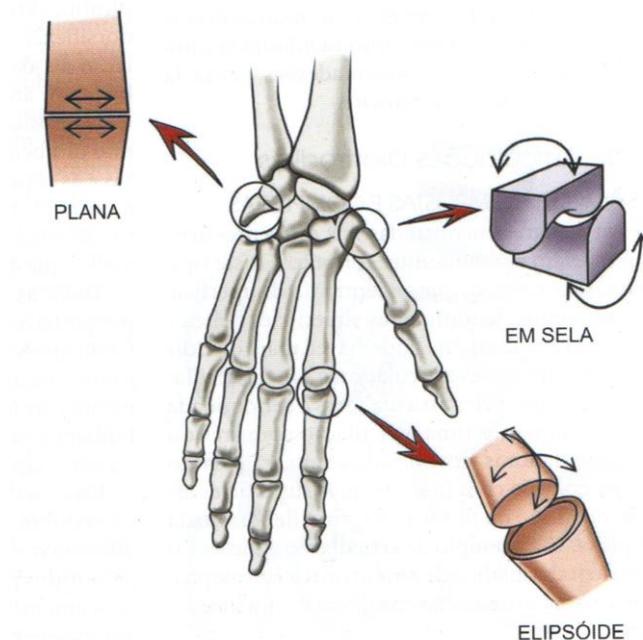


Fonte: MARQUES (2008, p.4).

As articulações que permitem um movimento mais amplo, denominadas de diartrodiais, podem ser classificadas quanto ao seu tipo de movimento e aos eixos em que incidem estes movimentos (BANKOFF, 2007), são elas:

- Articulação plana ou deslizante: Encontra-se no pé entre os tarsos e na mão entre os carpos (Fig. 32). O movimento ocorre sobre apenas um eixo, denominado de não-axial. Ocorre um deslizamento entre as superfícies planas;
- Articulação elipsóide: encontra-se na articulação radiocárpica do punho e na articulação metacarpofalângica das falanges (Fig. 32). Permite movimento em dois planos, portanto em dois eixos, biaxial, o que proporciona 4 diferentes movimentos (flexão e extensão, abdução e adução);
- Articulação em sela: encontra-se somente na articulação carpometacárpica do polegar (Fig. 32). Permite movimento em dois planos, portanto em dois eixos, biaxial, o que proporciona 4 diferentes movimentos (flexão e extensão, abdução e adução) e uma pequena quantidade de movimento de rotação. É uma articulação similar à articulação em formato elipsóide.

Figura 32 - Desenho da articulação plana ou deslizante; articulação em sela e articulação elipsóide

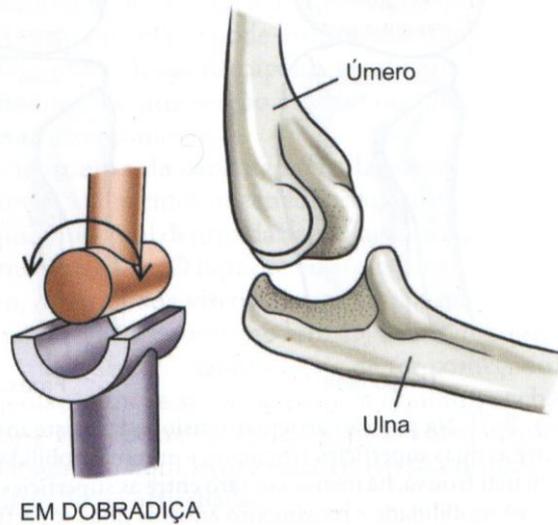


Fonte: Bankoff (2007).

- Articulação em dobradiça: encontra-se nas interfalanges dos dedos do pé e da mão e no cotovelo. A Figura 33 apresenta uma ilustração da articulação em

dobradiça na região entre o úmero e a ulna. Essa articulação permite o movimento em um plano (flexão e extensão) denominado de uniaxial.

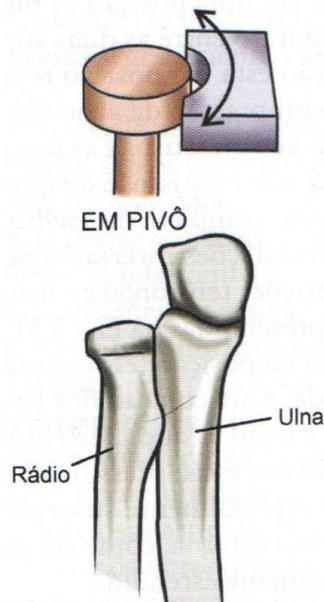
Figura 33 - Desenho da articulação em dobradiça



Fonte: Bankoff (2007).

- Articulação em pivô: encontra-se na articulação radioulnar superior e inferior (Fig. 34) e, na articulação atlantoaxial no crânio, Essa articulação permite o movimento em um plano (rotação, pronação e supinação), uniaxial.

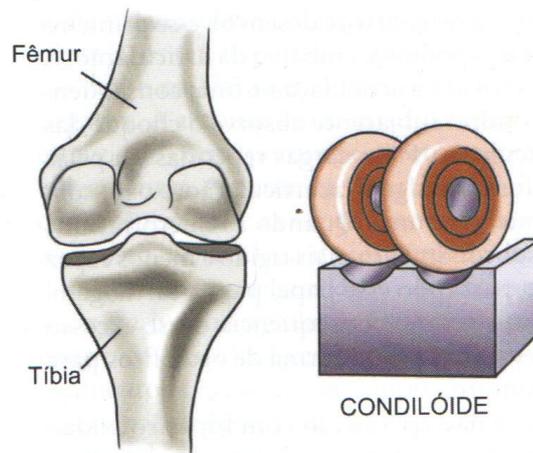
Figura 34 - Desenho da articulação em pivô



Fonte: Bankoff (2007).

- Articulação condilar: encontra-se na articulação do joelho e na mandíbula (Fig. 35). Permite o movimento em um plano (flexão e extensão) e, também, os movimentos de rotação lateral e medial (FLOYD, 2011).

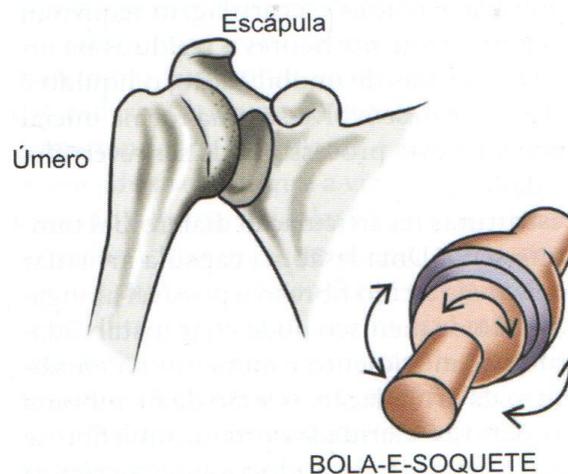
Figura 35 - Desenho da articulação condilar



Fonte: Bankoff (2007).

- Articulação em bola-e-soquete, também conhecida como esférica: encontra-se nas articulações dos ombros e do quadril (Fig. 36). Permite o movimento nos três planos (flexão e extensão, abdução e adução, rotação). Portanto, é denominada de triaxial sendo a articulação com maior mobilidade do corpo humano.

Figura 36 - Desenho da articulação em bola-e-soquete



Fonte: Bankoff (2007).

Cada articulação possui uma determinada amplitude de movimento (ADM), em que envolve músculos, ligamentos, tendões, vasos sanguíneos e nervos. É notado que, para cada postura, a articulação móvel exigida para realização do movimento obtém uma angulação máxima (limite de amplitude do movimento). Quando o movimento exerce uma angulação maior que o limite de amplitude, este pode acarretar em desconforto nos músculos, nas articulações ou nos tendões, podendo causar dores ou lesão (KAPANDJI, 2000; WHITINNG, ZERNICKE, 2009).

A mensuração da amplitude da articulação pode ser realizada utilizando um goniômetro como instrumento de medição manual ou por instrumentos de medição indiretos, como a fotogrametria. Os parâmetros encontrados na literatura, relacionados aos limites e amplitude do movimento em cada articulação, podem ser utilizados como referência para o projeto. Entretanto, devem ser considerados, principalmente no caso de medidas personalizadas, fatores que diminuem a ADM como doenças articulares, neurológicas, musculares, cirurgias e imobilização prolongada (RADOMSKI; LATHAM, 2013).

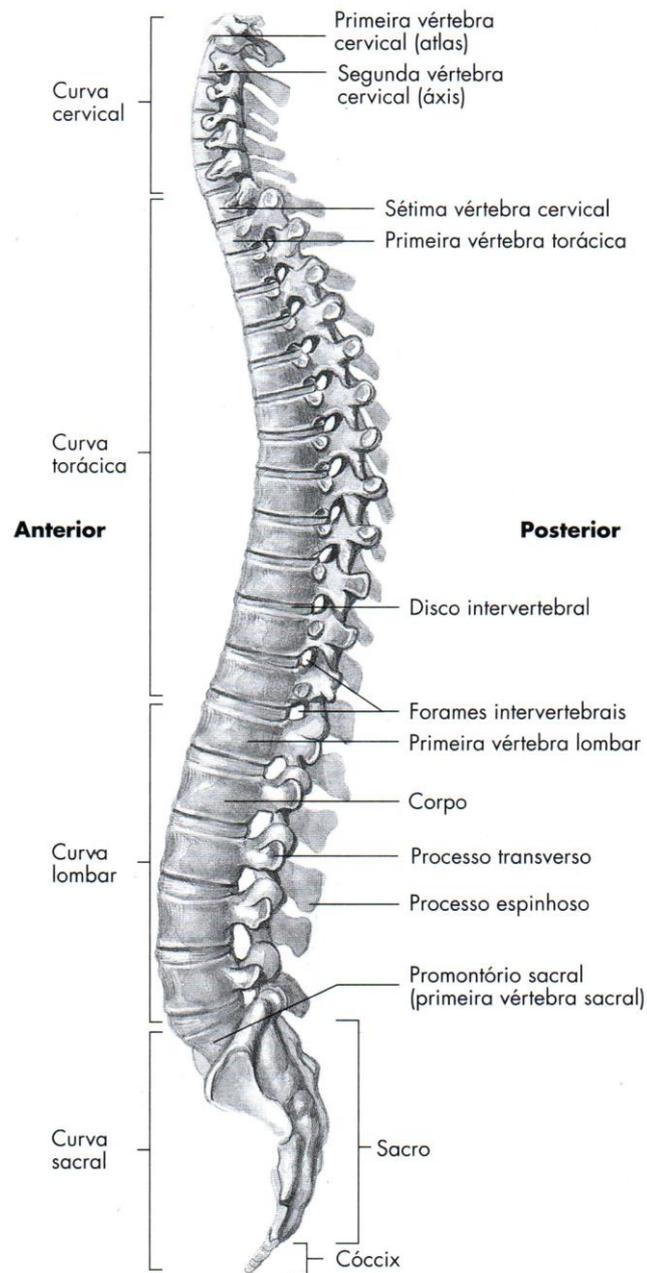
Segundo Nordin e White (1997), a ADM pode variar entre os indivíduos, a idade, o gênero e a execução ativa ou passiva do movimento. Ao ultrapassar essas medidas de ADM, há a possibilidade de ocorrer desconforto articular, dores e lesão (MARQUES, 2003). Os parâmetros de ADM em cada articulação do corpo humano são importantes para a análise ergonômica do uso de um produto ou estação de trabalho, uma vez que indica o tipo de movimento e o quanto cada articulação pode se movimentar. O que possibilita desenvolver um MHD o mais próximo dos movimentos reais do ser humano e, também, possibilita mensurar o conforto ou um provável desconforto ao exercer um movimento fora da ADM.

Marques (2003) apresenta em seu trabalho tabelas contendo os parâmetros de ADM para cada articulação e o tipo de movimento, fornecidos pela *The American Academy of Orthopaedic Surgeons*⁵, em 1965, e *The Veterans Administration of United States of North America*⁶, em 1963 (ANEXO C). A coluna vertebral é uma complexa estrutura, não-lienar e heterogênea, composta por 33 vértebras, que se dividem em segmentos ou regiões: curva cervical, curva torácica, curva lombar e curva sacral (Fig. 37) (SACCO; TANAKA, 2008).

⁵ Academia Americana de cirurgiões ortopédicos

⁶ Administração de Veteranos dos Estados Unidos da América do Norte

Figura 37 - coluna vertebral



Fonte: Thompson e Floyd (2002, p.189).

Para fins de parâmetros de movimento da coluna vertebral e suas respectivas amplitudes de movimento articular, o Quadro 4 apresenta um resumo com os parâmetros referentes a região cervical e a região lombar da coluna vertebral. Estes valores são importantes para o projeto uma vez que irão influenciar na obtenção dos parâmetros antropométricos dinâmicos como os limites de movimento, alcances máximos e mínimos e o conforto. Para cada articulação são definidas as amplitudes máximas, de acordo com os limites biomecânicos osteo-articulares. Entre esta

amplitude de movimento da articulação há medidas denominadas de ângulos de conforto e permitem definir as posturas que condicionam maior conforto durante a realização das tarefas dentro do limite da capacidade de movimento articular (NORDIN; FRANKEL, 2014).

Os parâmetros de ângulos de conforto articular encontrados na literatura são determinados através da associação da postura do usuário ao utilizar um produto aos valores de ADM. Os ângulos de conforto articular são fundamentais como referência em parâmetros antropométricos para identificação de alcances máximos e mínimos de um indivíduo durante a realização de uma tarefa de forma confortável e, também, o diagnóstico de posturas incorretas relacionadas ao uso do produto (TILLEY; DREYFUSS, 2005).

Segundo Panero e Zelnick (2002), as dores começam a aparecer na região da musculatura do pescoço, por exemplo, quando a inclinação da cabeça na vertical for maior que 30°. Tilley e Dreyfuss (2005) apresentam medidas específicas em relação ao movimento angular em algumas articulações do corpo, conforme é apresentado no Anexo D e, o resumo destes parâmetros, são descritos no Quadro 4 da presente pesquisa. Os parâmetros de amplitude de movimento e de conforto articular, enquanto referência, servem como padrões aproximados. Há a necessidade de acrescentar tolerâncias de medidas ao serem consideradas no projeto devido às variações nas funções biológicas e fisiológicas do ser humano. Estas variações se referem as diferenças individuais de cada pessoa como o índice de massa corporal, realização de exercícios físicos e a flexibilidade do corpo. A amplitude das articulações é limitada pelos ligamentos, pelo comprimento e capacidade de flexibilidade dos músculos e tendões. A flexibilidade se relaciona à capacidade física de flexão do movimento nas articulações. Porém, devido à relação de diferença de capacidade de cada pessoa, a flexibilidade é um parâmetro que não pode ser generalizado (BANKOFF, 2007; KAPANDJI, 2008).

O envelhecimento é outro fator que influencia, consideravelmente, na precisão dos parâmetros antropométricos. Por exemplo, a estatura começa a diminuir gradativamente depois dos 50 anos, os homens perdem, aproximadamente, 3 cm de altura até os 80 anos, as mulheres, 2,5 cm. Contudo, as maiores influências ocorrem nos dados relacionados à antropometria dinâmica. Há uma redução dos alcances e

da flexibilidade, especialmente dos braços. Assim, para uso de parâmetros antropométricos tabelados, é necessário fazer certas reduções quando se tratar de pessoas idosas ou com alguma incapacidade física (IIDA, 2005).

Os parâmetros antropométricos provenientes da biomecânica e da ergonomia física são apresentados em um quadro resumo (Quadro 4) no qual contém informações necessárias como: os parâmetros de referência em relação ao movimento do corpo humano para serem aplicados no MHD desenvolvido na presente pesquisa. O Quadro 4 é composto pelas seguintes informações: localização da articulação no corpo humano, planos e eixos de movimento das articulações, tipos de movimento, limites e amplitude de movimento articular (ADM), os ângulos de conforto em cada articulação do corpo humano na posição em pé e, por fim, as referências dos autores onde foram encontradas as informações.

Quadro 4 - Parâmetros antropométricos provenientes da biomecânica e da ergonomia física.

Localização da articulação (KAPANDJI, 2011)	Planos e eixos BANKOFF (2007)	Tipos de movimentos KAPANDJI (2011)	ADM MARQUES (2003)	Ângulos de conforto (posição em pé) TILLEY E DREYFUSS (2005)
Na articulação dos pés entre os tarsos Na articulação das mãos entre os carpos	Não-axial	Deslizamento entre as superfícies planas	_____	_____
Na articulação radiocárpica do punho Na articulação metacarpofalângica das falanges das mãos Na articulação metacarpofalângica das falanges dos pés	Biaxial Plano Sagital (eixo <i>lâtero-lateral</i>) Plano Frontal (eixo <i>ântero-posterior</i>)	Flexão Extensão Abdução Adução Flexão Extensão Abdução Adução Flexão - primeiro dedo - segundo ao quinto dedo Extensão - primeiro dedo - segundo ao quinto dedo	0 - 90 0 - 70 0 - 20 0 - 45 0 - 90 0 - 30 0 - 20 0 - 20 0 - 45 0 - 40 0 - 90 0 - 45	0 - 45 0 - 25 0 - 10

Quadro 4 - *Continuação.*

Localização da articulação (KAPANDJI, 2011)	Planos e eixos BANKOFF (2007)	Tipos de movimentos KAPANDJI (2011)	ADM MARQUES (2003)	Ângulos de conforto (posição em pé) TILLEY E DREYFUSS (2005)
Na articulação carpometacárpica do polegar	Biaxial Plano Sagital (<i>eixo látero-lateral</i>) Plano Frontal (<i>eixo ântero-posterior</i>)	Flexão Extensão Abdução	0 - 45 0 - 20 0 - 70	
Na articulação das interfalanges dos dedos dos pés	Uniaxial Plano Sagital (<i>eixo látero-lateral</i>)	Flexão - primeiro dedo - segundo ao quinto dedo (proximais) - segundo ao quinto dedo (distais)	0 - 90 0 - 35 0 - 60	
Na articulação interfalanges dos dedos das mãos		Flexão Extensão	0 - 110 0 - 10	
Na articulação do cotovelo		Flexão Extensão	0 145 - 0	0 - 100
Na articulação radioulnar superior e inferior	Uniaxial Plano Horizontal (<i>eixo longitudinal</i>)	Pronação Supinação	0 - 90 0 - 90	
Articulação do joelho	Uniaxial Plano Sagital (<i>eixo látero-lateral</i>)	Flexão Hiperextensão Rotação medial Rotação lateral	0 - 140 0 0 - 30 0 - 45	

Quadro 4 - Continuação.

Localização da articulação (KAPANDJI, 2011)	Planos e eixos BANKOFF (2007)	Tipos de movimentos KAPANDJI (2011)	ADM MARQUES (2003)	Ângulos de conforto (posição em pé) TILLEY E DREYFUSS (2005)
Articulação dos ombros	Triaxial	Flexão	0 - 180	0 - 35
	Plano Sagital (eixo látero-lateral)	Hiperextensão	0 - 45	0 - 15
		Abdução	0 - 180	0 - 30
		Adução	0 - 40	
	Plano Frontal (eixo ântero-posterior)	Rotação Medial	0 - 90	
		Rotação Lateral	0 - 90	
Articulação do quadril	Plano Horizontal (eixo longitudinal)	Flexão	0 - 130	0 - 85
		Hiperextensão	0 - 30	
		Abdução	0 - 35	0 - 20
		Adução	0 - 30	0 - 5
		Rotação Medial	0 - 45	
		Rotação Lateral	0 - 50	
Articulação do tornozelo	Biaxial	Dorsiflexão	0 - 20	
Articulação talocrural	Plano Sagital (eixo látero-lateral)	Flexão planar	0 - 45	0 - 25
Articulação tibiofibular inferior		Abdução	0 - 20	
		Adução	0 - 40	
	Plano Frontal (eixo ântero-posterior)			
Articulação coluna vertebral	Biaxial	Flexão	0 - 80	
- Coluna vertebral cervical	Plano Sagital (eixo látero-lateral)	Extensão	0 - 30	
		Flexão lateral	0 - 35	
		Rotação	0 - 45	
- Coluna vertebral lombar	Plano Horizontal (eixo longitudinal)	Flexão	0 - 45	
		Extensão	0 - 45	
		Flexão lateral	0 - 45	
		Rotação Unilateral	0 - 60	

Fonte: Elaborado pela autora com base em Bankoff (2007); Kapandji (2011); Marques (2003); Tilley e Dreyfuss (2005).

Em relação ao campo de visão, em que acontece o movimento dos olhos, são quantificados valores nos quais representam os limites de movimento dos olhos e o

conforto. Em vista lateral (ANEXO D), considerando o ângulo 0° na linha horizontal, denominada de linha de Frankfurt⁷, é possível movimentar o olho para cima no máximo 25° e para baixo no máximo 35° . O ângulo considerado confortável para a visão é considerado de 0° a 30° para baixo da linha de Frankfurt. Na vista superior (ANEXO D), o movimento do olho lateralmente acontece em 35° para ambos os lados, considerando em 15° em ambos os lados à zona determinada de conforto (TILLEY; DREYFUSS, 2005). Os ângulos de conforto são de extrema importância para aplicação no desenvolvimento de projetos ergonômicos. Entretanto, não é simples a identificação e o uso desses ângulos porque apresentam diferenças quanto à postura, em pé ou sentado, ao instrumento de medição e a técnica utilizada, às diferenças e particularidades de cada indivíduo, como a idade, a flexibilidade do corpo e o índice de massa corporal (SCHMIDT *et al.*, 2014).

Um importante estudo sobre os parâmetros de ângulos de conforto ou ângulos preferenciais da postura sentada para uso no desenvolvimento de projeto de interior de automóvel são de Schmidt *et al.* (2014), em que realizaram um levantamento na literatura científica em 30 fontes diferentes, publicadas entre 1940 e 2012. O objetivo principal deste levantamento foi realizar uma análise sobre os parâmetros de ângulos considerados de conforto ou preferenciais para aplicação em projeto, o uso destes parâmetros no interior dos automóveis e a compatibilidade destes parâmetros nos diferentes estudos analisados. Neste estudo, foram utilizados periódicos científicos, bem como a literatura padrão, tais como livros tradicionais sobre biomecânica, projeto de automóveis, anatomia e ergonomia. Foram utilizadas quatro bases de dados internacionais (*Science Direct, PubMed, o Google Scholar, Medline*) bem como três bibliotecas: a biblioteca da Universidade técnica de Munique, a biblioteca da Universidade de Ciências Aplicadas de Munique e da biblioteca Estadual da Baviera.

Schmidt *et al.* (2014), concluem que os diferentes métodos utilizados para medir os ângulos articulares podem causar diferenças nos resultados dos valores

⁷ A linha de Frankfurt é uma linha horizontal imaginária que passa pela extremidade inferior da órbita ocular direita e pelo ponto mais alto da região superior do meato auditivo externo direito (KAPANDJI, 2011).

dos ângulos. Devido à precisão e as diferenças entre os métodos de medição, na maioria dos casos, uma comparação entre eles é problemática. Há métodos 2D, métodos 3D, estudos em laboratório em que envolvem técnicas de simulação utilizando protótipos simples e simuladores mais complexos como, por exemplo, as cabines de sistemas de realidade virtual denominadas de CAVE. Desta forma, foi realizada uma padronização entre os valores de ângulos articulares de conforto entre os principais resultados da revisão de literatura realizada por Schmidt *et al.* (2014), e que estão apresentados nos Quadros 5 e 6, na presente pesquisa. São compilados os resultados dos ângulos de conforto nas articulações do punho, cotovelo, ombros, pescoço, quadril, joelho e tornozelo, na posição sentado para o interior de automóveis. Estes valores são os ângulos das articulações ideais ou de conforto, atualmente conhecidos a partir da literatura científica, que podem ser utilizados de uma forma científica para a modelagem humana digital.

Quadro 5 - Parâmetros de ângulos de conforto com base nos conhecimentos teóricos na posição sentado realizando a tarefa de dirigir um automóvel (literatura científica).

Referências	Objetivo	Tornozelo	Joelho	Quadril	Ombro	Cotovelo	Punho	Flexão do pescoço	Adicional
Rebiffe (1969)	Ângulo do corpo humano	90°-110°	95°-135°	95°-120°	10°-45° braço- vertical	80°-120°	170°-190°	20°-30°	20°-30° inclinação do encosto
DIN 33408 (1987)	Ângulo do corpo humano	90°	125°	Quadril: 95° Lomba: 175°	38°	120°	170°	170° cabeça- tronco	
Wallentowitz (1995)	Ângulo do corpo humano	90°	110°-130°	100°-105°	28°	105°-115°	4°	20°-30°	
Kahlmeier e Marek (2000)	Ângulo do corpo humano	85°-95°	95° - 120°	85°-110°	15°-35°	85°-110°	4°	15°-25°	
Babbs (1979)	Ângulo do corpo humano	85°-95°	95°-120°	95°-115°	15°-35° braço- vertical	80°-110°	170°-190°		15°-25° inclinação do encosto
Picard e Wiesner (1961)	Ângulo do corpo humano	85°-95°	100°-120°	85°-100°	5°-15°	80°-90°			10°-20° inclinação do encosto

Quadro 5 - Continuação.

Referências	Objetivo	Tornozelo	Joelho	Quadril	Ombro	Cotovelo	Punho	Flexão do pescoço	Adicional
Grandjean (1980)	Ângulo do corpo humano	90°-100°	110°-130°	100°-120°	20°-40° braço- vertical			20°-25°	10°-22° Inclinação do assento
Tilley e Dreyfuss (2002)	Ângulo do corpo humano	90°-100°	110°-120°	95°-100°	0°-35°	80°-165°			
Preuschen e Dupuis (1969)	Ângulo do corpo humano	85°-105°	110°-120°	105°-115°		100°		< 20°	< 20° inclinação do encosto
Schmidtk e (1989)	Ângulo do corpo humano	100°	145°	110°	50°	120°			
Diffrient <i>et al.</i> (1974)	Ângulo do assento			93°-95° Encosto					
McFarland e Stoudt (1956)	Ângulo do assento			105° Encosto					7° inclinação do assento
Fubini (1997)	Ângulo do assento			93°-106° Encosto					10°-17° inclinação do assento
Harrison <i>et al.</i> (2000)	Ângulo do assento			95°					100° na horizontal de inclinação do encosto 5° inclinação do assento

Fonte: Adaptado de Schmidt *et al.* (2014)

Quadro 6 - Parâmetros de ângulos de conforto com base em experimentos 3D para inserção em MHD.

Referências	Objetivo	Tornozelo	Joelho	Quadril	Ombro	Cotovelo	Punho	Flexão do pescoço	Adicional
Kyung and Nussbaum (2009)	Ângulo do corpo humano	Sedan: 82°-88° SUV: 94°-130°	Sedan: 84°-91° SUV: 95°-105°	Sedan: 79°-87° SUV: 84°-87°	Sedan: 1°-29° SUV: 2°-11°	Sedan: 85°-120° SUV: 84°-116°	Sedan: 129°-170° SUV: 130°-166°	Sedan: 1°-27° SUV: 1°-30°	Torso-vertical: Sedan: 18°-26° SUV: 18°-23°
Porter and Gyi (1998)	Ângulo do corpo humano	80°-113°	99°-138°	90°-115°	19°-75°	86°-164°		30°-66°	
Hanson <i>et al.</i> (2006)	Ângulo do corpo humano	90°-111°	109°-157°	87°	30°	135°	168°		
Ramsis Seidl (1994)	Ângulo do corpo humano	103°	119°	99°	22°	127°			
Park <i>et al.</i> (1999)	Ângulo do corpo humano	86°-116°	120°-151°	101°-127°	7°-31°	88°-137°			
Park <i>et al.</i> (2000)	Ângulo do corpo humano	82°-124°	120°-152°	103°-131°	7°-37°	86°-116°			
Andreoni <i>et al.</i> (2002)	Ângulo do corpo humano		123°-149°	85°-105°	12°-44°	104°-135°			
Babir <i>et al.</i> (1998)	Ângulo do corpo humano	20°-115°	Inclinação do assento 20°-115°	Inclinação do assento 20°-115°	Inclinação do assento 20°-22°		Inclinação do assento 20°-105°		

Fonte: Adaptado de Schmidt *et al.* (2014).

Segundo Schmidt *et al.* (2014), Kyung e Nussbaum (2009) foram os primeiros autores a investigar a postura sentada em um automóvel da categoria veículo utilitário

esportivo, do inglês “*Sport Utility Vehicle*” (SUV), e comparou-a com a postura preferida em um automóvel da categoria sedan. Oito das dezesseis articulações mostraram diferenças significativas que variavam entre 1,8 mm e 8,4 mm de diferença entre as categorias de veículos. Portanto, concluíram que há diferenças nas posturas e nos ângulos de conforto nos diferentes tipos de categorias de automóveis, e que é necessário mais pesquisas nesse âmbito para padronizar e estruturar estes parâmetros para o projeto. Em contraste com estes resultados, Tilley e Dreyfuss (2005) mencionou que as posturas ideais ou ótimas são praticamente as mesmas para todas as categorias de veículos.

Para aplicação dos parâmetros de ângulos de conforto ou ideais no projeto de produto, é necessário ter muito cuidado em relação a inserção destes parâmetros. Estes podem estar relacionados ao ângulo de construção da cadeira, ao ângulo de superfície do assento da cadeira e ao ângulo relacionado ao corpo humano. É importante considerar o material do produto a ser desenvolvido. Por exemplo, em assentos em que o material de espuma da almofada possui uma densidade pequena, este pode sofrer uma compressão durante o ato de sentar por causa do peso do usuário. Portanto, devem ser consideradas as diferenças entre os ângulos relacionados ao corpo humano, ao ângulos do produto e do material a ser utilizado no produto.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Neste capítulo, são apresentadas as etapas metodológicas utilizadas para o desenvolvimento desta pesquisa. Para confrontar teoria e dados e analisar os fatos é necessário realizar o delineamento da pesquisa, que compreende a análise e a interpretação dos dados bem como as formas de controle das variáveis. Trata-se da definição do desenvolvimento da pesquisa, com ênfase nos procedimentos para a coleta de dados (FLICK, 2009).

Desse modo, a metodologia da presente pesquisa foi delineada utilizando o processo de pesquisa qualitativa em que as etapas metodológicas isoladas encontram-se interligadas umas às outras. A pesquisa é planejada a partir de questões de pesquisa em que as respostas vão norteando o plano de trabalho (FLICK, 2009). Assim, a presente pesquisa é dividida em cinco etapas principais de desenvolvimento metodológico: etapas de investigação, intervenção, verificação, análise e interpretação dos dados, resultados e discussão da pesquisa.

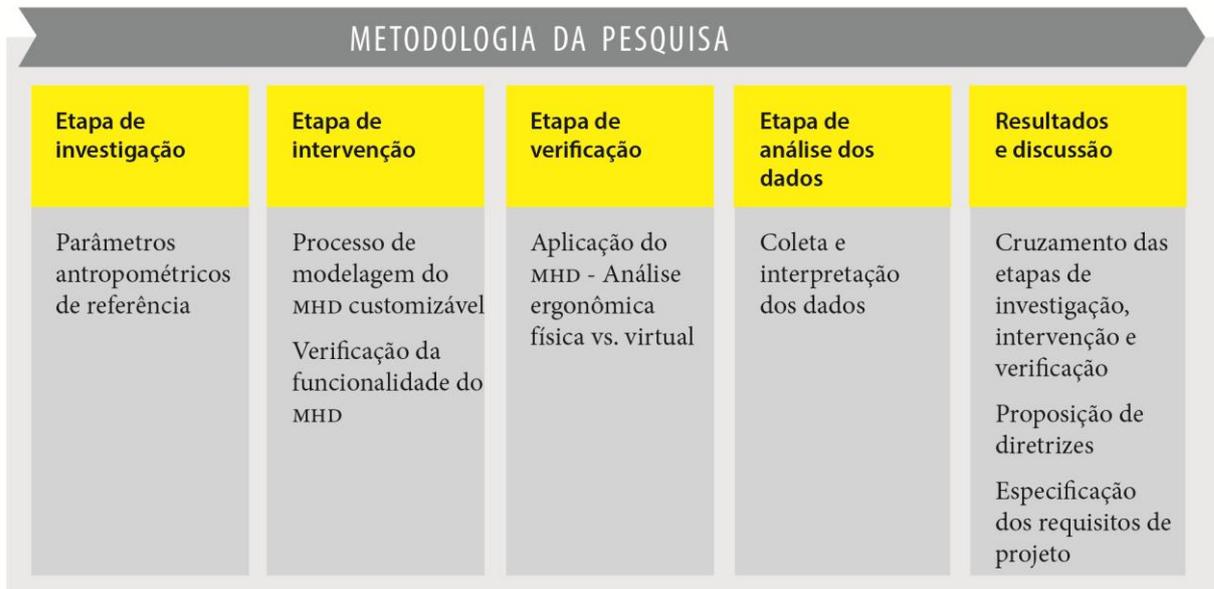
A Figura 38 representa o desenho geral das etapas do desenvolvimento metodológico realizado na presente pesquisa em que se inicia com a etapa de investigação. A partir dos resultados desta, é possível desenvolver a etapa de intervenção em que é iniciado o processo de modelagem do MHD customizado. São conferidas as funcionalidades do MHD em que os parâmetros antropométricos dinâmicos obtidos por meio do MHD, em ambiente virtual, são comparados aos parâmetros obtidos na análise ergonômica em ambiente físico, por sistemas de análise e captura de movimento.

Na etapa de verificação, são realizadas as análises ergonômicas da tarefa em ambiente físico com uso dos produtos existentes, pelos participantes da pesquisa, e estas tarefas são repetidas nas análises ergonômicas em meio virtual com uso do MHD. São aplicadas as técnicas de observação, por meio de imagens fotográficas e entrevistas semiestruturadas. Os resultados destas análises são avaliados e descritos na etapa de análise e interpretação dos dados.

Na última etapa, definida como resultados e discussão, é realizado o cruzamento dos resultados obtidos nas etapas de investigação, intervenção e verificação da pesquisa. É demonstrado o processo de análise ergonômica virtual e o uso do MHD desenvolvido na presente pesquisa e a inserção dos parâmetros

antropométricos dinâmicos obtidos nas etapas do PDP. São descritas as diretrizes de uso do MHD e, após, é finalizada a pesquisa.

Figura 38 - Etapas da metodologia da pesquisa.



Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme o objetivo geral da presente pesquisa, "*Desenvolver um MHD Paramétrico e articulado, que contenha os parâmetros antropométricos estáticos e os parâmetros relacionados aos movimentos do corpo para ser utilizado na análise ergonômica virtual de forma a obter os parâmetros antropométricos dinâmicos*", os objetivos específicos descritos para atingir o objetivo geral seguem elencados no Quadro 7, onde é apresentada a técnica aplicada para sua realização bem como a finalidade desses objetivos.

No item 3.1 da presente pesquisa, etapa de investigação, são descritos detalhadamente os procedimentos para a coleta e análise dos dados, assim como no item 3.2, são descritas as etapas do processo de intervenção. No item 3.3, é descrito o processo de verificação do MHD desenvolvido, no item 3.4, é descrita a etapa de análise e interpretação dos dados. No item 3.5, são descritos como são obtidos os resultados e a discussão da pesquisa.

Quadro 7 - Objetivos específicos, técnica aplicada e finalidade destes objetivos.

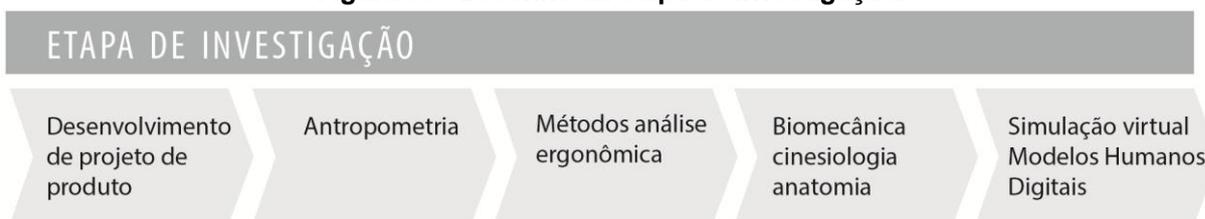
O QUÊ	COMO	PARA QUÊ
<p>Primeiro objetivo específico:</p> <p>Levantar o estado da arte dos métodos e técnicas existentes para realização da análise ergonômica e os métodos desenvolvidos para a obtenção dos parâmetros antropométricos que serão importantes na construção do MHD.</p>	<p>Etapa de investigação: pesquisa bibliográfica</p>	<p>Obter informações para auxiliar na elaboração do método de análise ergonômica proposto na presente pesquisa e desenvolvimento do MHD Paramétrico.</p>
<p>Segundo objetivo específico:</p> <p>Selecionar os parâmetros de referência relacionados ao movimento do corpo humano, considerando a amplitude do movimento articular, limitações e restrições de movimento conforme a geometria da articulação, os planos e eixos de movimento e os ângulos de conforto articular, para que sejam inseridos no MHD.</p>	<p>Etapa de investigação: pesquisa bibliográfica</p>	<p>Determinar os parâmetros necessários para o que o MHD desenvolvido realize os movimentos do corpo o mais próximo da realidade.</p> <p>Relacionar os parâmetros de referência do corpo humano aos parâmetros antropométricos estáticos para que seja possível obter os parâmetros antropométricos dinâmicos e estes atenderem aos requisitos ergonômicos como o conforto, a segurança e eficácia.</p>
<p>Terceiro objetivo específico:</p> <p>Identificar os <i>softwares</i> que possuam formatos Livres (<i>Free Software</i>), códigos abertos (<i>Open Source</i>) ou gratuitos, para o desenvolvimento do MHD Paramétrico para a realização da análise ergonômica virtual de produtos.</p>	<p>Etapa de investigação: pesquisa bibliográfica;</p> <p>Etapa de intervenção: experimentos com <i>softwares</i></p>	<p>Selecionar os <i>softwares</i> que possibilitem o desenvolvimento do MHD Paramétrico.</p>
<p>Quarto objetivo específico:</p> <p>Estabelecer requisitos bem como analisar a funcionalidade do MHD por meio de análises ergonômicas em ambiente físico e virtual, para fins de desenvolver o MHD e suas funcionalidades para realização da análise ergonômica proposta na presente pesquisa.</p>	<p>Etapa de investigação: pesquisa bibliográfica;</p> <p>Etapa de intervenção: comparação dos parâmetros do MHD em meio virtual e físico</p>	<p>Auxiliar na construção do MHD e verificar a funcionalidade do MHD para obtenção dos parâmetros antropométricos por meio da análise ergonômica proposta na presente pesquisa.</p>
<p>Quinto objetivo específico:</p> <p>Elaborar um manual de uso para auxiliar na obtenção e aplicação dos parâmetros antropométricos no MHD desenvolvido na presente pesquisa e para realização da análise ergonômica do produto por meio da simulação virtual no processo de projeto de produto.</p>	<p>Etapa de Intervenção, Resultados e Discussão:</p> <p>Descrever diretrizes de uso, em um manual, conforme o processo de modelagem do MHD e da simulação virtual</p>	<p>Auxiliar no uso do MHD desenvolvido na presente pesquisa, na análise ergonômica virtual e aplicação dos parâmetros antropométricos estáticos e dinâmicos para atender aos requisitos ergonômicos de projeto.</p>

Fonte: Elaborado pela autora.

3.1 Etapa de Investigação

A etapa de investigação consiste na revisão de literatura, valendo-se do método de pesquisa bibliográfica para a fundamentação teórica e focalização do assunto da pesquisa (FLICK, 2009). Faz parte do escopo da pesquisa assuntos como antropometria estática e dinâmica e sua aplicação no desenvolvimento de projetos de produtos ergonômicos. Para a focalização do assunto, são contemplados os métodos e técnicas para obtenção de parâmetros antropométricos estáticos e dinâmicos através de métodos manuais, digitalização 3D, sistemas de captura e análises de movimento, métodos para realização da análise ergonômica física e virtual e modelos humanos digitais. O desenho da etapa de investigação é apresentado na Figura 39.

Figura 39 - Desenho da etapa de investigação.



Fonte: Elaborado pela autora.

O objetivo principal da etapa de investigação é obter como resultado informações referentes aos parâmetros necessários para o processo de modelagem do MHD Paramétrico e definição do processo de análise ergonômica no PDP. Para isso, é utilizado o método de pesquisa bibliográfica, em livros de ergonomia de produto e periódicos científicos. No primeiro capítulo da fundamentação teórica intitulado de "*Parâmetros antropométricos no processo de desenvolvimento de projeto*" é realizado um estudo nos principais livros de metodologia de projeto de produto, como: Löbach (2000), Baxter (2005), Iida (2005), Back *et al.* (2008) e Rozenfeld *et. al* (2009).

A partir desta pesquisa, é reconhecida pela autora a necessidade de aprofundar este estudo em metodologias voltadas para o desenvolvimento de produtos com foco na ergonomia e metodologias centradas no usuário como: Gomes Filho (2010); Panero e Zelnick (2002); Tilley e Dreyfuss Associates (2005); Green *et al.* (1999); Hypponen, (1999); Pahl *et al.* (1996); Roozenberg e Ekels, (1995); Ulrich e Eppinger (2012) e Hersh (2010).

Além de analisar os processos de desenvolvimento de projeto de produto ergonômico, também são necessários estudos específicos através da pesquisa em periódicos científicos sobre antropometria e como são realizadas as análises ergonômicas para atender os requisitos ergonômicos de projeto de produto como conforto, segurança e eficácia. Os parâmetros antropométricos são classificados em estáticos e dinâmicos, assim como são identificados os pontos anatômicos referentes às variáveis antropométricas do corpo humano para padronização para o processo de medição.

Para o estado da arte dos métodos de obtenção dos parâmetros antropométricos e análises ergonômicas do produto, é realizada uma pesquisa em periódicos internacionais em portais de busca utilizando o método da revisão bibliográfica sistemática (RBS). Para uma abrangência maior de estudos na área, e em função da tecnologia ser incipiente e haver poucos estudos, os anos de busca se delimitam entre 2001 e 2015, contendo as seguintes palavras-chave: *Ergonomic analysis of the product, ergonomics in product design and methods for obtaining the anthropometric parameters for product design*⁸. Estes periódicos são buscados no portal de busca de periódicos *sciencedirect*⁹ na língua inglesa.

Para obter os parâmetros antropométricos dinâmicos através do movimento do usuário ao efetuar uma tarefa, além dos parâmetros antropométricos estáticos, é necessário buscar parâmetros relacionados ao movimento do corpo humano em áreas de conhecimento como a biomecânica, a cinesiologia, a ergonomia e o design de produtos. Portanto, identificar as relações e contribuições destas áreas de conhecimento para a realização do desenvolvimento do MHD para a análise ergonômica virtual.

Os parâmetros antropométricos dinâmicos contemplam as medidas dos alcances máximos e mínimos sobre o produto ou espaço de trabalho e os ângulos de conforto articular. Estes parâmetros são obtidos a partir da relação dos parâmetros antropométricos estáticos e dos parâmetros de referência em relação aos movimentos do corpo humano que incluem a amplitude do movimento articular,

⁸ análise ergonômica do produto, ergonomia no projeto de produto e métodos para obtenção dos parâmetros antropométricos para o projeto de produto (traduzido pela autora).

⁹ <http://www.sciencedirect.com/>

limitações e restrições de movimento conforme a geometria da articulação, os planos e os eixos de movimento.

Para investigar esses critérios e obter essas informações, é realizada uma pesquisa em periódicos internacionais em portais de busca utilizando o método da revisão bibliográfica sistemática (RBS). Os anos dos periódicos se delimitam entre 2002 e 2015, em função de obter uma abrangência maior de estudos na área, as palavras-chave utilizadas na busca são: *angles of comfort, optimum angles, biomechanics and product design, methods for postural analysis and dynamic anthropometry*¹⁰. Estes periódicos são buscados no portal *sciencedirect.com*¹¹ na língua inglesa. Também, é realizado o método de pesquisa bibliográfica em livros que tratam destes assuntos como em livros de ergonomia, biomecânica, biodinâmica e cinesiologia.

A partir da identificação dos parâmetros de referência relacionados ao movimento do corpo humano, estes parâmetros são apresentados no Quadro 4 para que sejam utilizados como referência de projeto e aplicados no MHD Paramétrico desenvolvido na presente pesquisa. Este quadro contém informações como: articulações do tipo sinartroses, localização da articulação no corpo humano, planos e eixos de movimento das articulações, tipos de movimento, limites e amplitude de movimento articular, os ângulos de conforto e a postura em cada articulação do corpo humano e, por fim, as referências dos autores onde foram encontradas as informações adquiridas e descritas.

Para finalizar a etapa de investigação e iniciar o desenvolvimento do MHD Paramétrico, são investigados os *softwares* OpenSIM[®], MakeHuman[®], 3DSSPP[®], Blender[®] e Sverschok[®], nos quais são encontrados MHD. Os critérios de seleção para investigação desses *softwares* são: *softwares* com custo acessível ou gratuitos, formatos Livres (*Free Software*) e/ou códigos abertos (*Open Source*), que contenham modelos humanos articulados e que possam ser exportados em formatos compatíveis aos formatos utilizados em *softwares* de modelagem 3D utilizados no desenvolvimento de projetos de produtos como Studio 3D Max[®], Blender[®], Solidworks[®], SketchUp Make[®] e Rhinocerus[®]. O processo de

¹⁰ ângulos de conforto, ângulos ótimos ou ideais, biomecânica e o projeto de produto, métodos para análise postural e antropometria dinâmica (traduzido pela autora).

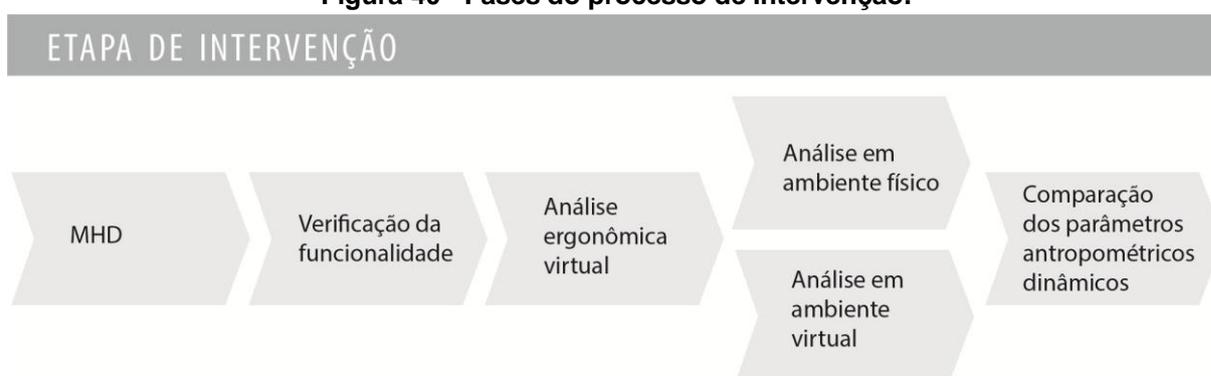
¹¹ <http://www.sciencedirect.com/>

desenvolvimento do MHD Paramétrico e da verificação da sua funcionalidade é descrito no item 3.2.

3.2 Etapa de Intervenção

A etapa de intervenção consiste em cinco fases principais (Fig. 40). O processo de modelagem do MHD, a verificação da funcionalidade em que ocorrem as análises ergonômicas em ambiente físico e virtual e a obtenção e comparação dos parâmetros antropométricos dinâmicos entre estas análises.

Figura 40 - Fases do processo de Intervenção.



Fonte: Elaborado pela autora.

O processo de modelagem do MHD é descrito no item 3.2.1. No item 3.2.2, é descrito o processo da análise ergonômica virtual. No item 3.2.3, é descrita a verificação da funcionalidade MHD, no qual consiste em comparar os parâmetros antropométricos em análises em ambiente físico utilizando protótipos dos produtos analisados e, por meio virtual, em que os produtos são modelados em 3D e é utilizado o MHD. No item 3.2.4, é descrito o processo de modelagem dos produtos 3D da estação de trabalho e do simulador veicular de autoescola para uso na simulação virtual.

3.2.1 Processo de modelagem do MHD Paramétrico

Para o processo de modelagem do MHD são utilizados os *softwares* Blender[®] e o MakeHuman[®] conforme a definição desses na etapa de investigação e intervenção. Os requisitos estabelecidos para o processo de modelagem do MHD são:

- Customização das variáveis antropométricas para que se consiga obter os parâmetros antropométricos necessários para o projeto, principalmente, que demandam maior nível de detalhamento e precisão dimensional;
- Articulações móveis para que se consiga efetuar os movimentos necessários durante o uso de um determinado produto conforme o movimento real do corpo humano;
- Sinalização de zonas de conforto e desconforto articular nas articulações do MHD, através de cores originadas pelo movimento do modelo humano.

Estes requisitos bem como a sinalização das zonas de conforto e desconforto articular são atingidos através de um algoritmo no *software* Blender[®], que realiza a leitura dos ângulos de movimentação do modelo 3D no qual indica determinada cor para os ângulos conforme a movimentação sobre os eixos x, y ou z. As zonas de conforto e desconforto são definidas a partir dos resultados obtidos na etapa de investigação. As cores utilizadas são:

- Verde, sinalizando zonas de conforto articular;
- Vermelho, sinalizando desconforto articular ou probabilidade de dores e lesões músculo articulares bem como os limites de movimento articular.

Após a modelagem e o cumprimento dos requisitos estabelecidos para o desenvolvimento do MHD, é possível realizar a análise ergonômica do produto e obter os parâmetros antropométricos dinâmicos. Para o processo de medição, são demarcados *landmarks* nos pontos anatômicos no MHD desenvolvido, utilizando o *software* Measure[®] caracterizado como uma extensão para o Blender[®].

3.2.2 Descrição da análise ergonômica virtual

O processo de análise ergonômica virtual utilizado na presente pesquisa consiste em quatro etapas, conforme a pesquisa bibliográfica apresentada na etapa de investigação e adaptada pela autora da pesquisa:

- Na primeira etapa, denominada de Etapa da Tarefa, são prescritas as funções dos produtos e como essas devem ser realizadas pelo usuário; etapa em que os parâmetros antropométricos estáticos são inseridos no MHD;

- Na segunda etapa, denominada de Etapa da Atividade, o uso do produto pelo MHD é analisado conforme a prescrição da tarefa;
- Na terceira etapa, denominada de Etapa de Diagnóstico, é realizada a coleta de dados da análise ergonômica;
- Na quarta etapa, denominada de Etapa de Recomendações ergonômicas, os parâmetros antropométricos dinâmicos são obtidos e inseridos no projeto de produto e, desta forma, os devidos ajustes e correções são realizados.

Na etapa da tarefa, são definidas as dimensões do produto, as posições e os movimentos adequados do usuário para a realização da tarefa. São analisadas as posturas do usuário ao realizar os movimentos de alcance máximo e mínimo, bem como os ângulos de conforto articular conforme a sinalização da zona de conforto e amplitudes do movimento no MHD. Desta forma, é possível obter os parâmetros antropométricos e realizar as recomendações ergonômicas para o projeto de produto.

Na análise ergonômica virtual da estação de trabalho, primeiramente, são definidas as medidas antropométricas estáticas dos usuários. São escolhidos dois participantes, um representa a medida antropométrica do percentil de 95 da variável antropométrica estatura do homem e, o outro participante, representa o percentil 5% da variável antropométrica estatura da mulher, conforme as medidas estabelecidas na tabela antropométrica de Panero e Zelnik (2002). Estas medidas são inseridas no MHD desenvolvido. A escolha de dois participantes para a análise ergonômica se deve ao objetivo de verificação do MHD em relação aos parâmetros antropométricos obtidos na análise física e a comparação destes através da análise ergonômica virtual.

Para a realização da análise ergonômica da estação do trabalho, são consideradas as medidas da mesa de trabalho como a altura, a largura e a profundidade da mesa, as medidas do computador e seus acessórios bem como o posicionamento desses sobre a mesa e a cadeira de escritório, com as devidas dimensões e ajustes de medidas. O MHD realiza as funções de digitar no teclado, manipular o *mouse*, ligar e desligar a unidade central de processamento (CPU), observar a tela do monitor, movimentar as pernas embaixo da mesa de trabalho e

realizar os movimentos de alcances máximos e mínimos sobre a mesa de trabalho em toda a sua superfície. As variáveis antropométricas analisadas na tarefa da estação de trabalho são:

- Movimentos de digitar no teclado, manipular o *mouse* e ligar e desligar o CPU: Variáveis antropométricas das medidas lineares que vão do ponto anatômico da extremidade do dedo médio da mão (Dáctilo) ao ponto anatômico do punho (Estiloidal), ponto anatômico do punho ao do cotovelo (Radial), ponto anatômico do cotovelo ao ombro (Acromial), e os pontos anatômicos da coluna vertebral distribuídos em um ponto na curva sacral, três pontos na região lombar, um ponto na região torácica e dois pontos na região cervical. São medidos os alcances máximos e mínimos do usuário ao escrever no teclado, ao manipular o *mouse* e ao ligar o CPU; e são mensurados os ângulos entre os pontos anatômicos para verificação dos ângulos de conforto.
- Postura do usuário sentado na cadeira, as medidas das mãos e braços sobre o tampo da mesa: Variáveis antropométricas que envolvem os membros superiores e inferiores e a coluna vertebral. As variáveis antropométricas dos membros superiores são as mesmas descritas anteriormente bem como os parâmetros da coluna cervical. Os parâmetros dos membros inferiores envolvem as medidas dos pontos anatômicos entre o pé (Maleolar) e a patela (Tibial lateral/medial), os pontos anatômicos entre a patela e a articulação do quadril (Trocantérico) e os pontos anatômicos entre a articulação do quadril e da crista ilíaca (Iliocristal). É verificada a postura na posição sentado, a altura do assento da cadeira até o chão e as angulações do encosto, a altura do tampo da mesa bem como o espaço entre o tampo e as pernas dos usuários. As medidas da profundidade do tampo da mesa para verificação dos alcances máximos e mínimos, as medidas lineares entre os pontos anatômicos mencionados e os ângulos entre os pontos anatômicos.
- Movimentos da cabeça ao olhar para o teclado e para a tela do monitor: Variáveis antropométricas que envolvem as medidas na posição sentado, variáveis antropométricas entre os pontos anatômicos da coluna cervical, da

nuca e do ponto da extremidade da cabeça (Vértex) e o ponto anatômico no centro da testa (Glabela).

Para a análise ergonômica do equipamento de simulação veicular utilizado pelas autoescolas, são utilizados os mesmos participantes da análise ergonômica da estação de trabalho. O uso dos mesmos participantes e da quantidade de participantes está relacionada ao objetivo de verificação do desempenho do MHD desenvolvido na presente pesquisa. Na análise ergonômica do equipamento de simulação veicular, são analisados os movimentos dos participantes ao realizar a simulação de condução do automóvel, como: campo de visão, ajustes do banco do motorista e alcances dos periféricos (pedais, alavanca de câmbio e freio de estacionamento e volante). As variáveis antropométricas verificadas na análise ergonômica do simulador veicular são:

- Campo de visão: Os participantes devem olhar para frente, para o espelho retrovisor esquerdo e para o retrovisor direito. Para isso, as variáveis antropométricas mensuradas são as que se encontram entre os pontos anatômicos da coluna cervical, da nuca e do ponto da extremidade da cabeça (Vértex) e o ponto anatômico no centro da testa (Glabela).
- Ajustes do banco do motorista e alcances dos periféricos (pedais, alavanca de câmbio e freio de estacionamento e volante): Os participantes realizam o movimento de alcance dos braços ao volante, das pernas aos pedais, alcances no painel e na alavanca de câmbio e freio. Para isso, as medidas lineares entre os pontos anatômicos e os ângulos são mensuradas. Os pontos anatômicos abrangem a extremidade do dedo médio da mão (Dáctilo) ao ponto anatômico do punho (Estiloidal), do punho ao do cotovelo (Radial), do cotovelo ao ombro (Acromial), e os pontos anatômicos da coluna vertebral distribuídos em um ponto na curva sacral, três pontos na região lombar, um ponto na região torácica e dois pontos na região cervical. Para os membros inferiores, são mensurados os pontos anatômicos entre a ponta do dedo do pé (primeiro artelho) e o maleolar, o ponto anatômico no calcâneo e na patela (Tibial lateral/medial), os pontos anatômicos entre a patela e a articulação do quadril

(Trocantérico) e os pontos anatômicos entre a articulação do quadril e da crista ilíaca (Iliocristal).

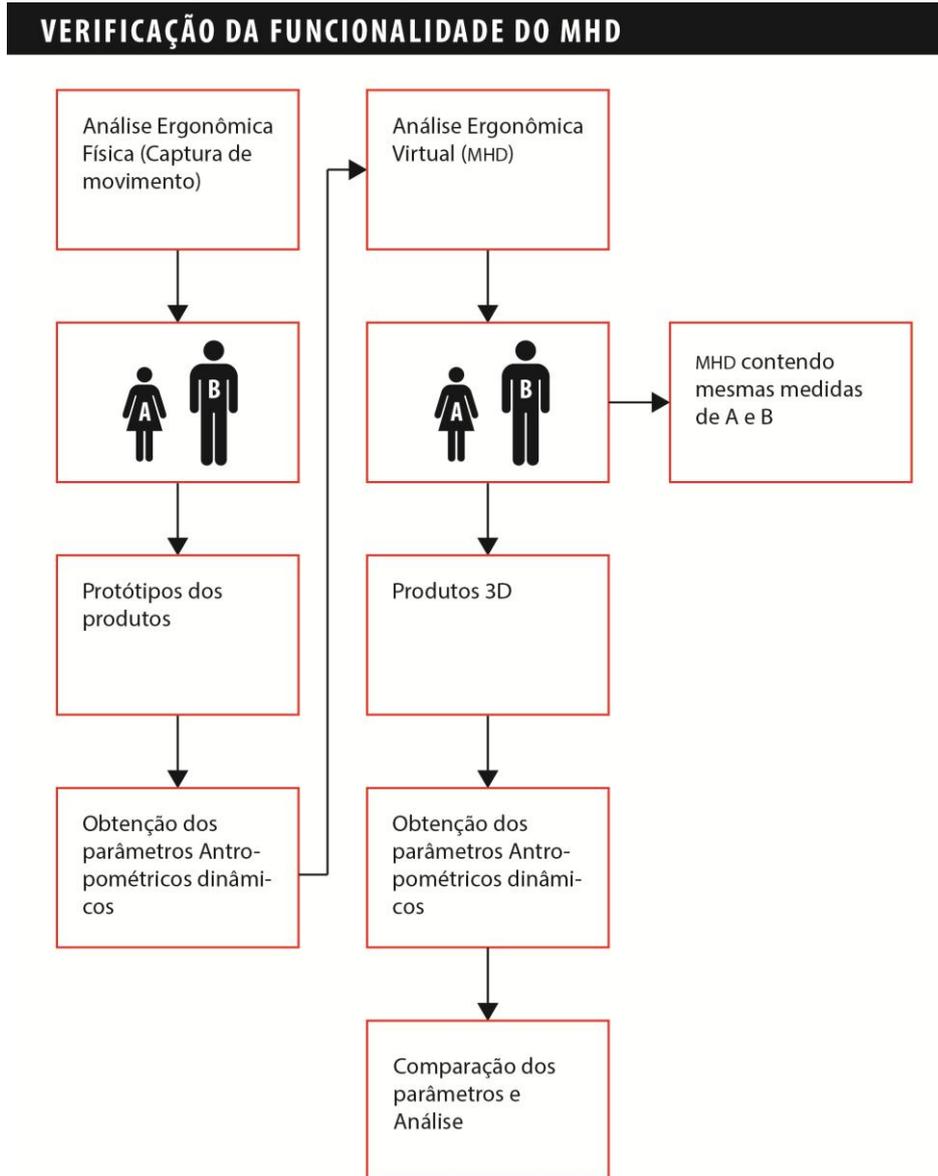
As análises ergonômicas virtuais são realizadas pela autora da presente pesquisa e são analisadas conforme o protocolo (Apêndice A) no qual tem como objetivo estruturar e organizar critérios segundo os princípios de usabilidade de Lipton (2007) para análise e verificação do desempenho do MHD desenvolvido na presente pesquisa. A avaliação dos parâmetros antropométricos dinâmicos obtidos através do MHD é realizada por meio de testes de verificação da funcionalidade na etapa de intervenção, em que os parâmetros são comparados e analisados.

3.2.3 Verificação da funcionalidade do MHD

Esta etapa da pesquisa é referente à verificação da funcionalidade e dos parâmetros antropométricos dinâmicos obtidos pelo MHD e do método de análise ergonômica. Segundo Tilley e Dreyfuss (2005) é fundamental testar as ferramentas de análise ergonômica com pessoas reais para validar o método desenvolvido na presente pesquisa. "Estudos virtuais podem ser feitos com programas de modelagem humana, mas os resultados permanecerão teóricos até que alguém crie um modelo e o teste com pessoas reais" (TILLEY; DREYFUSS, 2005, p. 12). Assim, a verificação da funcionalidade do MHD consiste na comparação dos parâmetros antropométricos obtidos na tarefa realizada em ambiente físico, na qual é efetuada através da simulação utilizando protótipos físicos da estação de trabalho e do simulador veicular de autoescola, aos parâmetros antropométricos obtidos na mesma tarefa em ambiente virtual. O objetivo destas comparações é verificar se há compatibilidade dos parâmetros antropométricos dinâmicos obtidos entre ambas as tarefas (física e virtual), sendo assim, verificar o desempenho e a funcionalidade do MHD Paramétrico desenvolvido na presente pesquisa, conforme é apresentado na Figura 41.

Para isso, as tarefas utilizando os protótipos físicos são realizadas pelos participantes e as mesmas posturas são repetidas pelo MHD (contendo as mesmas medidas antropométricas) na tarefa em ambiente virtual, para que os parâmetros antropométricos dinâmicos possam ser comparados, tanto nas tarefas da análise ergonômica realizadas na estação de trabalho quanto no simulador veicular.

Figura 41- Verificação da funcionalidade do MHD.



Fonte: Elaborado pela autora.

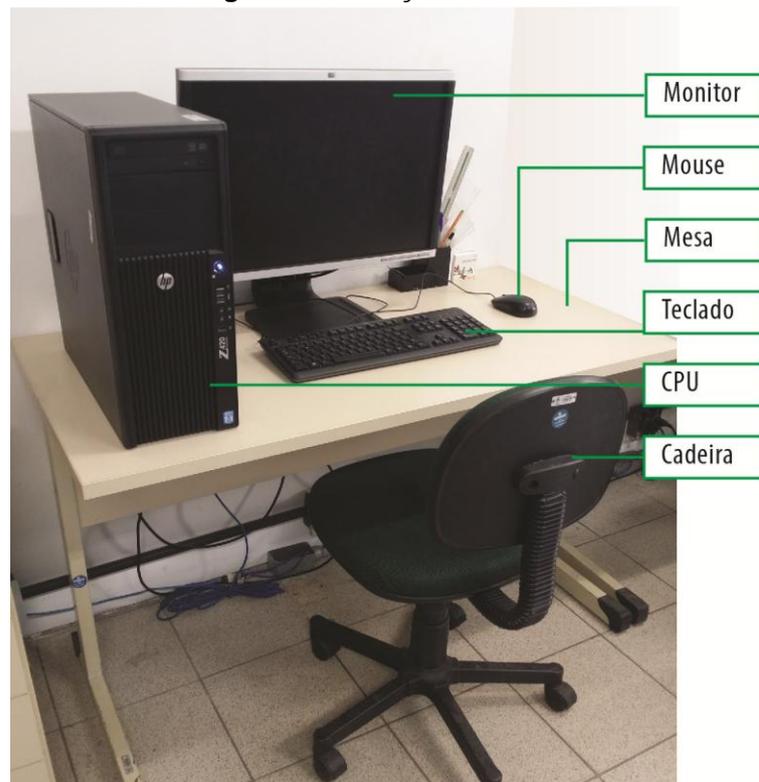
A unidade de coleta de dados para a análise com protótipos físicos, no qual contém equipamentos e sistemas contendo câmeras de infravermelho para realização da captura e do registro do movimento, é realizada no Laboratório de Pesquisa do Exercício da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Lapex/UFRGS). São demarcados os espaços da estação de trabalho e do simulador veicular, conforme os dimensionamentos em escala real. Essa marcação é feita no chão do laboratório e com uso de fitas para sinalização das distâncias. Os protótipos físicos, desenvolvidos com material de fibra de madeira de média densidade (MDF), são construídos de maneira em que sua estrutura não oculte os

pontos refletores e, assim, não prejudique a geração do modelo 3D para obtenção dos parâmetros antropométricos. Os pontos refletores (*landmarks*) são colocados nos pontos anatômicos dos participantes. Após a coleta dos dados, é realizada a análise da tarefa em ambiente virtual, repetindo a tarefa exercida pelos participantes da pesquisa para que sejam comparados e analisados os parâmetros antropométricos dinâmicos obtidos entre ambas as análises, física e virtual.

3.2.4 Modelagem 3D dos produtos

A análise ergonômica virtual é realizada no *software* Blender[®], pela autora da presente pesquisa e, para isso, são modelados dois produtos diferentes. O primeiro produto modelado em 3D para ambiente virtual é uma estação de trabalho, no qual é composta por uma mesa, uma cadeira de escritório e um computador. A estação de trabalho é modelada utilizando o *software* de modelagem tridimensional SketchUp Make[®].

Figura 42 - Estação de trabalho

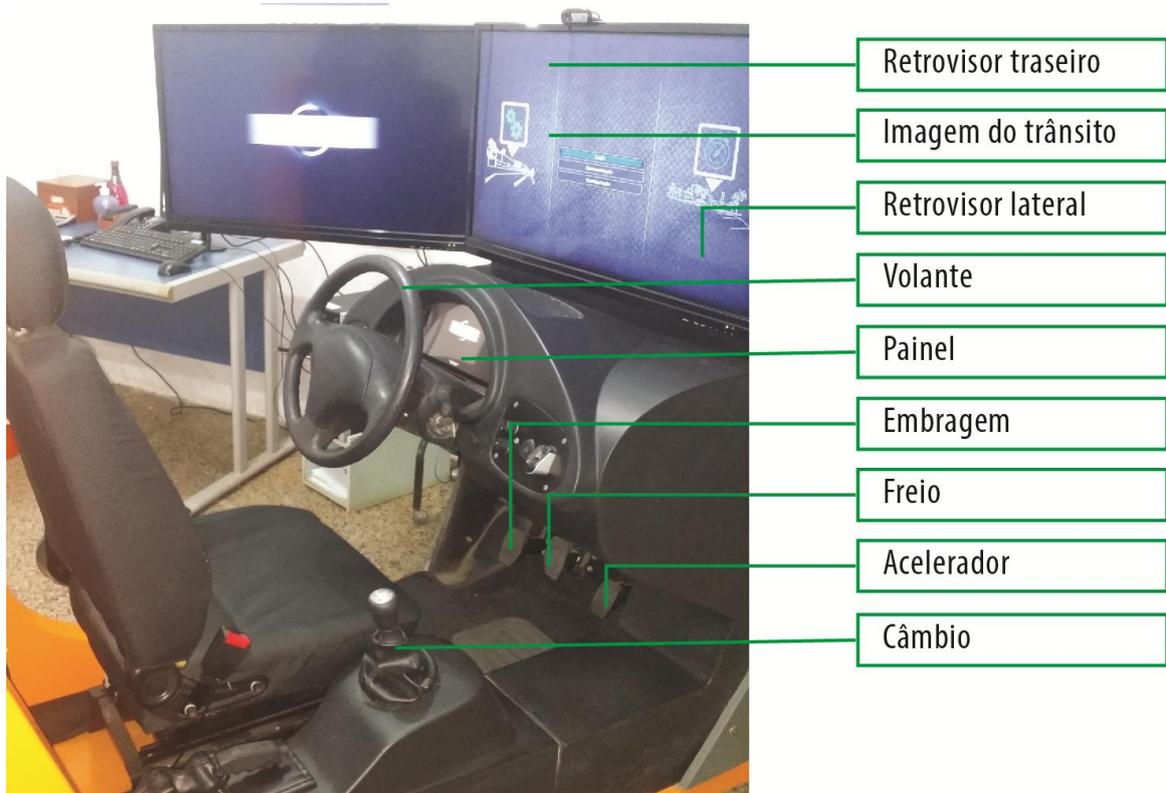


Fonte: Elaborado pela autora.

A escolha da estação de trabalho (Fig. 42) foi realizada por conveniência, por ser utilizada pelos professores e pesquisadores do Laboratório de pesquisa Virtual

Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (VID/UFRGS), que contém uma diversidade de características antropométricas. Portanto, a mesa, a cadeira, o computador e os acessórios (*mouse* e o teclado) são modelados conforme as dimensões reais do ambiente físico. O segundo produto modelado é um equipamento de simulação veicular utilizado pelas autoescolas (Fig. 43), composto pelo banco do motorista e seus ajustes, pedais de embreagem, freio e acelerador, painel frontal, volante e caixa de câmbio. A escolha do simulador veicular de autoescola, que caracteriza o interior do automóvel, foi determinada por ser um produto utilizado por diversas pessoas, abrangendo tanto os valores máximos do percentil estatura quanto os valores mínimos, em uma faixa etária acima de 18 anos para ambos. Para a modelagem do produto em ambiente virtual, são conferidas as medidas, os ajustes e os posicionamentos que compõem o equipamento de simulação virtual, em uma autoescola localizada na cidade de Porto Alegre - RS, a fim de reproduzir o equipamento em um modelo 3D para realização da análise ergonômica virtual.

Figura 43 - Simulador veicular de autoescola



Fonte: Elaborado pela autora.

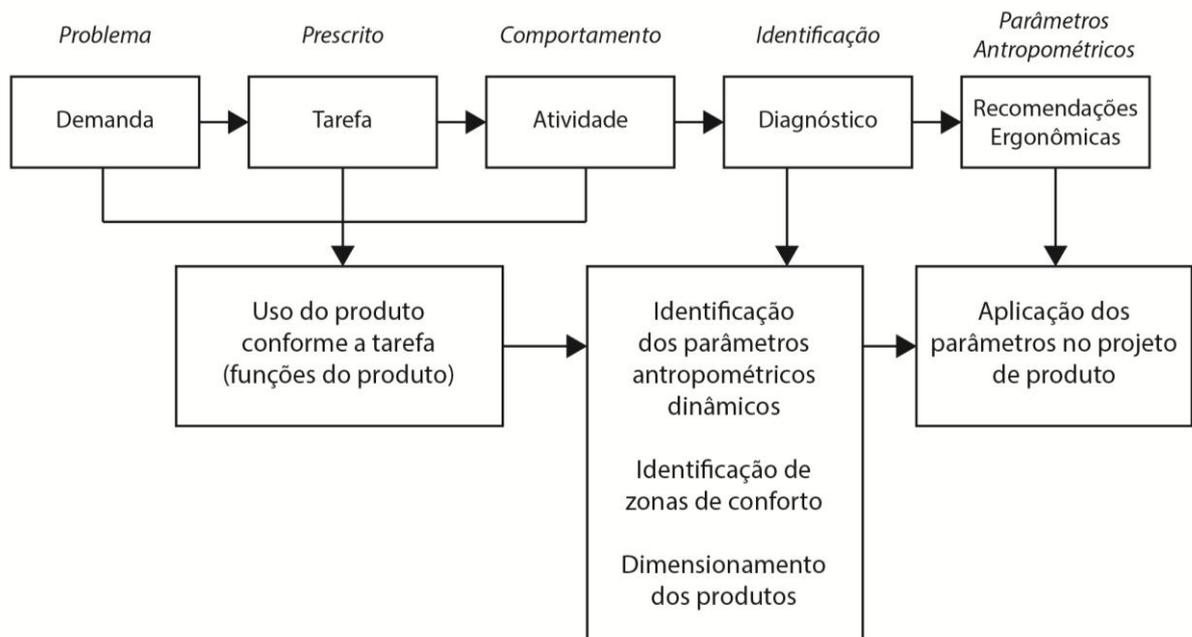
Os produtos utilizados para análise ergonômica - estação de trabalho e simulador veicular - são modelados em 3D no *software* de modelagem tridimensional SketchUp Make® e importados em formato 'obj' para o *software* Blender®, para a realização da análise ergonômica virtual utilizando o MHD desenvolvido na presente pesquisa.

3.3 Etapa de verificação

Após o desenvolvimento do MHD e da verificação da sua funcionalidade, é realizada a aplicação do MHD no processo de análise ergonômica virtual. Para isso, foram realizadas análises do uso dos produtos (estação de trabalho e do simulador veicular de autoescola) pelos participantes da pesquisa nos ambientes físicos e em ambiente virtual. A descrição da tarefa foi apresentada no item 3.2.2.

Conforme apresentado na Figura 44, os parâmetros antropométricos dinâmicos são identificados durante a análise do uso do produto e do comportamento postural do usuário ao realizar a tarefa e, desta forma, é realizado o diagnóstico dos parâmetros antropométricos adequados em relação às zonas de conforto articular e aos alcances para que estes sejam conferidos e aplicados no projeto de produto (recomendações ergonômicas).

Figura 44 - Aplicação do MHD no processo de análise ergonômica virtual.



Fonte: elaborado pela autora.

Para avaliar os resultados da análise ergonômica virtual, são realizadas análises em ambiente físico utilizando as técnicas de observação direta e indireta, com aplicação de entrevistas semiestruturadas. As posturas dos participantes ao utilizarem os produtos são registradas por meio de imagens fotográficas para as análises utilizando a técnica da observação sistemática. Esta, conforme destacado por Vidal (2002), é mais eficiente quando realizada conforme uma estrutura de objetivos que irá guiar e focar o observador para o que é relevante na análise da tarefa e obter informações relacionadas aos alcances do usuário e ao dimensionamento das medidas do produto. Desta forma, a estrutura de objetivos para auxiliar na análise pela observação é elencada da seguinte maneira:

- Observar os alcances dos pés;
- Observar os alcances dos braços e o esforço exercido pelos participantes durante a realização da tarefa;
- Observar o ângulo formado na articulação do tornozelo (ângulo entre o segmento do pé e o comprimento da tíbia);
- Observar o ângulo formado na articulação do joelho (ângulo entre o segmento da tíbia e do fêmur);
- Observar o ângulo formado no quadril (ângulo entre o segmento do fêmur e da região lombar na coluna vertebral);
- Observar a inclinação da coluna vertebral (lombar e cervical);
- Observar o ângulo formado na articulação do ombro (ângulo entre o segmento do úmero e da clavícula);
- Observar o ângulo formado na articulação do cotovelo (ângulo entre o segmento do úmero e do rádio);
- Observar a angulação da cervical e do campo de visão.

Assim como os registros por imagens fotográficas são utilizados para auxiliar na análise por observação, é realizada uma entrevista semiestruturada com os participantes da pesquisa, aplicada durante a realização da tarefa para analisar questões sobre o conforto e alcances, descritas no Apêndice B. São realizadas as

mesmas tarefas em ambiente virtual utilizando o MHD desenvolvido na presente pesquisa e, assim, é demonstrada a aplicação do MHD e da análise ergonômica virtual. Os resultados destas análises são avaliados e descritos nas etapas de análise dos dados e na discussão dos resultados.

3.3.1 Participação dos usuários na pesquisa para as análises ergonômicas

Conforme descrito no item 3.2.2, são utilizados dois participantes para auxiliar na presente pesquisa, escolhidos em função de suas medidas antropométricas. Uma mulher com idade acima de 18 anos e que pertença, aproximadamente, ao percentil 5% de altura, o que equivale a uma média de 1,53 m de altura; e um homem com idade acima de 18 anos e que pertença, aproximadamente, ao percentil 95% de altura, o que equivale a uma média de 1,88 m de altura.

As medidas antropométricas dos participantes são obtidas pelo método desenvolvido pela autora da presente pesquisa, em seu trabalho de dissertação Brendler (2013), no qual é utilizado o sistema de digitalização 3D. É realizado um escaneamento 3D dos participantes, com o *scanner* Kinect da Microsoft e para os detalhes, o *scanner* Artec Eva 3D. Este processo foi realizado no laboratório de design e seleção de materiais (LDSM) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e no Laboratório Virtual Design (ViD) da mesma instituição.

Os participantes da pesquisa, no momento da digitalização, necessitam estar sem sapatos e com vestimentas justas ao corpo, para que estas não interfiram na precisão dos valores das medidas antropométricas obtidas. O objetivo é que as medidas antropométricas dos participantes sejam inseridas no MHD desenvolvido na presente pesquisa para que o modelo 3D possa representar os usuários na simulação do uso dos produtos durante a análise ergonômica virtual.

A participação dos usuários na pesquisa é necessária em duas situações diferentes, são elas: (i) realização da tarefa com os protótipos em escala real dos produtos (em laboratório e com sistema de captura de movimento); (ii) na análise ergonômica dos produtos existentes.

A análise ergonômica com uso de protótipo dos produtos - estação de trabalho e simulador veicular de autoescola – foi realizada no laboratório Lapex (Pesquisa de Pesquisa do exercício) da UFRGS. São colocados pontos refletores nos pontos

anatômicos demarcados no corpo dos participantes. Esses pontos refletores contêm uma fita adesiva em que é fixada na pele dos participantes. Esta fita é apropriada para uso em contato com o corpo, sendo atóxica e indolor. Após a colocação dos pontos refletores, os participantes realizam a tarefa de uso dos protótipos dos produtos, a mesma tarefa descrita no item 3.2.2. A duração da simulação do uso dos protótipos é de aproximadamente 2 minutos em cada produto analisado para cada participante. Os instrumentos utilizados para o registro desta análise ergonômica foram 16 câmeras de vídeo por infravermelho, que realizaram a captura e o registro dos movimentos dos participantes durante a tarefa realizada. Desta forma, os parâmetros antropométricos dinâmicos são obtidos para comparação destes pelo MHD na análise virtual para verificação da funcionalidade do MHD desenvolvido na presente pesquisa.

Para as análises ergonômicas em ambiente físico, na etapa de verificação, os participantes da pesquisa realizam a tarefa nos produtos (estação de trabalho e simulação veicular), conforme a tarefa definida e descrita no item 3.2.2. O uso do produto estação de trabalho acontece no laboratório de pesquisa Virtual Design da UFRGS. O uso do simulador veicular é realizado em uma autoescola da cidade de Porto Alegre – RS. A tarefa tem uma duração de aproximadamente 7 minutos para cada participante, quando são realizados registros fotográficos e uma entrevista semiestruturada (Apêndice B) aplicados pela autora da presente pesquisa.

Os registros fotográficos têm o intuito de analisar os alcances máximos e mínimos e realizar uma análise da postura do usuário no momento da execução da tarefa determinada. Para a publicação e o arquivamento das imagens fotográficas, os rostos dos participantes são ocultados. A entrevista semiestruturada é composta por um roteiro (Apêndice B), aplicado com intuito de verificar o conforto percebido pelo usuário ao utilizar o produto e os esforços destes ao realizar os alcances dos produtos.

3.4 Etapa de análise dos dados

Esta etapa da pesquisa compreende a obtenção e análise dos dados de forma qualitativa em que os resultados são analisados e descritos durante a coleta dos dados em ambas as análises ergonômicas (virtual e física). Esta análise é realizada

a partir da transcrição dos dados obtidos, da ordenação e classificação dos mesmos, por meio de categorias previamente estabelecidas nas etapas de investigação, intervenção e verificação. Assim, é realizada a verificação do desempenho do uso do MHD Paramétrico e da análise ergonômica virtual, conforme os critérios de usabilidade de Lipton (2007) e da confrontação entre os dados obtidos e analisados na segunda (Intervenção) e terceira (Verificação) etapas da pesquisa com a teoria pesquisada na primeira etapa (Investigação) (Fig. 45).

Figura 45 - Esquema da etapa de análise de coleta de dados.



Fonte: Elaborado pela autora.

Na coleta e análise dos dados referente à análise ergonômica utilizando os produtos existentes, os participantes da pesquisa exercem a tarefa e a análise foi realizada por meio da técnica da observação, com o registro de imagens fotográficas e com a aplicação de entrevista semiestruturada. Após, estes resultados são ordenados, descritos e conferidos aos resultados obtidos da entrevista semiestruturada. Os resultados obtidos por meio da análise ergonômica virtual (parâmetros antropométricos relacionados aos alcances e aos ângulos de conforto) são confrontados e discutidos com os dados obtidos pela análise ergonômica física.

4 DESENVOLVIMENTO DA ETAPA DE INTERVENÇÃO

No item 4.1, é descrito o processo de seleção dos *softwares* utilizados para o desenvolvimento do MHD. No item 4.2, é descrito detalhadamente o processo de modelagem do MHD bem como as diretrizes para o seu uso. No item 4.3, é descrito o processo de modelagem 3D da estação de trabalho e do simulador veicular de autoescola. No item 4.4, é descrito o processo de digitalização 3D para obtenção das medidas antropométricas dos participantes e a inserção destas medidas no MHD. No item 4.5, é descrito o processo de verificação da funcionalidade do MHD no qual foi realizada a comparação e verificação dos parâmetros antropométricos entre as análises ergonômicas em ambiente físico e em ambiente virtual.

A denominação de *software* livre ou *free software* foi empregada a partir do movimento social que teve início em 1983, quando Richard Stallman criou a “*Free Software Foundation*”¹². Para que o *software* seja considerado livre é necessário que o mesmo esteja atrelado a quatro aspectos de liberdade, são eles: a primeira é a liberdade de executar o *software* para qualquer propósito, a segunda é a de estudar como funciona e adaptar o *software* as suas necessidades, a terceira é a de distribuir cópias e, por fim, a quarta é a de melhorar o *software* e aperfeiçoá-lo de forma que todos se beneficiem. Para isso, é necessário que o *software* possibilite o acesso ao código-fonte (BORGES *et al.*; 2011). O *software* livre diz respeito à liberdade que o usuário tem, não só para utilizar o *software*, mas também distribuir, estudar o código-fonte e até modificá-lo, sem a necessidade de autorização do desenvolvedor (ALECRIM, 2011).

O código-fonte constitui as instruções que formam um programa e estas instruções são baseadas em uma linguagem de programação. *Softwares* de códigos abertos ou *Open Source* possibilitam que qualquer pessoa possa ter acesso ao código do programa, mas ainda assim, o desenvolvedor do *software* determina as condições de uso (ALECRIM, 2011). Os *softwares* gratuitos são programas que podem ser utilizados sem custo. O entendimento desses conceitos é de fundamental importância para a presente pesquisa porque a partir destes é possível verificar os

¹² <https://www.fsf.org/pt-br>

softwares existentes no mercado e selecionar os que se enquadram nos requisitos estabelecidos.

4.1 Processo de verificação e seleção dos *softwares* OpenSIM[®], MakeHuman[®], 3DSSPP, Blender[®] e Sverschok.

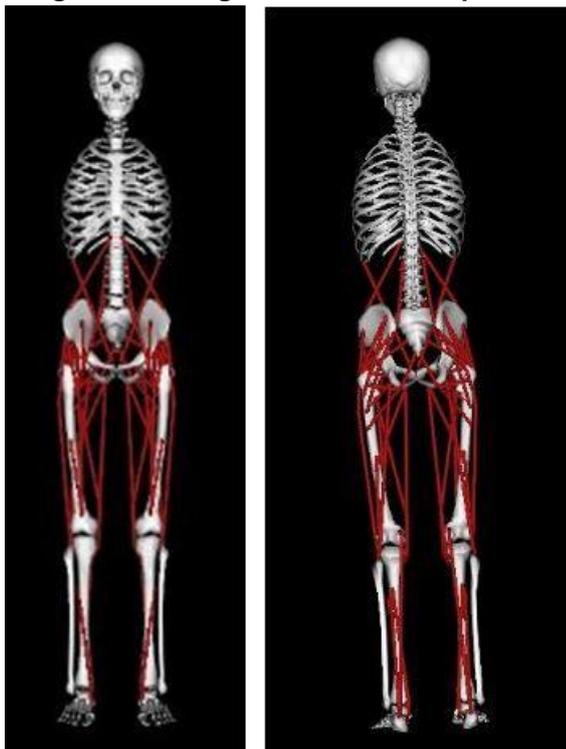
Conforme descrito na metodologia de pesquisa, os *softwares* devem atender aos requisitos estabelecidos para modelagem do MHD Paramétrico, como:

- Customização das variáveis antropométricas, para a obtenção dos parâmetros antropométricos necessários para o projeto, principalmente, que demandam maior nível de detalhamento e precisão dimensional;
- Articulações móveis, para que se consiga efetuar os movimentos necessários durante o uso de um determinado produto conforme o movimento real do corpo humano;
- Sinalização de zonas de conforto e desconforto articular nas articulações do MHD, através de cores originadas pelo movimento do modelo humano;
- *Software* gratuito e que este possibilite a construção e inserção de dados como os *softwares de formatos Livres (Free Software)* ou de códigos abertos (*Open Source*).

4.1.1 OpenSIM[®]

O OpenSIM[®] é um *software* gratuito, desenvolvido para realização de análise de esforços nos ossos e nas articulações. O MHD contido no OpenSIM[®] é composto por um esqueleto humano e filamentos na cor vermelha representando os tendões (Fig. 46). Neste *software*, é possível fazer análises estáticas e dinâmicas das forças e movimentos realizados pelo MHD. A desvantagem do OpenSIM[®] é que o programa não possibilita a customização das variáveis antropométricas sem distorção das medidas. Não possibilita o movimento das articulações do MHD e não permite a exportação deste para outros programas e a importação de produtos 3D para a realização das análises ergonômicas.

Figura 46 - Imagem do Software OpenSIM



Fonte: Software OpenSIM. <http://opensim.stanford.edu/>

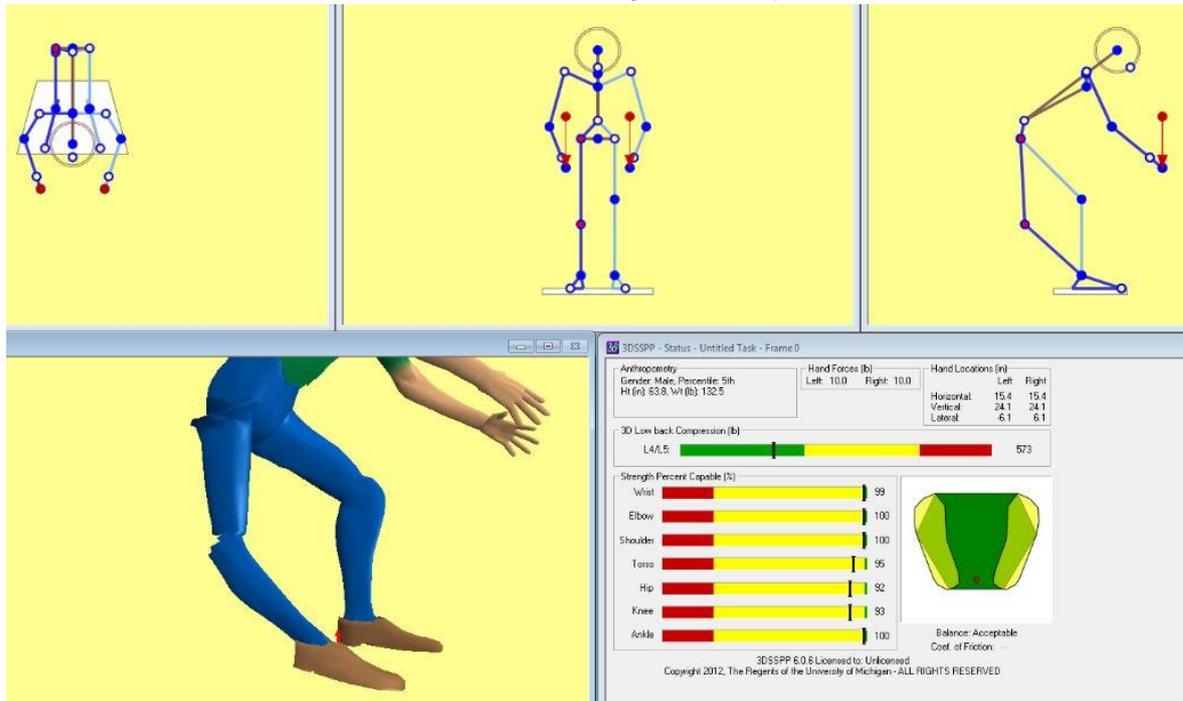
Portanto, o *software* OpenSIM não é utilizado na presente pesquisa por não atender aos requisitos estabelecidos para o desenvolvimento do MHD Paramétrico para análise ergonômica.

4.1.2 3DSSPP

O *software* 3DSSPP (*three-dimensional static strenght prediction program*¹³) foi desenvolvido por Feyer *et al.* (2000) para auxiliar nas análises ergonômicas de estações de trabalho, quantificando dados relacionados aos riscos de lesão nos trabalhadores por meio de vetores que permitem calcular a força com base em dados biomecânicos. A Figura 47 apresenta uma imagem da interface do *software* 3DSSPP contendo as vistas superior, frontal e lateral na parte superior. Na região inferior (Fig. 47), é apresentada a imagem do MHD realizando um movimento de hiperextensão do joelho e os parâmetros obtidos a partir da postura em relação à força exercida a partir de determinada carga. Nota-se, uma seta em vermelho nas imagens superiores (Fig. 47) na qual representa o vetor para o cálculo da força.

¹³ Programa de previsão de força estática tridimensional.

Figura 47 - Interface do software 3DSSPP (demonstração de uma determinada postura do MHD e a análise da força exercida)



Fonte: software 3DSSPP. www.software.com.br/3DSSPP

A desvantagem desse software é que o mesmo não possui restrições de movimento nas articulações (Fig. 48) e não há a possibilidade de customização dos membros do corpo do MHD. O MHD não pode ser exportado para outros softwares de modelagem CAD tridimensional e não possibilita importar ambientes virtuais ou produtos. O que inviabiliza o uso deste software para o desenvolvimento da presente pesquisa.

Figura 48 - Demonstração do MHD sem restrições de movimento articular

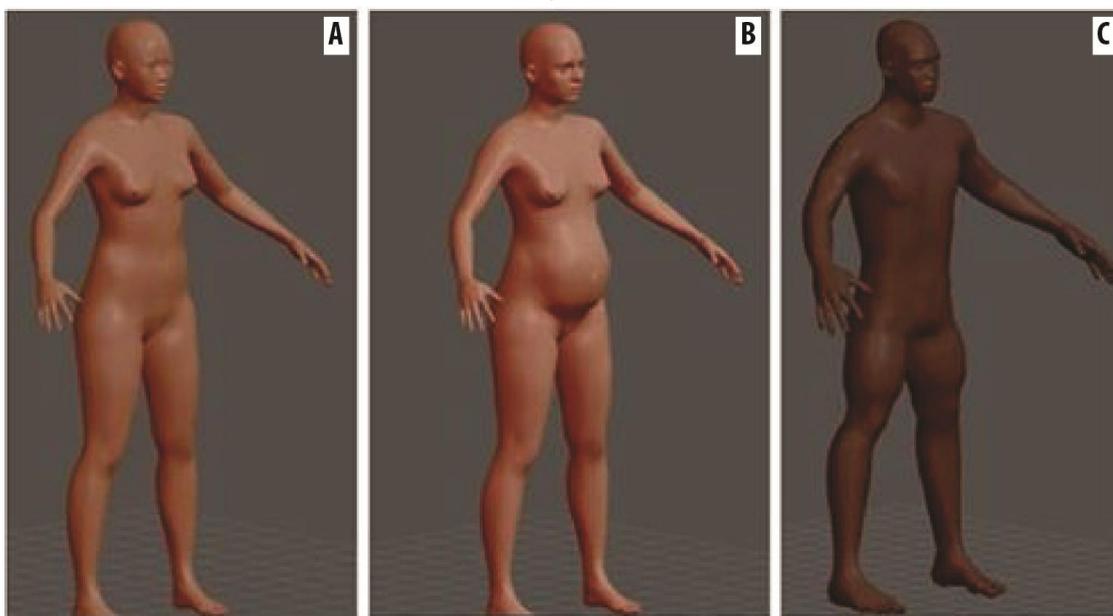


Fonte: software 3DSSPP. www.software.com.br/3DSSPP

4.1.3 MakeHuman®

O MakeHuman® é um *software* gratuito e apresenta um MHD que possibilita a customização do corpo humano (Fig. 49). Desta forma, o programa permite o aumento e/ou diminuição das medidas dos membros do corpo humano (variáveis antropométricas), em ambos os sexos, feminino e masculino. A Figura 49A representa uma mulher no percentil 50% de altura. A Figura 49B apresenta uma mulher grávida, onde é realizada a alteração na circunferência da cintura do MHD e, a Figura 49C, apresenta uma diminuição da medida da variável antropométrica do fêmur do MHD masculino, mantendo o resto das medidas do corpo.

Figura 49 - Exemplos de customização do MHD contido no MakeHuman®.



Fonte: Software MakeHuman. www.makehuman.org

O programa possibilita a escolha de gênero, das proporções humanas (desde o nanismo até o gigantismo), da idade, a quantidade de massa muscular, o percentual de gordura e a algumas etnias. Permite alterar o volume e o tamanho de músculos e dos membros, independente do lado esquerdo e direito, o que possibilita a construção de modelos assimétricos. A desvantagem desse *software* é a impossibilidade de articular o modelo dentro do próprio programa, sendo necessário exportar o MHD do MakeHuman® para outro *software* CAD tridimensional. Para tal operação, o MHD pode ser exportado nas extensões dae, mhx, fbx, obj, Ogre3D, MD5, stl, bvh e skel.

Entretanto, ao ser exportado para outros *softwares* CAD tridimensional, o MHD perde a customização realizada no MakeHuman[®], mantendo a possibilidade de desenvolver estruturas nos ossos que permitam a articulação do modelo e a customização dos membros do MHD após ser exportado. Desta forma, o MHD do MakeHuman[®] foi exportado pela autora da presente pesquisa para o *software* Blender[®] para realização de testes a fim de verificar as possibilidades de customização dos membros do corpo, da movimentação das articulações e da possibilidade de construção no MHD. Portanto, o MHD do Makehuman[®] é uma possibilidade de modelo a ser utilizado na presente pesquisa para inserção dos parâmetros de amplitudes e os limites de movimento articular, a inserção dos ângulos de conforto e dos movimentos das articulações do MHD, conforme o movimento real do corpo humano.

4.1.4 Blender[®]

O Blender[®] é um *software* CAD tridimensional muito utilizado pelos estudantes e profissionais das áreas de projeto, possui características similares aos *softwares* CAD como 3D Studio Max[®], Maya[®] e Rhinoceros[®] e tem a vantagem de ser um *software* gratuito, possuir códigos abertos e está disponível em diversos sistemas operacionais. O que permite que o MHD do MakeHuman[®] seja importado para o Blender[®] para realização das aplicações das informações obtidas na etapa de investigação para o desenvolvimento do MHD Paramétrico e para as análises ergonômicas da presente pesquisa.

As principais características do *software* Blender[®] estão na possibilidade de modelagem 3D, renderização, animação, edição de vídeo e criação de aplicações interativas em 3D como, por exemplo, os *games*. Por ser um *software* que cumpre os requisitos estabelecidos para a construção do MHD, foram realizados testes para verificação da articulação de modelos 3D, possibilidade de customização e de animação. O MHD do MakeHuman[®] foi importado e, conforme os testes iniciais, o Blender[®] foi escolhido como o *software* principal para o desenvolvimento do MHD para a presente pesquisa.

4.1.5 Sverchok

O plug-in Sverchok é uma ferramenta paramétrica desenvolvida para o Blender[®] para gerar formas 3D complexas. É uma ferramenta equivalente ao plug-in GrassHopper[®], desenvolvido para o *software* de modelagem Rhinoceros[®] 3D. O uso do Sverchok possibilita uma programação visual onde há caixas com *sliders* para a entrada e saída de dados e permite a modelagem paramétrica no MHD, usando relações matemáticas e operações de lógica conhecidas de outras linguagens de programação.

Foi realizado um teste piloto para verificação da possibilidade do uso do Sverchok para a presente pesquisa. A desvantagem do Sverchok é que este reconhece o esqueleto do MHD importado no Blender[®] como um único objeto, o que torna necessário que cada osso seja explodido para que sejam inseridos os limites e restrições de movimento. O que torna o uso deste plug-in mais demorado e não intuitivo. A partir do teste piloto realizado pela autora da presente pesquisa, é conferida a inviabilidade do uso deste plug-in para o processo de desenvolvimento do MHD Paramétrico.

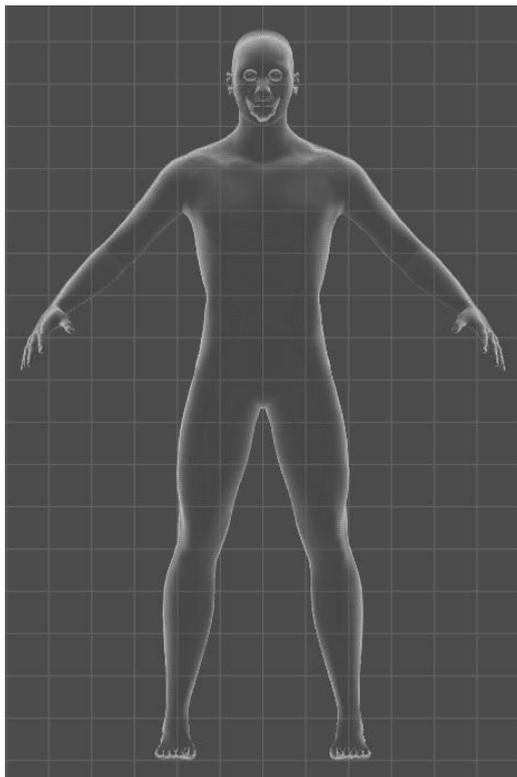
Portanto, após os testes de uso e da verificação dos requisitos estabelecidos para a seleção dos *softwares* a serem utilizados na presente pesquisa, para o processo de construção e modelagem do MHD, são selecionados os *softwares* Blender[®] e o MakeHuman[®], e este processo é descrito detalhadamente no item 4.2.

4.2 Processo de modelagem do MHD

Para o processo de modelagem do MHD é necessário utilizar um *software* que permita desenvolver segmentos ósseos, a superfície do corpo humano e que o mesmo seja articulado e possibilite a customização dos membros do corpo. O Blender[®], além de ser um *software* gratuito e de código aberto, está disponível para os principais Sistemas Operacionais (SO) de computador do mercado (Windows, Mac OS X e distribuições Linux). Associado ao Blender[®] é utilizado o *software* MakeHuman[®], também gratuito, de código aberto e disponível para diversos SO, no qual é possível criar um modelo humano paramétrico, embora o programa não permita a articulação do modelo. O modelo do MakeHuman[®] possui diversas segmentos ósseas, entretanto ao exportá-lo para o Blender[®], o modelo apresenta

diversos problemas como desalinhamento dos segmentos, algumas partes se desconectam da estrutura e não permitem modificações. Para solucionar estas questões, é exportado apenas a superfície do modelo do MakeHuman[®] (Fig. 50), e os segmentos ósseos são modelados no Blender[®] de forma minimalista, porém seguindo as recomendações das configurações do esqueleto humano conforme a literatura.

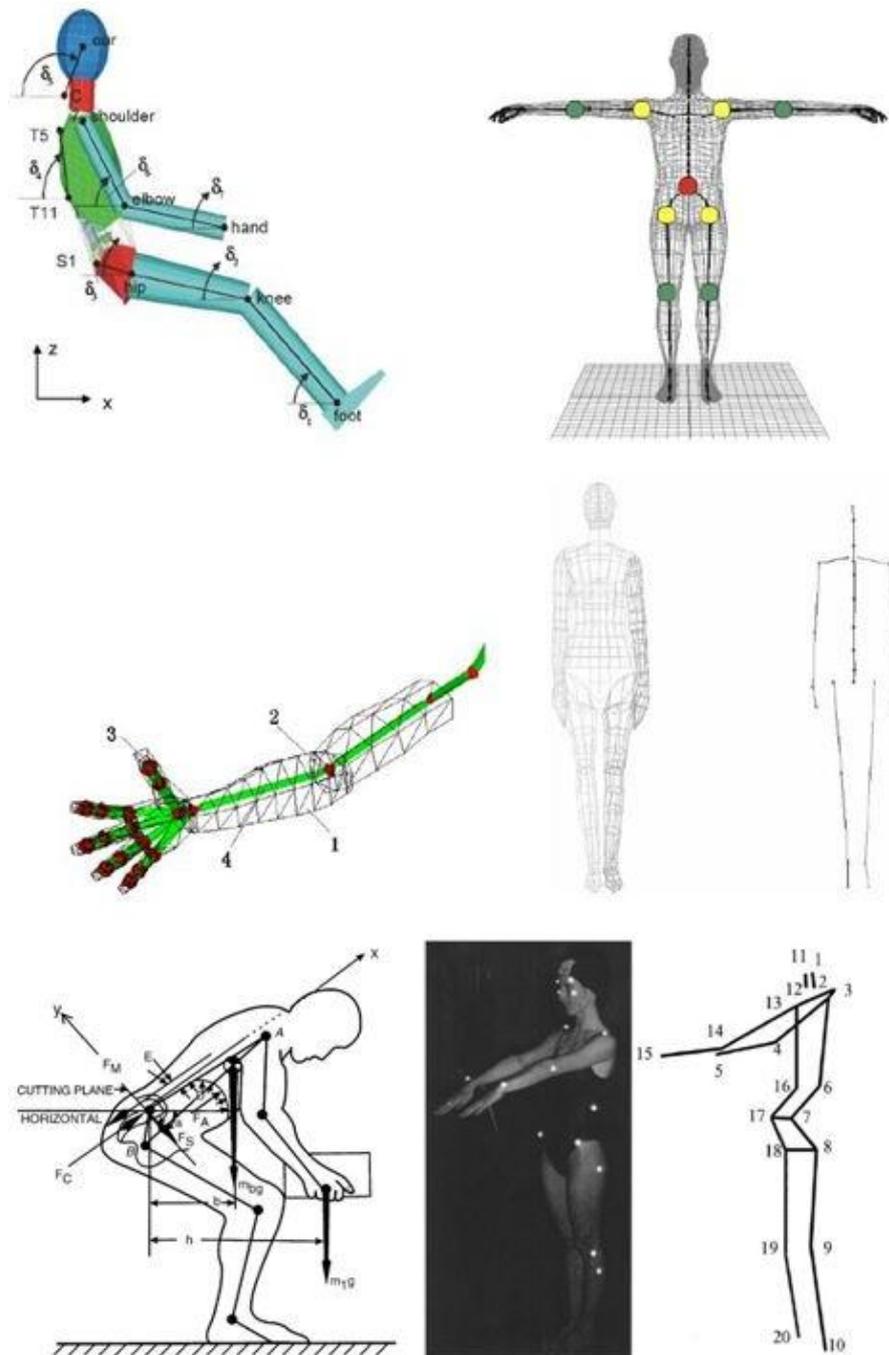
Figura 50 - Superfície do modelo do Makehuman[®] sem a estrutura óssea.



Fonte: Elaborado pela autora.

Alguns autores que desenvolvem estudos na área de modelagem de MHD como Hinz *et al.* (2008); Chen *et al.* (2013) e Seitz *et al.* (2000), afirmam a importância de caracterizar os segmentos ósseos de forma minimalista, porém essencial para realizar o movimento nas articulações conforme o movimento real do corpo humano. A Figura 51 apresenta alguns modelos de estrutura segmentar recomendados para o desenvolvimento de MHD e utilizados como referência na presente pesquisa.

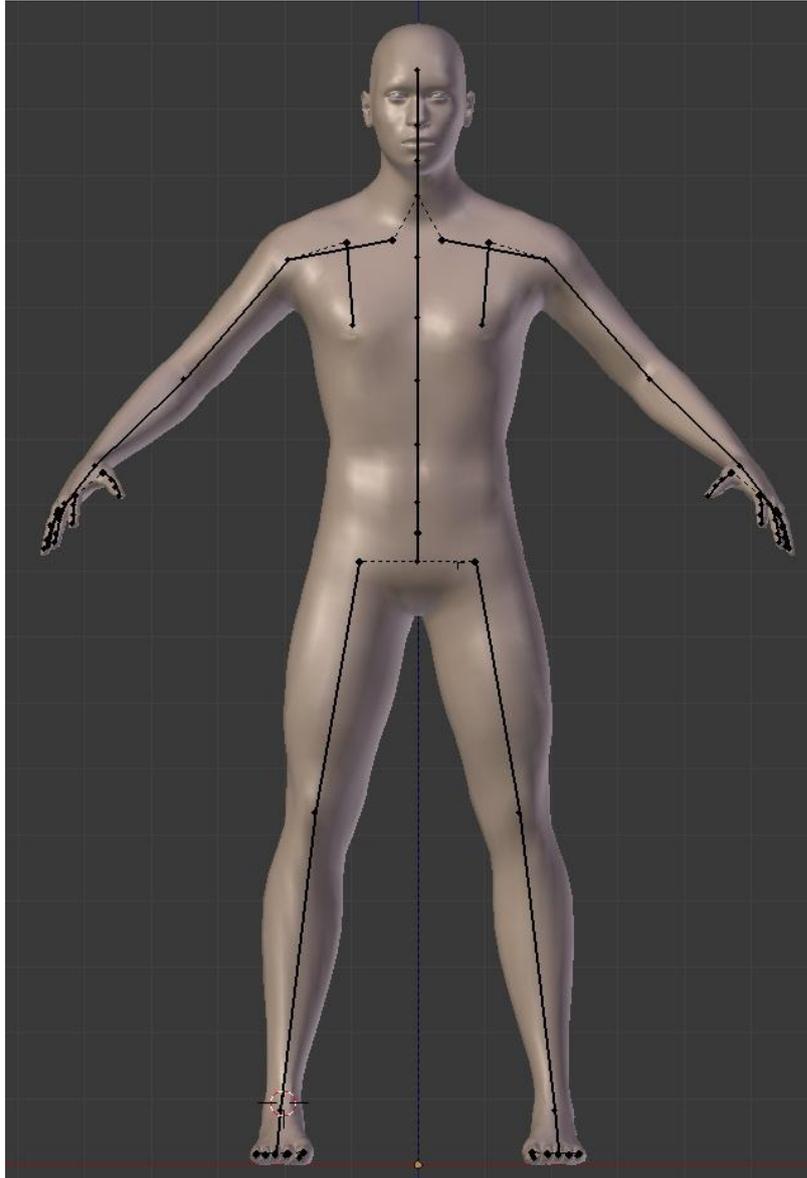
Figura 51 - Segmento ósseo construído e acoplado ao modelo do Makehuman



Fonte: Elaborado pela autora, baseado nas referências de HINZ *et al.* (2008); CHEN *et al.* (2013); HONGLUN *et al.* (2007); SEITZ *et al.* (2000); KUO; CHU (2005) e ANDREONI *et al.* (2002).

Assim, o segmento ósseo é construído no software Blender[®] e inserido no modelo exportado do Makehuman[®] (Fig. 52).

Figura 52 - Estrutura segmentar construída e acoplada ao modelo do Makehuman®



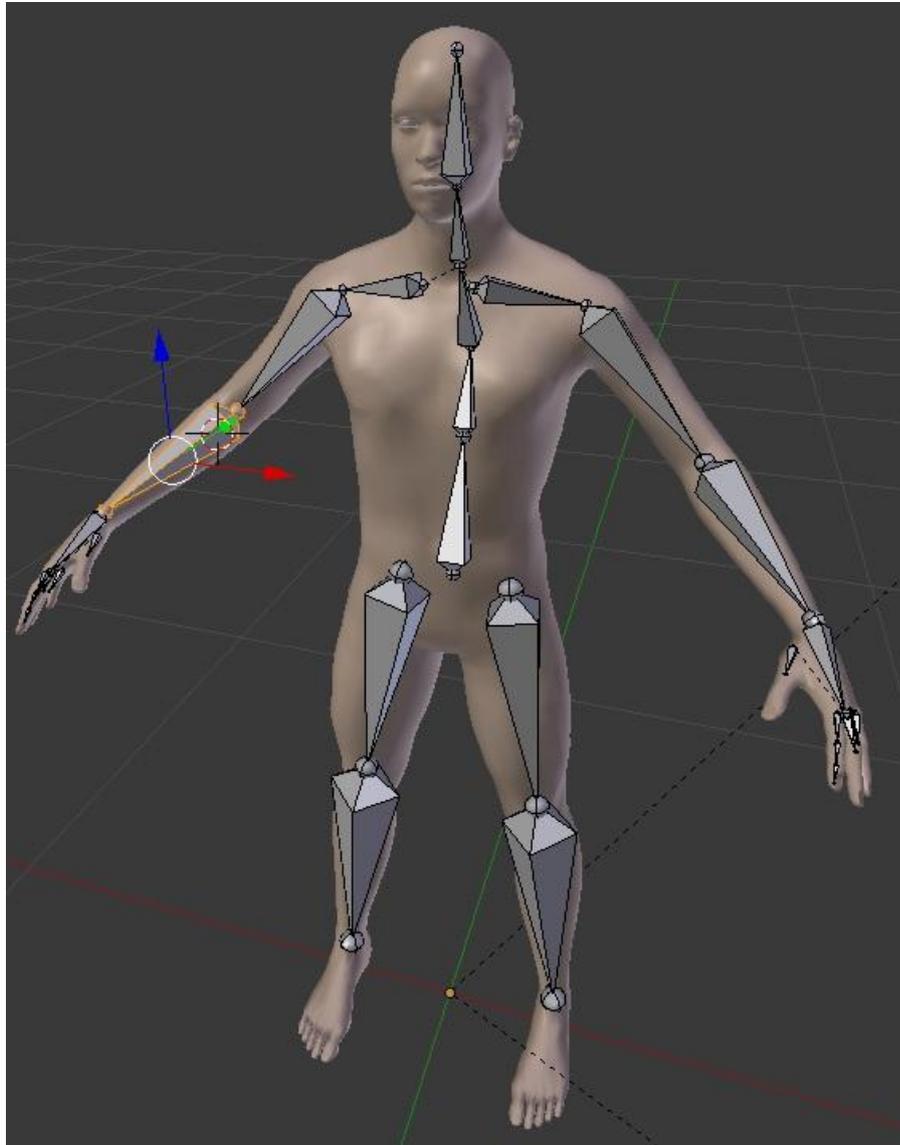
Fonte: Elaborado pela autora.

Para a realização dos movimentos do modelo do Makehuman®, conjugado ao segmento ósseo construído no Blender®, é necessário acoplar os mesmos ao *rigging*¹⁴ do programa. Devido ao Blender® ser um *software* utilizado para a criação de personagens para jogos e animações computacionais, este possui uma estrutura óssea, em formato de barra, no qual permite a animação e os movimentos do

¹⁴ O *rigging* é uma técnica utilizada para animar modelos 3D que contém um esqueleto. O modelo é movimentado através de pontos de controle localizados nas suas articulações principais, hierarquizadas de acordo com a determinação do usuário do *software*.

modelo digital (Fig. 53). Assim, o programa possibilita a inserção de um esqueleto no modelo e as limitações e tipos de movimento em cada articulação.

Figura 53 - Rigging acoplado ao MHD



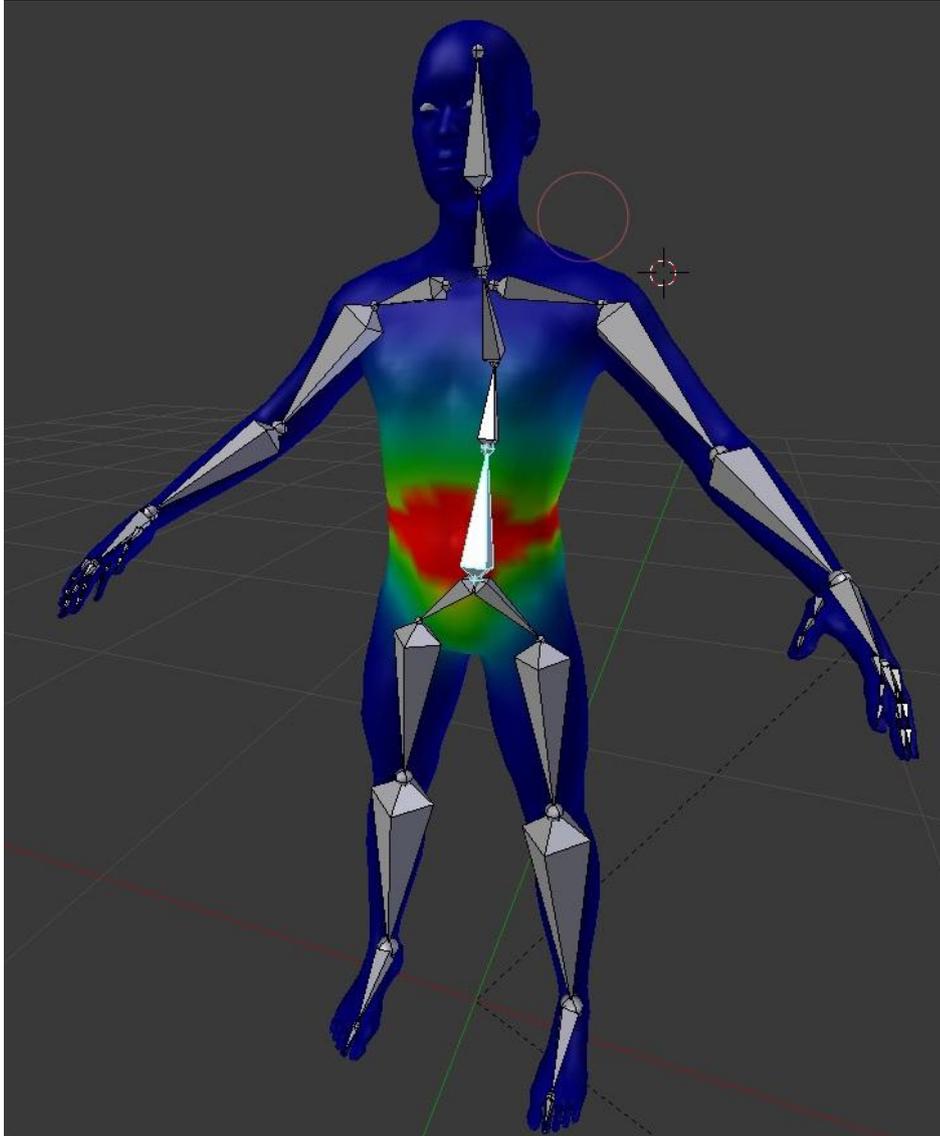
Fonte: Elaborado pela autora.

Desta forma, foram editados os segmentos para que estes se movimentem juntamente com a superfície do modelo. Após, foram contornados alguns erros como as deformações na superfície do modelo.

Na Figura 54, é apresentado um exemplo do segmento na região da lombar em que está em trabalho. Assim, a cor em vermelho sinaliza a região em movimento, a cor verde pouco movimento e, a cor em azul, sinaliza nenhum movimento. Foi possível demarcar os grupos musculares exigidos em cada movimento. Desta forma,

foram demarcados os movimentos de grupos musculares, segundo a base teórica utilizada na presente pesquisa, para que os movimentos do MHD sejam o mais próximo do movimento real do corpo humano. Os movimentos e grupos musculares contemplados no MHD se encontram no Anexo B da presente pesquisa.

Figura 54 - Pintura de influência.

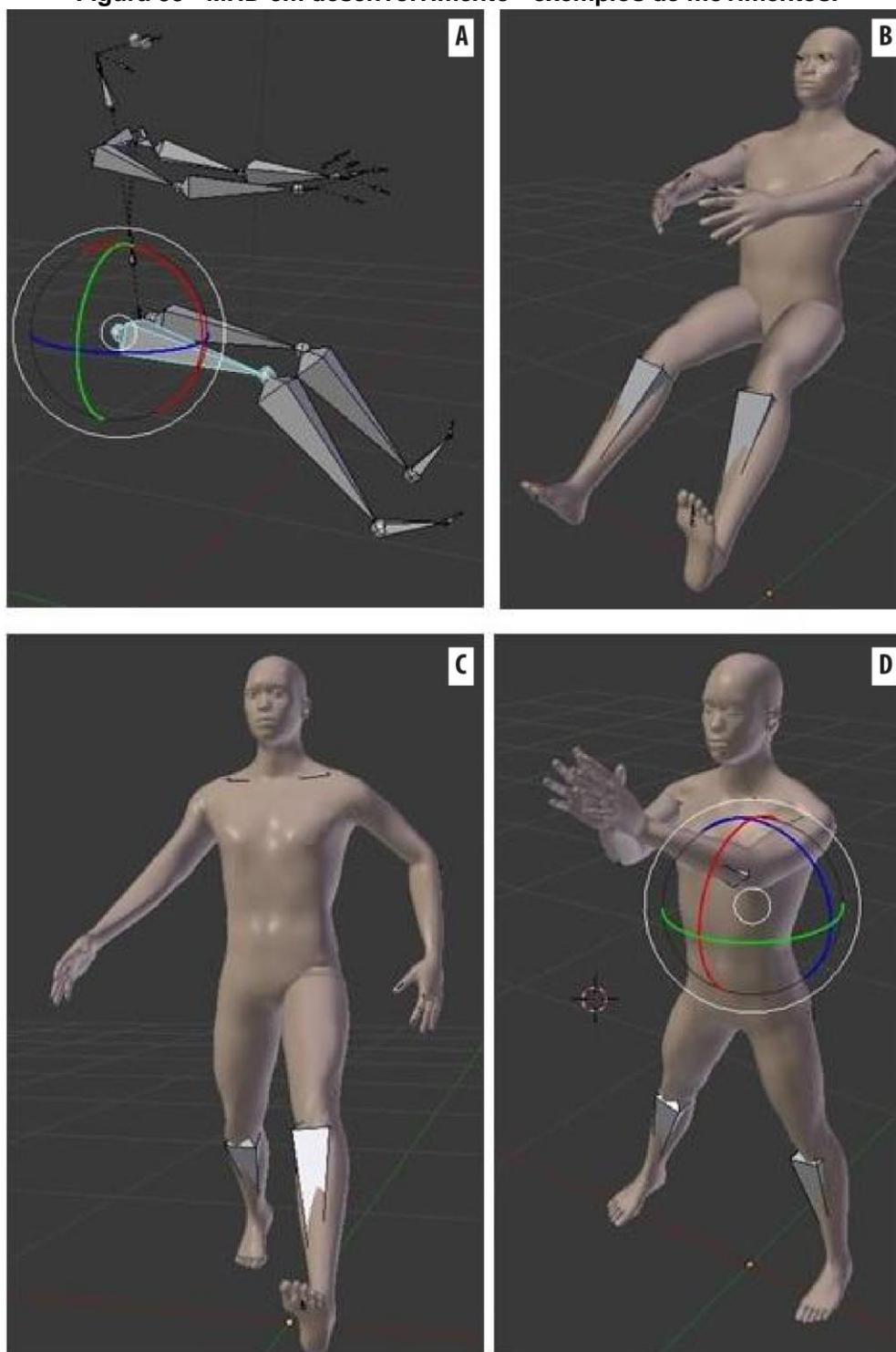


Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 55 apresenta exemplos de movimentos realizados após a conjugação do modelo do Makehuman®, do segmento construído no Blender® e do *rigging* existente no Blender®. A Figura 55A apresenta o modelo com os segmentos contruídos e a superfície da pele na opção "desligado" em que só aparece o *rigging*.

A Figura 55B é um exemplo do modelo sentado, na Figura 55C o modelo está caminhando e na Figura 55D o modelo está movimentando as mãos.

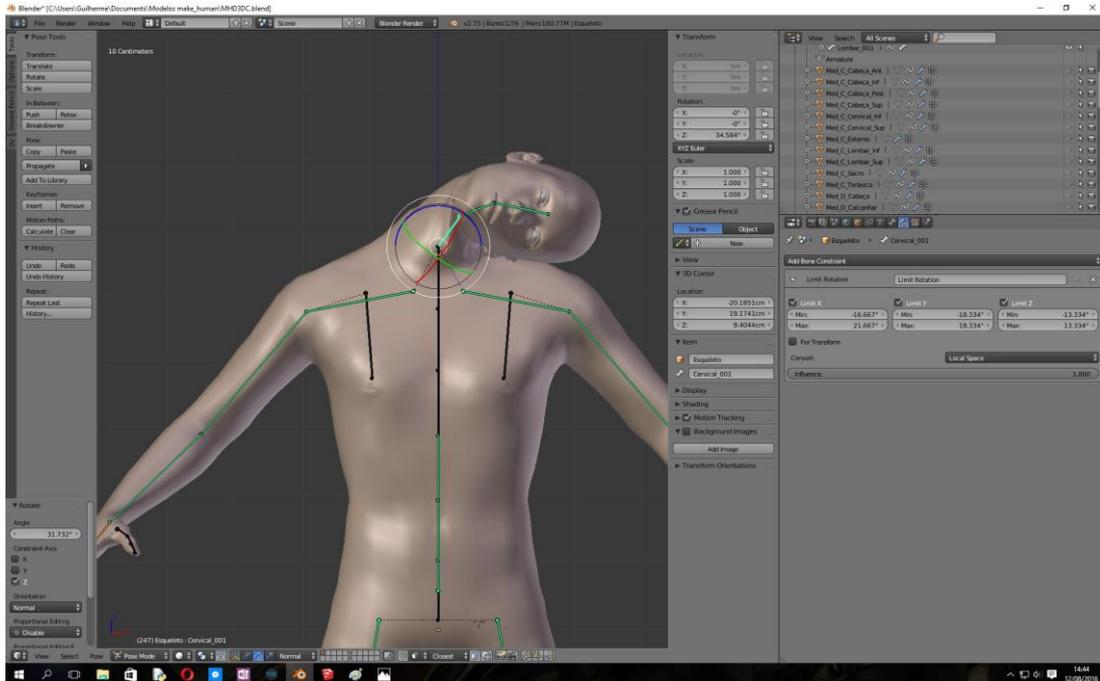
Figura 55 - MHD em desenvolvimento - exemplos de movimentos.



Fonte: Elaborado pela autora.

Após a criação da estrutura segmentar, foi necessário conectar os segmentos à superfície do modelo e ao *rigging* e definir as restrições de movimento nas articulações e a possibilidade de customização nos membros do corpo humano e das variáveis antropométricas. Sem a limitação dos movimentos e dos valores das ADM nas articulações, o modelo efetua amplitudes de movimento que não são realizados pelo corpo humano. Na Figura 56, é apresentado um exemplo de movimento do MHD em desenvolvimento sem as inserções dos valores das restrições e limites de movimento. Conforme a Figura 56, é apresentado o movimento do pescoço em que realiza uma amplitude maior que o considerado na literatura específica como o máximo permitido pela articulação.

Figura 56 - modelo em desenvolvimento sem as inserções dos valores das restrições e limites de movimento (movimento da articulação do pescoço).



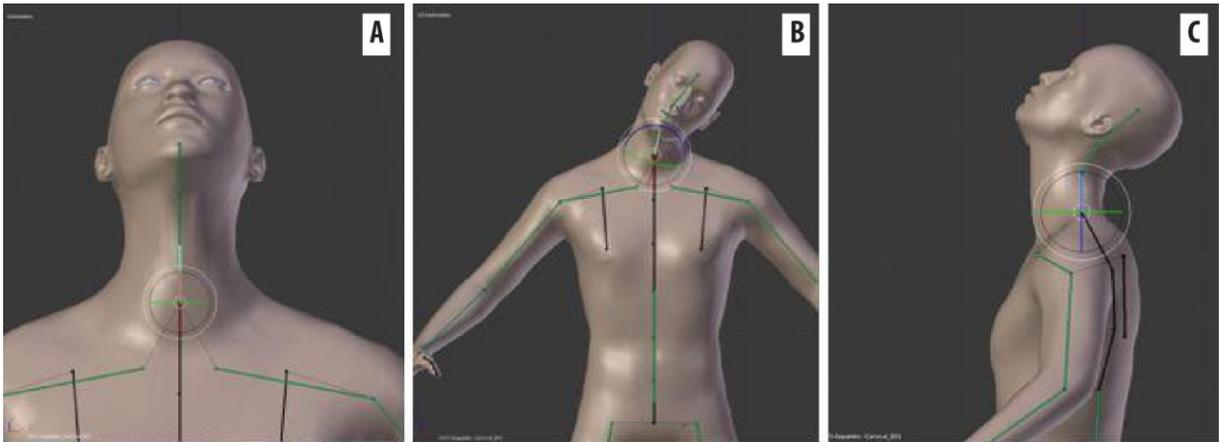
Fonte: Elaborado pela autora.

Foram inseridas as restrições de movimento nas articulações do MHD, os valores das ADM e os tipos de movimentos nas articulações do corpo, conforme os valores de referência descritos no Quadro 4 da presente pesquisa. A Figura 57 apresenta o movimento do pescoço com os valores das ADM inseridos no modelo.

A Figura 58 apresenta o movimento de fechar os dedos das mãos. Foram inseridos os parâmetros das articulações carpometacarpal do polegar, das metacarpofalângicas e interfalângicas dos dedos e do polegar; os movimentos de

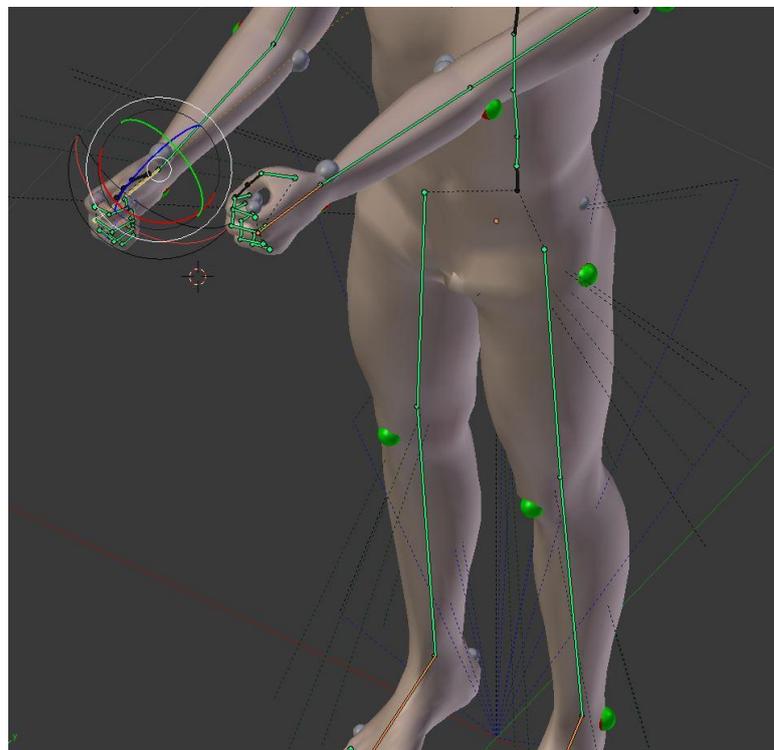
extensão, flexão, adução e abdução dos dedos das articulações metacarpofalângicas e, os movimentos de flexão e extensão das articulações interfalângicas proximais e distais dos dedos e do polegar, conforme Marques (2003, p. 34-39). Sendo assim, em cada articulação do MHD foram inseridos os tipos de movimento e as ADM.

Figura 57 - Modelo em desenvolvimento com as inserções dos valores das restrições e limites de movimento (movimento da cabeça)



Fonte: Elaborado pela autora.

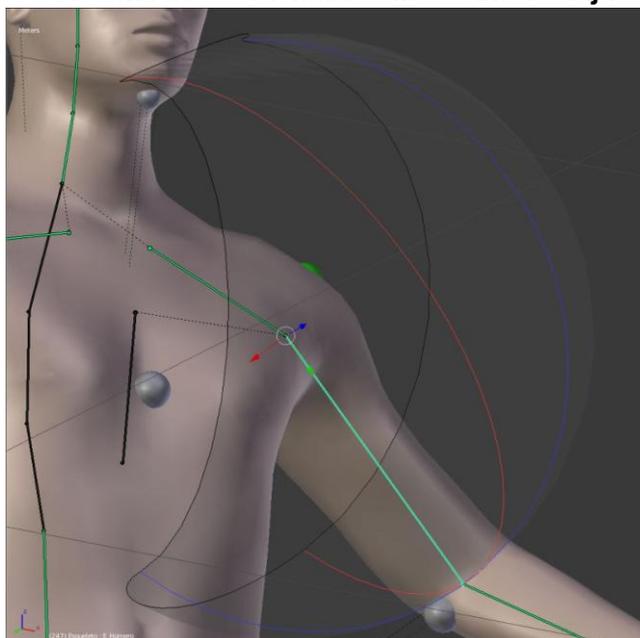
Figura 58 - Movimento das articulações carpometacarpal do polegar, das metacarpofalângicas e interfalângicas dos dedos e do polegar.



Fonte: Elaborado pela autora.

Assim como os valores das ADM, os valores dos ângulos de conforto também foram inseridos no MHD. A base teórica utilizada na presente pesquisa define o ângulo zero das articulações em relação a uma determinada posição anatômica e em relação aos planos frontal, sagital e transverso. O *software* Blender[®] leva em consideração os ângulos em relação à maneira como o próprio segmento está localizado no espaço, com um sistema de coordenadas local e com o eixo 'y' adjacente (cor em verde) ao longo de cada segmento. A Figura 59 apresenta um exemplo do sistema de coordenadas com o eixo 'y' adjacente ao Úmero. Na Figura 59 a cor vermelha representa o eixo 'x', a cor azul representa o eixo 'z' e a cor verde representa o eixo 'y' no sistema de coordenadas. É possível observar os arcos de alcance formados em relação aos movimentos realizados na articulação do ombro.

Figura 59 - Sistema de coordenada com o “eixo Y” adjacente ao X

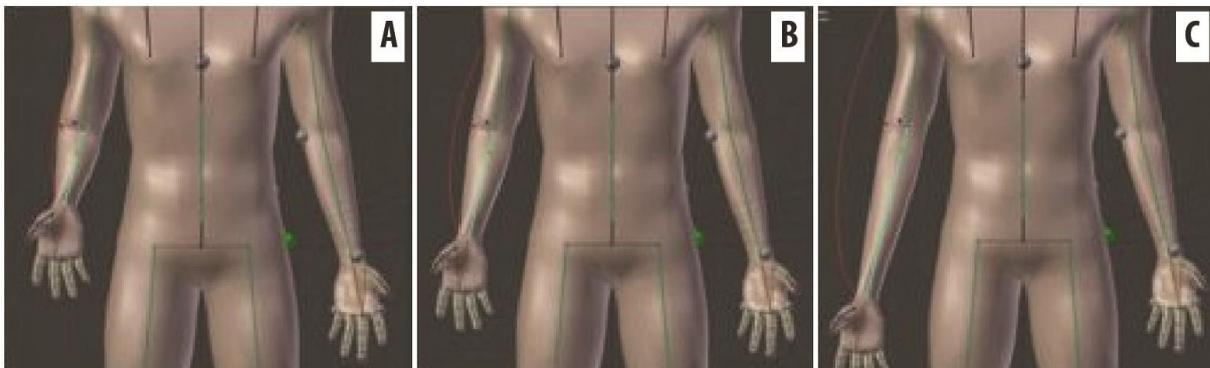


Fonte: Elaborado pela autora.

O requisito da customização dos membros do corpo do MHD foi realizado e, assim, todos os ossos construídos possibilitam a customização sem que haja deformação ou desalinhamento nos outros ossos do corpo. Além disso, foi possível configurar o MHD para que este possa apresentar alguma deficiência física como, por exemplo, um membro amputado ou um membro maior que o outro. O que pode ser muito útil para o uso do MHD em análises ergonômicas de produtos de tecnologia assistiva.

A Figura 60 apresenta um exemplo de customização do segmento antebraço direito. Foi configurada uma medida de 15 cm sobre o eixo y na Figura 60A, uma medida de 22 cm na Figura 60B e 35 cm na Figura 60C.

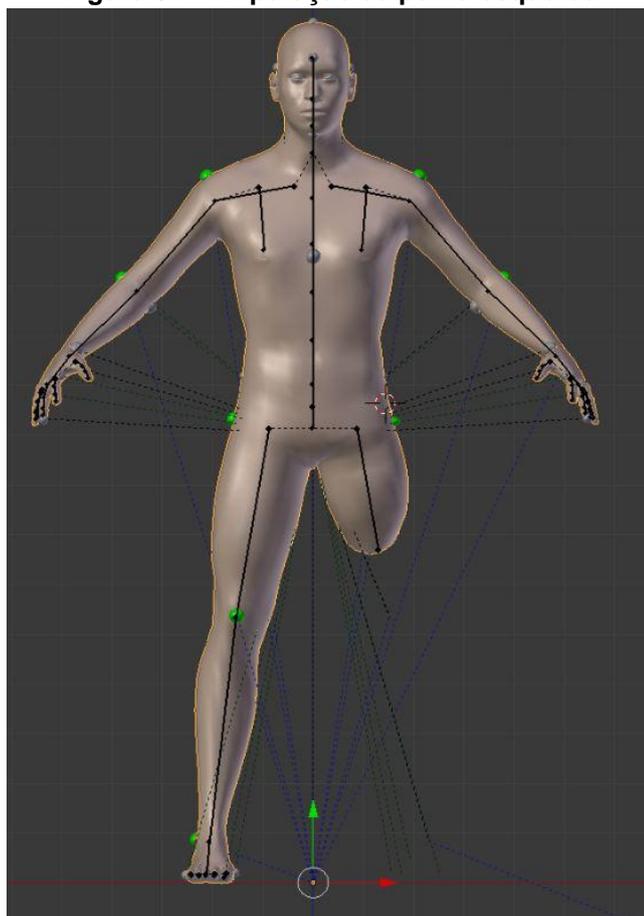
Figura 60 - Customização do antebraço



Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 61 apresenta um exemplo de um MHD com a perna esquerda amputada e um coto de 25 cm.

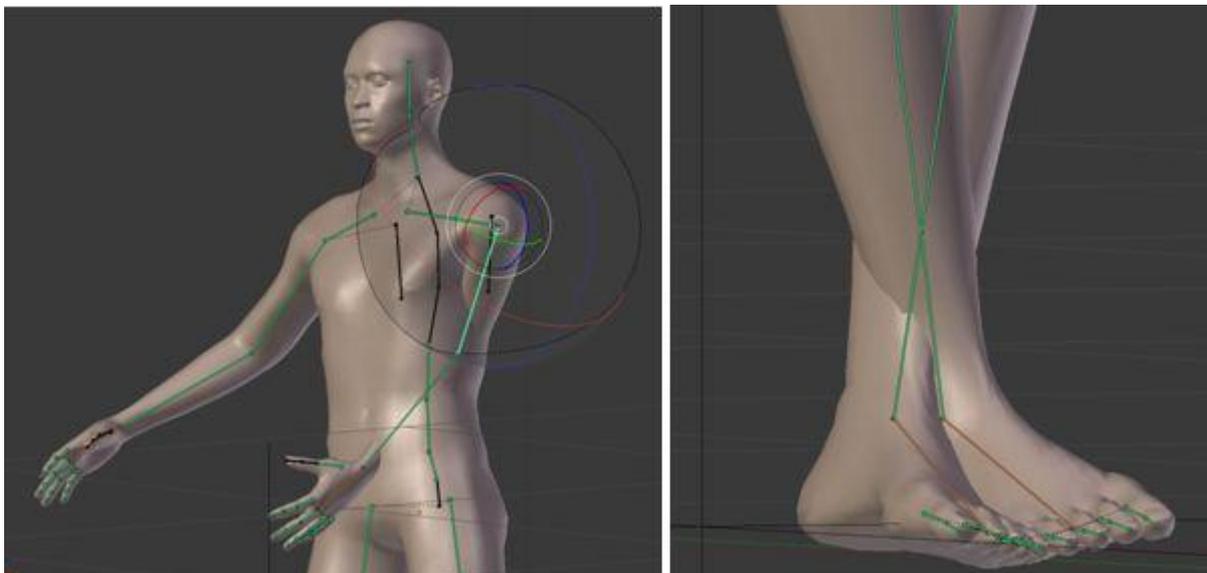
Figura 61 - Amputação da perna esquerda



Fonte: Elaborado pela autora.

Alguns erros relacionados aos movimentos do MHD foram percebidos e contornados como, por exemplo, a intangibilidade da pele do modelo, ou seja, os braços do MHD atravessam o tronco no corpo do modelo (Fig. 62) e as pernas se cruzam uma por cima da outra.

Figura 62 - Movimentos na região lombar.



Fonte: Elaborado pela autora.

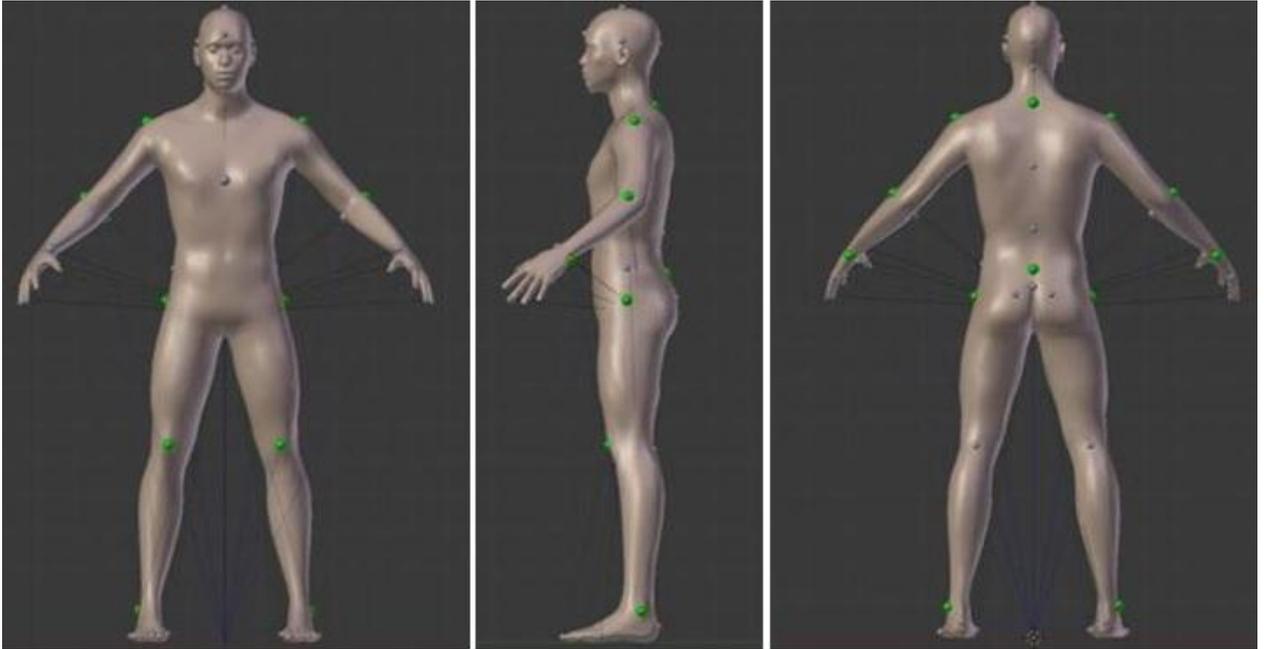
Após, a resolução de questões de desenvolvimento do MHD relacionadas à articulação do modelo, customização das variáveis antropométricas, inserção das ADM e dos tipos de movimentos possíveis conforme os movimentos reais do corpo humano, foi necessário inserir os *landmarks* para auxiliar no processo de medição das variáveis antropométricas e na sinalização do conforto e desconforto articular.

4.2.1 Inserção de *landmarks* no MHD e a sinalização de conforto nas articulações

Os *landmarks* são modelados no Blender[®], no formato de semiesferas e são inseridos sobre os pontos anatômicos do MHD conforme a base teórica. A Figura 63 apresenta os *landmarks* inseridos no MHD. As semiesferas são sinalizadas por meio de cores. As esferas na cor verde sinalizam o conforto conforme os ângulos de ADM e ângulos de conforto contemplados na presente pesquisa. Estas esferas mudam da cor verde para a cor vermelha na medida em que o MHD se movimenta e o mesmo atinge uma zona de desconforto articular como, por exemplo, os limites das ADM.

Desta forma, na posição anatômica (ângulo igual a zero) eles se mostram na cor verde, e vão rotacionando de acordo com o movimento do membro até ficar totalmente vermelho quando chegar à posição de desconforto ou nos limites dos ângulos de ADM. Alguns *landmarks* inseridos no MHD, na cor cinza, tem a função de apenas indicar os locais para medição da variável antropométrica e não são inseridos valores de indicação de conforto ou desconforto.

Figura 63 - Landmarks inseridos no MHD.

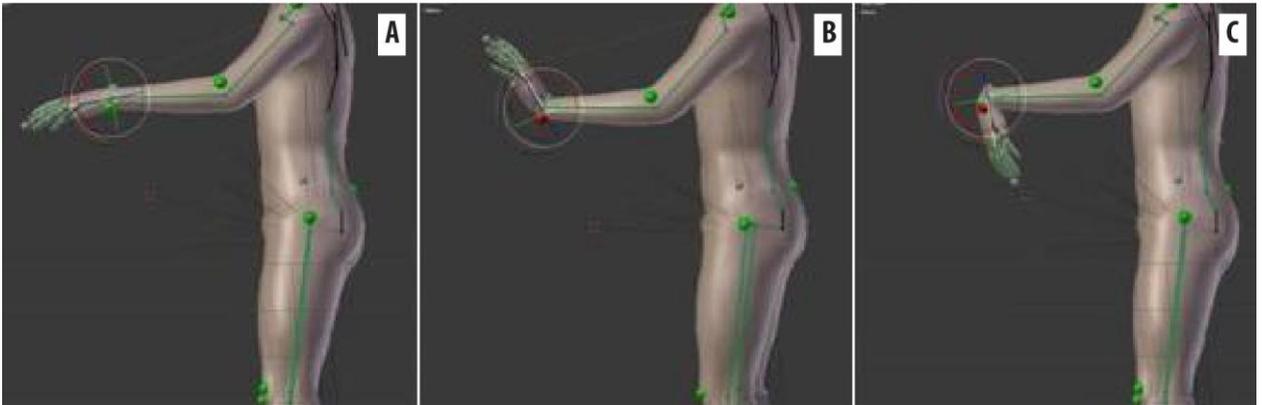


Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 64 apresenta um exemplo da sinalização de conforto articular no punho. A Figura 64A apresenta o ângulo do punho em 0° com o máximo de conforto (cor verde); a Figura 64B apresenta o movimento de hiperextensão da articulação do punho até o limite da ADM, causando desconforto articular, sinalizado pela cor vermelha; e na Figura 64C o movimento de flexão da articulação do punho até o limite, também sinalizado pela cor vermelha, indicando desconforto na articulação.

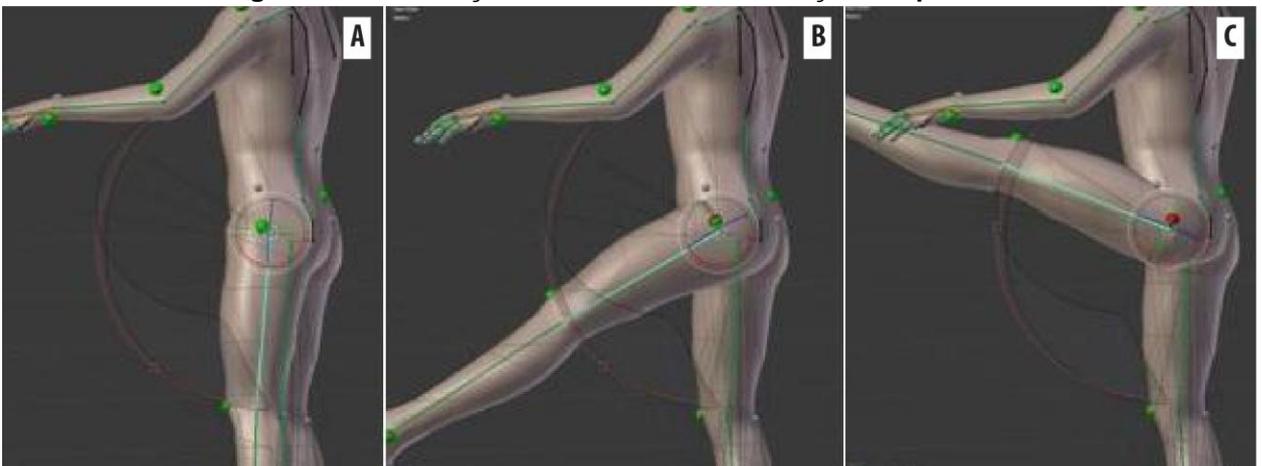
A Figura 65 apresenta um exemplo da sinalização de conforto articular na articulação do quadril. A Figura 65A apresenta o ângulo da articulação do quadril em 0° com o máximo de conforto (cor verde), na posição em pé. A Figura 65B apresenta o movimento de flexão da articulação do quadril, em que o *landmark* vai modificando a sua cor, até chegar no limite do movimento apresentado na Figura 65C, no qual o *landmark* passa a apresentar a cor vermelha, indicando desconforto na articulação.

Figura 64 - Sinalização do conforto na articulação do punho



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 65 - Sinalização do conforto na articulação do quadril



Fonte: Elaborado pela autora.

Após a inserção dos *landmarks* e das indicações de conforto articular pela mudança de cor das semiesferas, no item 4.2.2 são descritos como são realizados os movimentos no MHD.

4.2.2 Realização dos movimentos do MHD

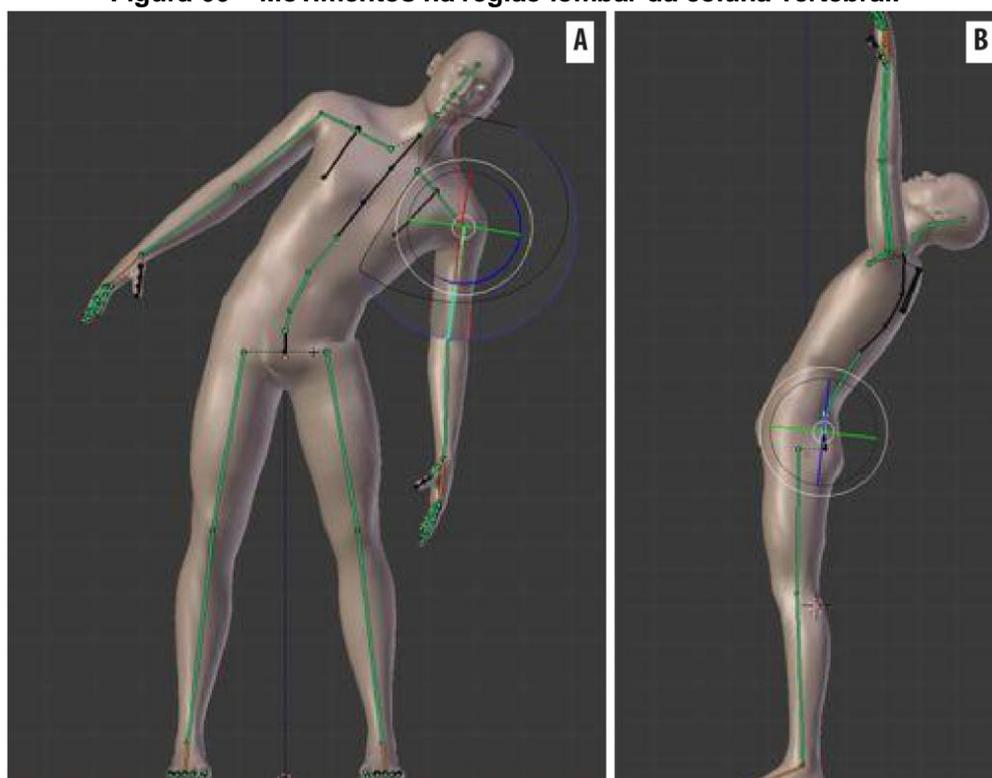
Os movimentos do MHD podem ser realizados de três maneiras diferentes. A primeira é clicar no botão direito do *mouse* em qualquer um dos segmentos que estão na cor verde e digitar o ângulo desejado no *menu* “*Rotation*”, que se encontra a direita da tela do *software* Blender[®]. Assim, é possível realizar os movimentos sobre o eixo desejado.

A segunda maneira de realizar o movimento do MHD é clicar com o botão direito do *mouse* em algum dos segmentos que estão na cor verde. Ao clicar no segmento desejado, aparecem arcos relacionados aos eixos de movimento da

articulação (x, y e z) e suas respectivas cores que os identificam. O arco vermelho rotaciona ao redor do eixo “x”, o arco verde rotaciona ao redor do eixo “y” e o arco azul ao redor do eixo “z”. Desta forma, é possível realizar o movimento clicando diretamente sobre o arco do eixo desejado e arrastar o mouse com o botão esquerdo do *mouse*. A terceira maneira de realizar os movimentos no MHD é clicando com o botão direito do *mouse* em algum dos ossos que estão na cor laranja e arrastando-os ao longo do espaço tridimensional.

No MHD, há segmentos na cor laranja que são responsáveis pela cinemática inversa (realizam o movimento simultâneo dos segmentos do membro e realizam o movimento de translação e rotação dos membros). Estes segmentos na cor laranja se encontram no metatarso (pé) e no metacarpo (mão). Após, é necessário clicar com o botão esquerdo do *mouse* no local desejado para finalizar o movimento. A Figura 66 apresenta alguns exemplos de movimentos do MHD.

Figura 66 – Movimentos na região lombar da coluna vertebral.

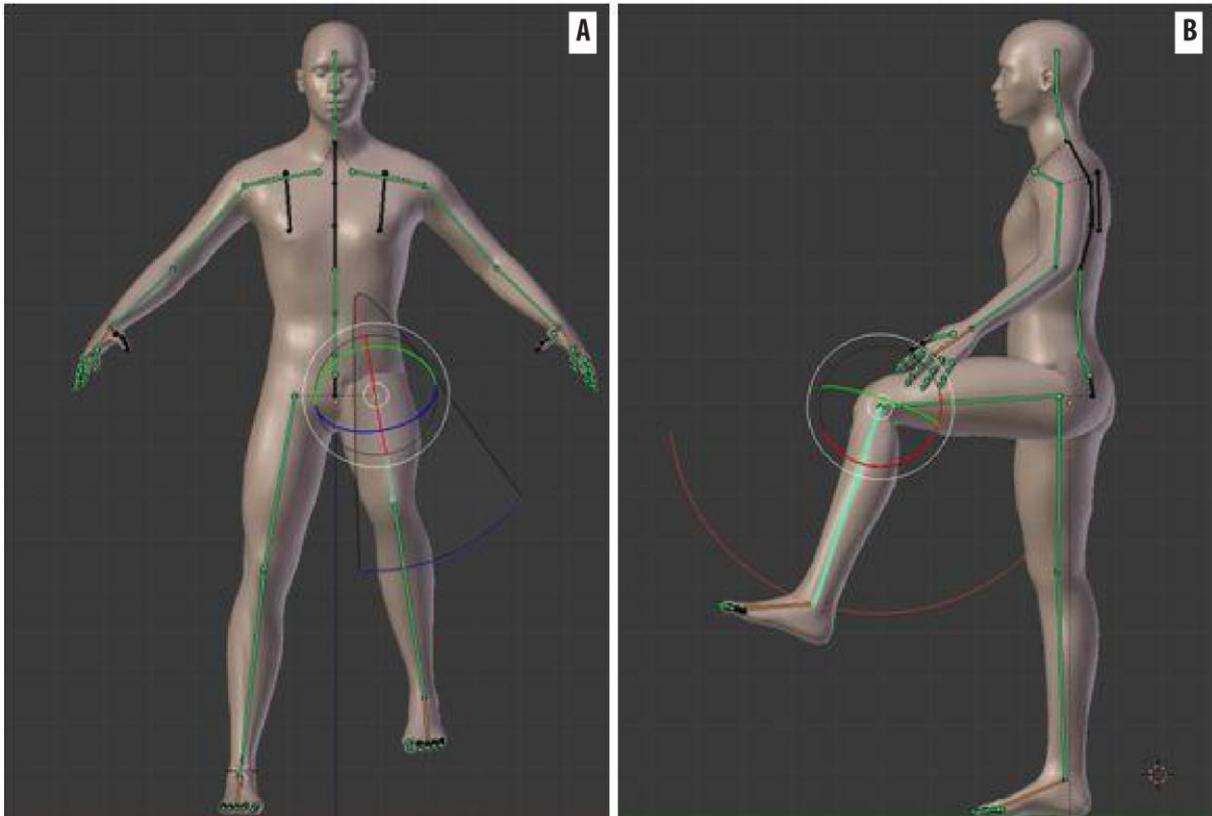


Fonte: Elaborado pela autora, baseado em Iida (2005, p. 128).

Na Figura 66A, o MHD realiza o movimento de inclinação lateral da coluna vertebral e na Figura 66B o movimento de hiperextensão da coluna vertebral, movimentos com base em Iida (2005, p. 128). Na Figura 67A, é apresentado o

movimento de abdução e adução do quadril com o joelho semiflexionado. Na Figura 67B, é apresentado o movimento de flexão do quadril com o joelho semiflexionado.

Figura 67 – Movimentos na região lombar.



Fonte: Elaborado pela autora, baseado em Iida (2005, p. 128).

4.3 Coleta das medidas antropométricas dos usuários participantes da pesquisa

O método de obtenção das medidas antropométricas estáticas utiliza um sistema de digitalização 3D contendo um *scanner* 3D - Kinect da *Microsoft* e, para a obtenção de detalhes como as medidas das mãos, dos pés e do rosto, é utilizado um *scanner* 3D de alta resolução, o Artec Eva.

O processo de digitalização 3D é realizado no Laboratório de Design e Seleção de Materiais/UFRGS e tem uma duração de aproximadamente 1 minuto para o corpo inteiro em cada participante e, aproximadamente, 30 segundos para cada segmento como as mãos, os pés e o rosto. Os participantes permanecem imóveis e na posição anatômica enquanto é realizada a captura das imagens. Durante a

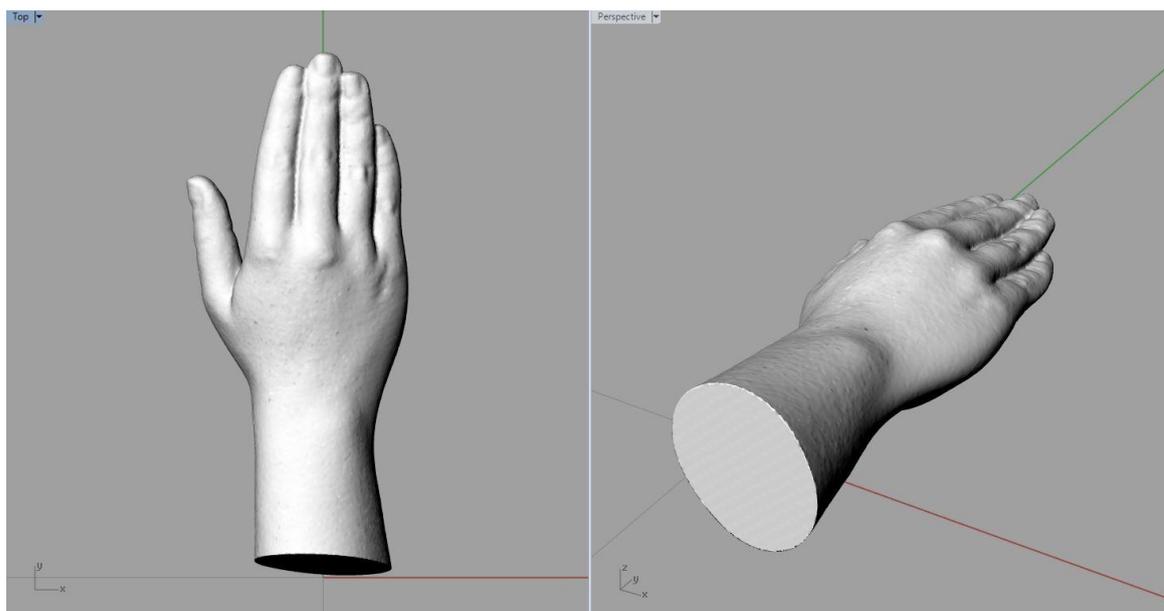
digitalização 3D dos participantes da pesquisa, o *software* gera o modelo 3D em tempo real.

Após, é necessário realizar o processamento deste para o preenchimento de algumas falhas e ruídos na malha 3D. O processamento dos modelos 3D não necessita da participação dos usuários da pesquisa e tem uma duração de aproximadamente 5 horas de trabalho para os modelos 3D gerados para a presente pesquisa (o tempo para o processamento dos modelos 3D depende do nível de experiência de quem está processando e da qualidade do computador).

O *scanner* Kinect é um scanner 3D de baixo custo, e tem sido muito utilizado em pesquisas em todo o mundo nas áreas de ergonomia, saúde, tecnologia e design, animação e games, por ser de fácil uso, leve e portátil. Entretanto, para a resolução de geometrias complexas e pequenas, como os detalhes do rosto, mãos e pés é necessário utilizar um *scanner* 3D com alta resolução dimensional como os *scanners* 3D com sistemas de luz branca ou a *laser*.

Para a presente pesquisa, é utilizado o scanner 3D de luz branca para a geração do modelo 3D da mão, do pé e do rosto, tanto para o participante feminino como para o masculino. Para a geração do modelo 3D de corpo inteiro, é utilizado o *scanner* por sistema de infravermelho. Desta forma, os modelos 3D das mãos, dos pés e do rosto, são inseridos no modelo 3D de corpo inteiro. Para isso, é utilizado o *software* Geomagic Qualify[®], o qual possibilita o processo de alinhamento entre os pontos das malhas 3D e da compatibilidade entre ambas.

No momento da varredura da imagem, o primeiro participante representando o percentil 5% de altura feminino, conforme citado no item 3.2.4 da presente pesquisa, prendeu o cabelo e a vestimenta utilizada pelo participante é uma calça e uma blusa justa ao corpo. A Figura 68 apresenta o modelo 3D da mão direita e a Figura 69 apresenta o modelo 3D do pé direito referente ao participante feminino. O modelo 3D do corpo inteiro com o rosto, os pés e as mãos inseridos é apresentado na Figura 70.

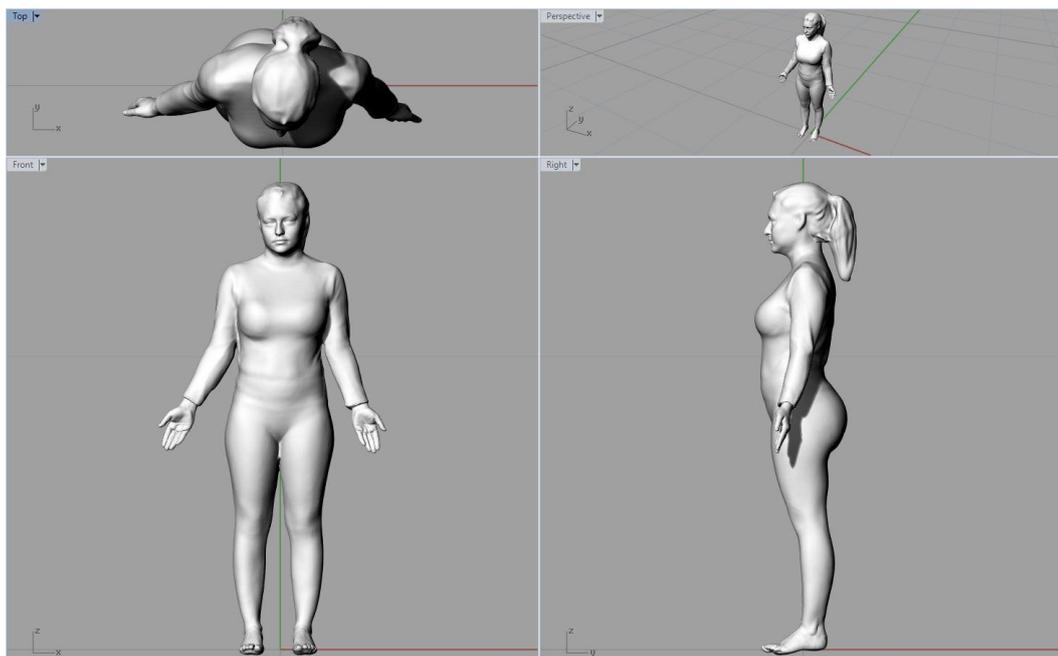
Figura 68 - Modelo 3D da mão direita.

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 69 - Modelo 3D do pé direito.

Fonte: Elaborado pela autora.

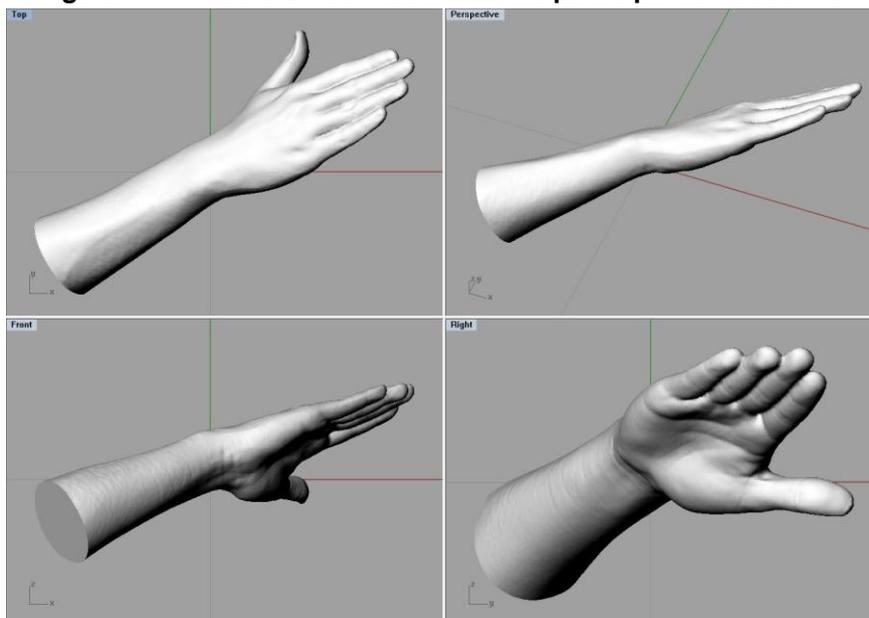
Figura 70 - Modelo 3D do corpo inteiro da participante representando o percentil 5% de altura feminino.



Fonte: Elaborado pela autora.

O segundo participante, representando o percentil 95% de altura masculino, conforme citado no item 3.2.4, prendeu o cabelo com uma touca para que este não interferisse nas medidas do rosto. A vestimenta utilizada pelo participante é uma sunga. A Figura 71 apresenta o modelo 3D das mãos e, a Figura 72, dos pés, ambos referentes ao participante masculino.

Figura 71 - Modelo 3D da mão direita do participante masculino.



Fonte: Elaborado pela autora.

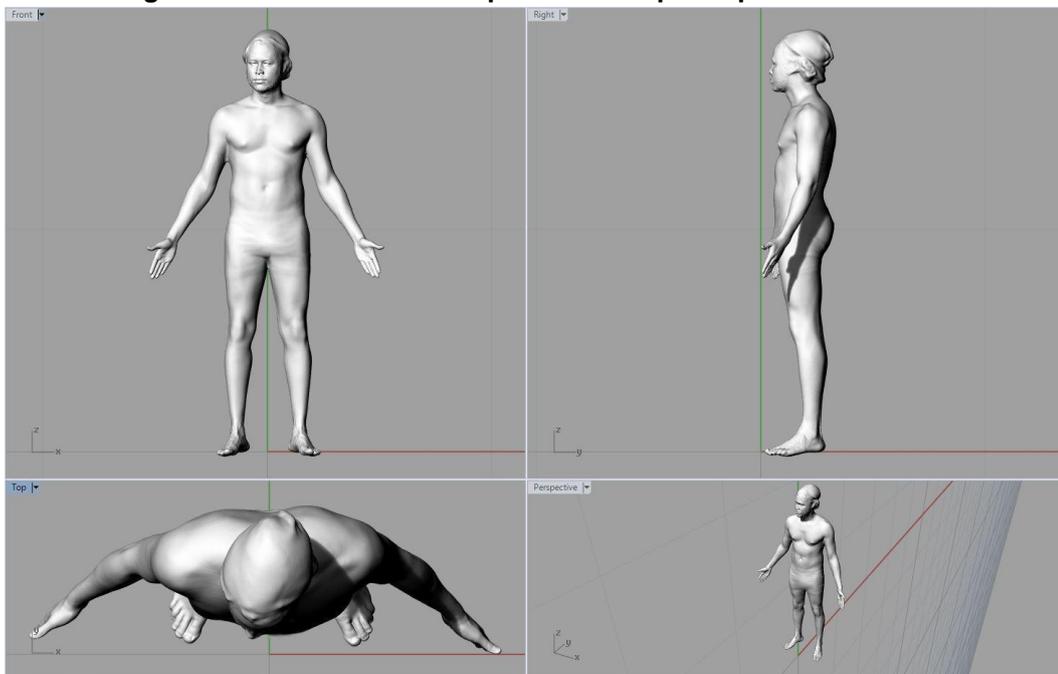
Figura 72 - Modelo 3D do pé direito do participante masculino.



Fonte: Elaborado pela autora.

O modelo 3D do corpo inteiro com os pés e as mãos inseridos no modelo 3D é apresentado na Figura 73.

Figura 73 - Modelo 3D do corpo inteiro do participante masculino.



Fonte: Elaborado pela autora.

Para a obtenção dos valores das medidas antropométricas, os modelos 3D são exportados em arquivo 'obj' e são importados para o *software* de modelagem Rhinoceros® 3D. O processo de medição consiste em estabelecer as variáveis antropométricas em que serão mensuradas, como identificar estas variáveis no modelo 3D e a finalidade destas para a presente pesquisa.

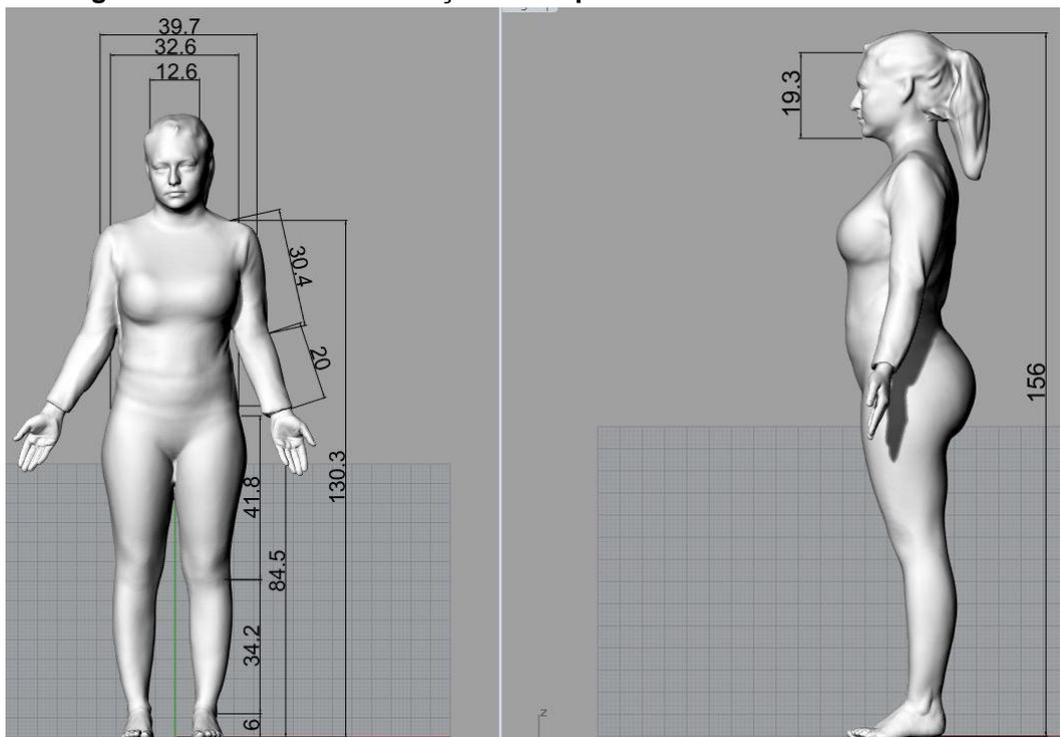
As variáveis antropométricas estabelecidas para a presente pesquisa são baseadas entre os pontos anatômicos sobre as articulações do corpo, conforme as variáveis antropométricas sugeridas na Norma alemã DIN 33402, apresentadas por Lida (2005) na página 54 da presente pesquisa. As variáveis antropométricas entre os pontos anatômicos têm a finalidade de promover a customização do MHD desenvolvido na presente pesquisa e para que estes parâmetros possam ser comparados aos parâmetros obtidos na análise ergonômica virtual e física.

Sendo assim, são definidas as variáveis antropométricas entre as articulações dos membros inferiores como o comprimento e largura do pé, a articulação do calcâneo até a articulação do joelho, do joelho até a articulação do quadril, a estatura, a altura do ombro até o chão, largura dos ombros, largura dos quadris, articulações do ombro e cotovelo, cotovelo e punho e do punho até a extremidade do dedo médio.

Para realizar a medição, é necessário identificar as articulações e pontos anatômicos no modelo 3D. Para isso, são identificados os pontos de extremidade da malha tridimensional conforme os planos x, y e z nas vistas ortográficas do *software* de modelagem.

Portanto, após importar os modelos 3D, é necessário realizar o alinhamento no eixo x, escalonar o modelo 3D para um tamanho adequado para a visualização e, se necessário, construir um eixo paralelo aos planos frontal, sagital e horizontal para a definição dos pontos de extremidade para aquisição dos valores das medidas. As imagens com as medidas do corpo inteiro do modelo 3D feminino são apresentadas na Figura 74.

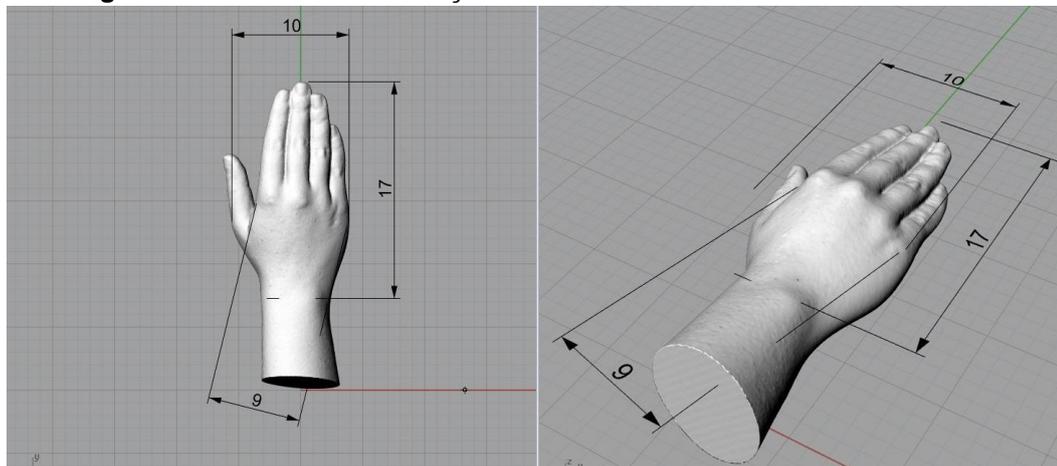
Figura 74 - Processo de medição do corpo inteiro no modelo 3D feminino.



Fonte: Elaborado pela autora.

O processo de medição da mão direita é apresentado na Figura 75 referente ao participante feminino.

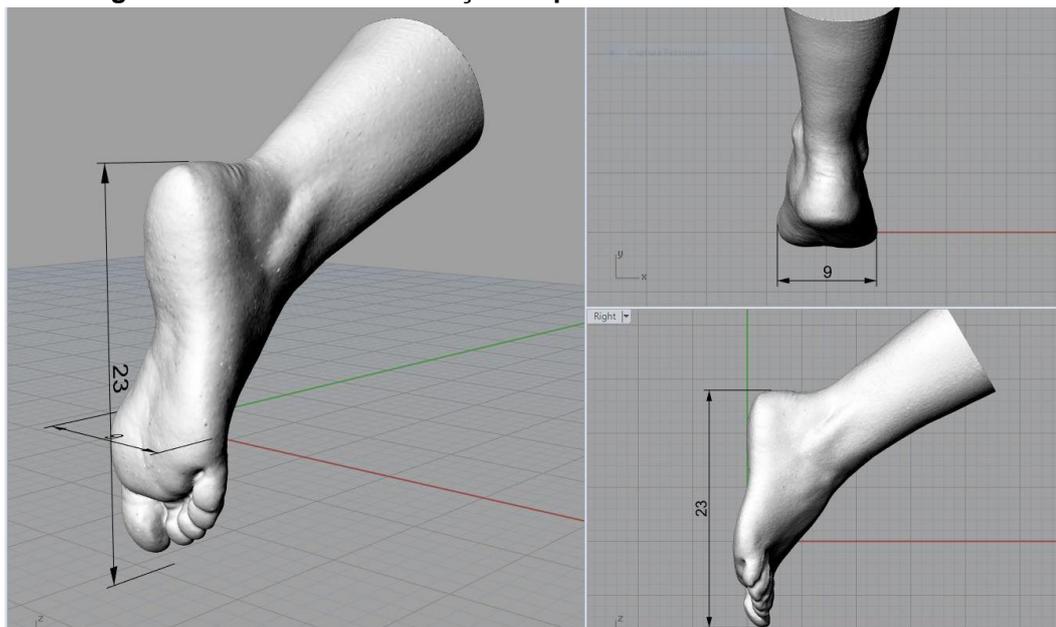
Figura 75 - Processo de medição do modelo 3D feminino da mão direita.



Fonte: Elaborado pela autora

O processo de medição do pé direito do modelo 3D feminino é apresentado na Figura 76. Os valores das medidas antropométricas referentes ao modelo feminino são descritos no Quadro 8.

Figura 76 - Processo de medição do pé direito do modelo 3D feminino.



Fonte: Elaborado pela autora.

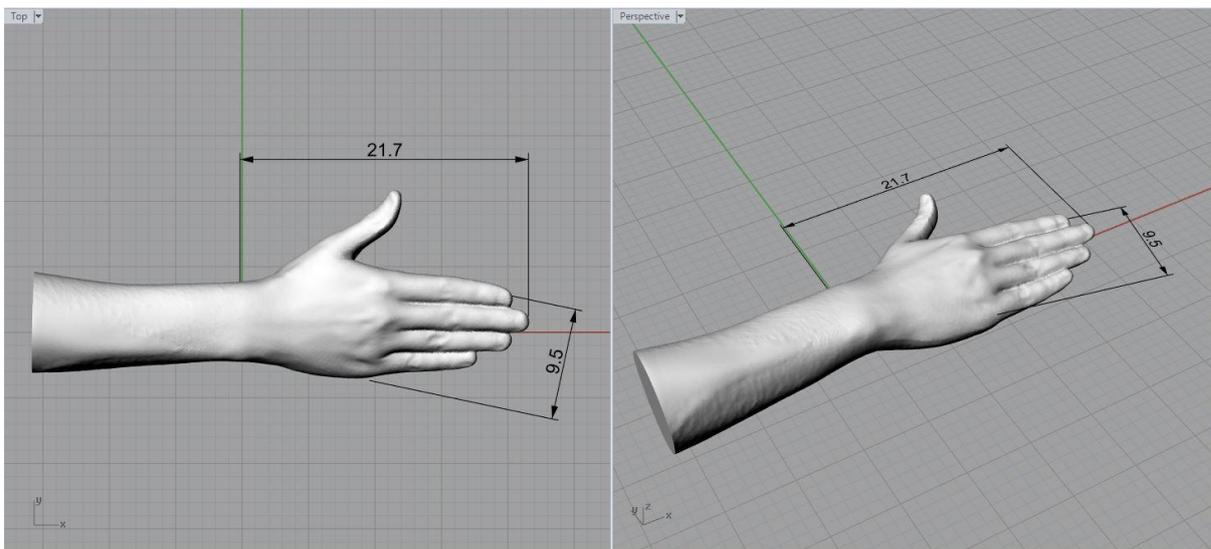
Quadro 8 - Os valores das medidas antropométricas referentes ao modelo feminino.

VARIÁVEIS ANTROPOMÉTRICAS	cm
MEDIDAS DO CORPO EM PÉ, ERETO	
ESTATURA	156,0
ALTURA DOS OMBROS ATÉ O CHÃO	130,3
ARTICULAÇÃO DO OMBRO À ARTICULAÇÃO DO COTOVELO	30,4
ARTICULAÇÃO DO COTOVELO À ARTICULAÇÃO DO PUNHO	20,0
LARGURA DOS OMBROS	39,7
LARGURA DOS QUADRIS	32,6
ARTICULAÇÃO DO QUADRIL À ARTICULAÇÃO DO JOELHO	41,8
CRISTA ILÍACA ATÉ O CHÃO	84,5
ARTICULAÇÃO DO JOELHO À ARTICULAÇÃO DO CALCANHAR	34,2
MEDIDA DO CALCANHAR ATÉ O CHÃO	6,0
VARIÁVEIS DA CABEÇA	
MEDIDA DO COMPRIMENTO VERTICAL DA CABEÇA	19,3
MEDIDA DA LARGURA DA CABEÇA, DE FRENTE	12,6
VARIÁVEIS DA MÃO	
COMPRIMENTO DA MÃO (MEDIDA DA ARTICULAÇÃO DO PUNHO ATÉ A PONTA DO DEDO MÉDIO)	17,0
LARGURA DA MÃO (MEDIDA NAS ARTICULAÇÕES DA MÃO SEM O POLEGAR)	9,0
VARIÁVEIS DO PÉ	
COMPRIMENTO DO PÉ	23,0
LARGURA DO PÉ	9,0

Fonte: Elaborado pela autora.

O processo de medição da mão direita referente ao modelo 3D masculino é apresentado na Figura 77.

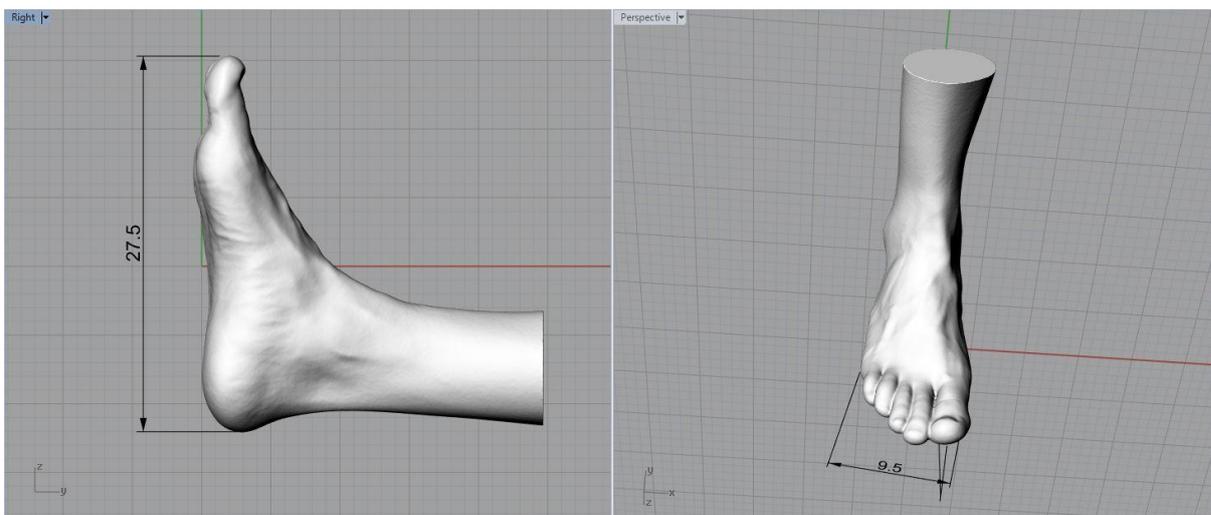
Figura 77- Processo de medição da mão direita no modelo 3D masculino.



Fonte: Elaborado pela autora.

O processo de medição do pé referente ao modelo 3D masculino é apresentado na Figura 78.

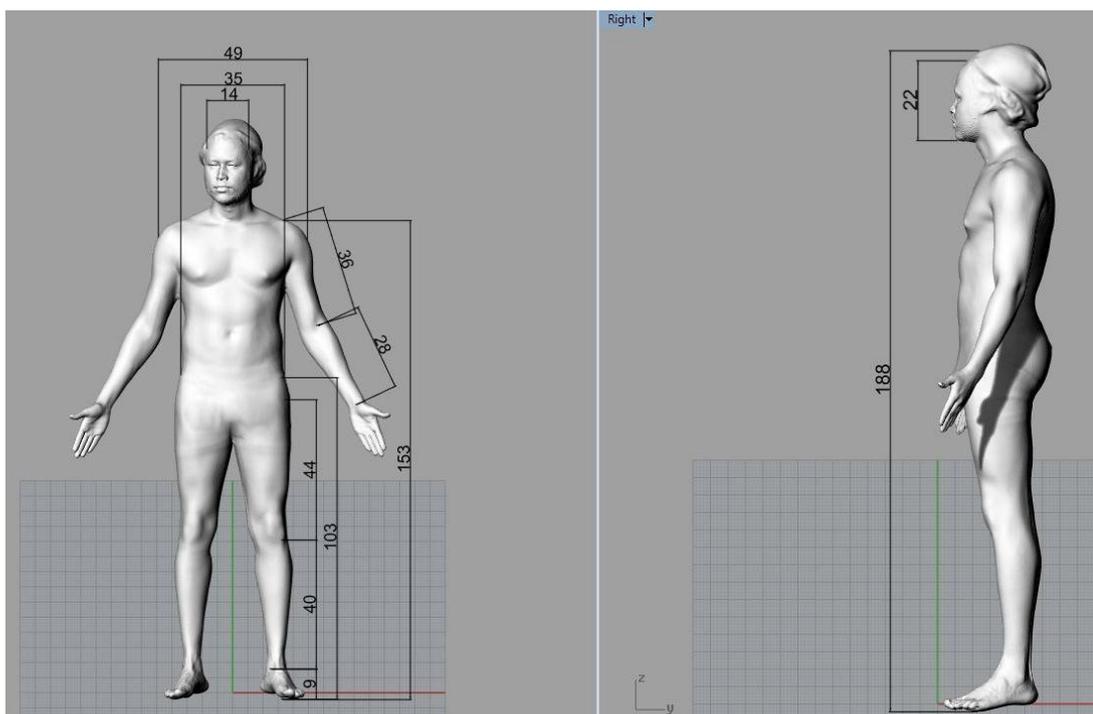
Figura 78 - Processo de medição do pé no modelo 3D masculino.



Fonte: Elaborado pela autora.

O processo de medição do corpo inteiro referente ao modelo 3D masculino é apresentado na Figura 79. Os valores das medidas antropométricas referentes ao modelo masculino são descritos no Quadro 9.

Figura 79 - Processo de medição do corpo inteiro no modelo 3D masculino.



Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 9 - Os valores das medidas antropométricas referentes ao modelo masculino.

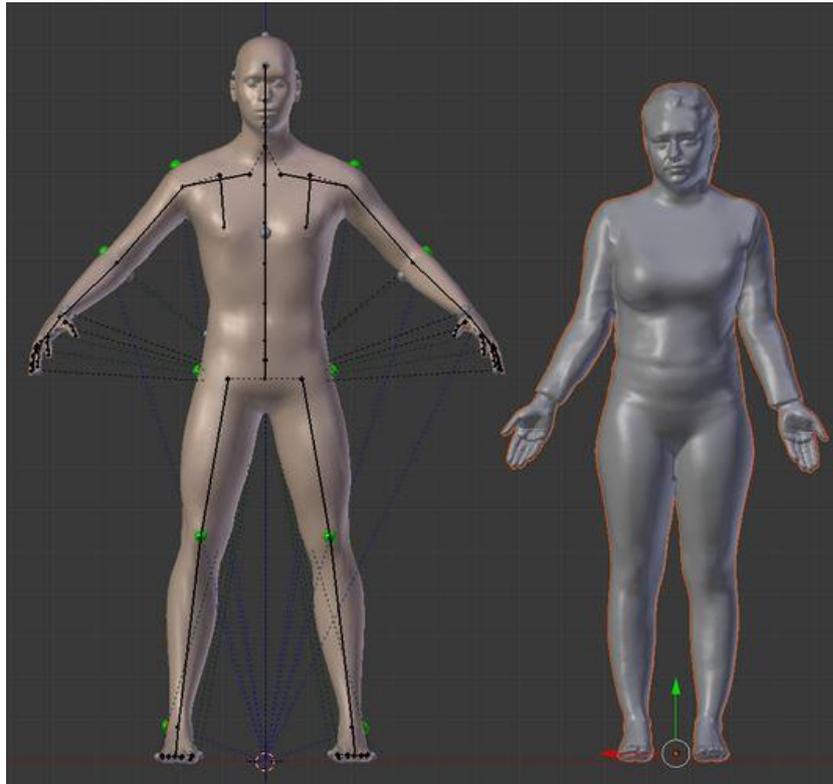
VARIÁVEIS ANTROPOMÉTRICAS	cm
MEDIDAS DO CORPO EM PÉ, ERETO	
ESTATURA	188,00
ALTURA DOS OMBROS ATÉ O CHÃO	153,00
ARTICULAÇÃO DO OMBRO À ARTICULAÇÃO DO COTOVELO	36
ARTICULAÇÃO DO COTOVELO À ARTICULAÇÃO DO PUNHO	28
LARGURA DOS OMBROS	49
LARGURA DOS QUADRIS	35
ARTICULAÇÃO DO QUADRIL À ARTICULAÇÃO DO JOELHO	103
CRISTA ILÍACA ATÉ O CHÃO	44
ARTICULAÇÃO DO JOELHO À ARTICULAÇÃO DO CALCANHAR	40
MEDIDA DO CALCANHAR ATÉ O CHÃO	9
VARIÁVEIS DA CABEÇA	
MEDIDA DO COMPRIMENTO VERTICAL DA CABEÇA	22
MEDIDA DA LARGURA DA CABEÇA, DE FRENTE	14
VARIÁVEIS DA MÃO	
COMPRIMENTO DA MÃO (MEDIDA DA ARTICULAÇÃO DO PUNHO ATÉ A PONTA DO DEDO MÉDIO)	21,7
LARGURA DA MÃO (MEDIDA NAS ARTICULAÇÕES DA MÃO SEM O POLEGAR)	9,5
VARIÁVEIS DO PÉ	
COMPRIMENTO DO PÉ	27,5
LARGURA DO PÉ	9,5

Fonte: Elaborado pela autora.

4.3.1 inserção das medidas antropométricas estáticas no MHD

São inseridos os valores das variáveis antropométricas do participante feminino e do participante masculino, conforme os Quadros 8 e 9. As variáveis antropométricas customizáveis são delimitadas pelos pontos anatômicos e identificadas pelos *landmarks*. Para facilitar o processo de inserção dos valores das medidas antropométricas, o modelo 3D dos participantes é importado para o Blender® e colocado lado a lado no MHD (Fig. 80).

Figura 80 - Modelo 3D do participante feminino e o MHD.

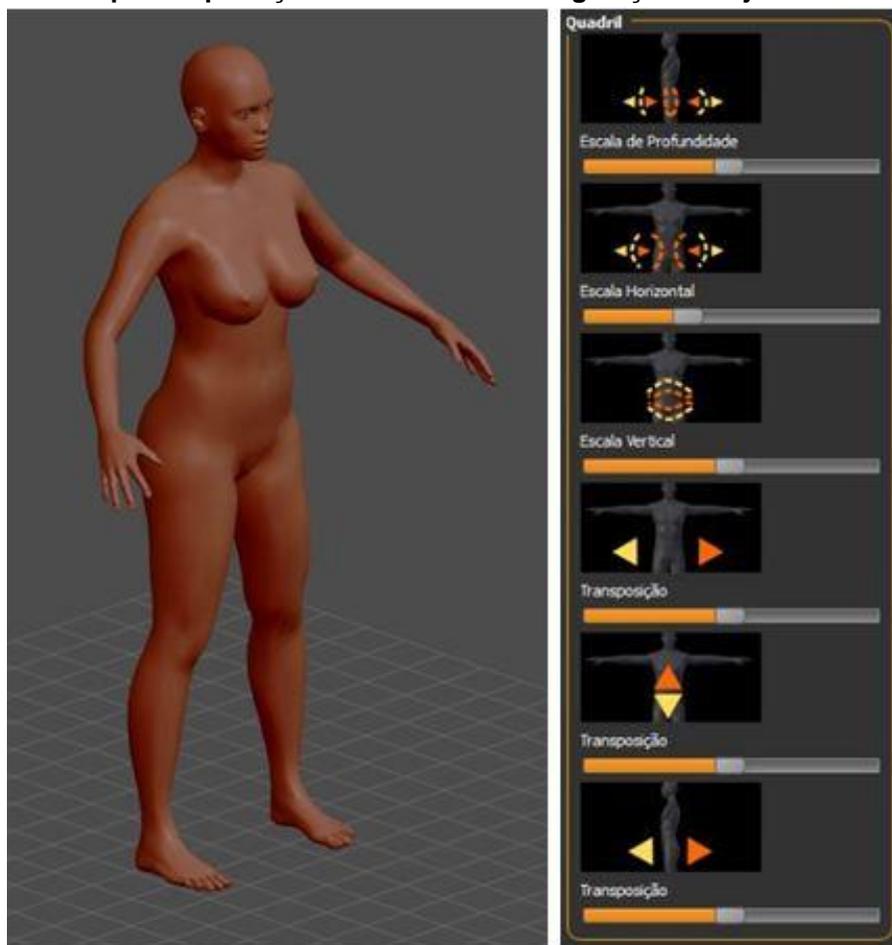


Fonte: Elaborado pela autora.

Entretanto, foi percebida a necessidade de construção de um MHD Paramétrico para as formas femininas, devido às diferenças na geometria do corpo, principalmente, no volume dos seios, do glúteo e da curvatura da lombar. Sendo assim, um MHD Paramétrico para o sexo feminino foi construído e este fará parte do banco de dados para uso em análises ergonômicas. Para a construção do MHD feminino, foi necessário definir o sexo do modelo no *software* Makehuman®. É possível customizar partes do corpo como, por exemplo, aumentar a circunferência do glúteo, das pernas, dos seios, do abdômen e da estatura.

Assim, o modelo foi modificado (Fig. 81) para ser exportado para o Blender® para a construção do MHD.

Figura 81 - Modelo feminino no Makehuman e as opções de customização no próprio software para exportação do modelo na configuração desejada.

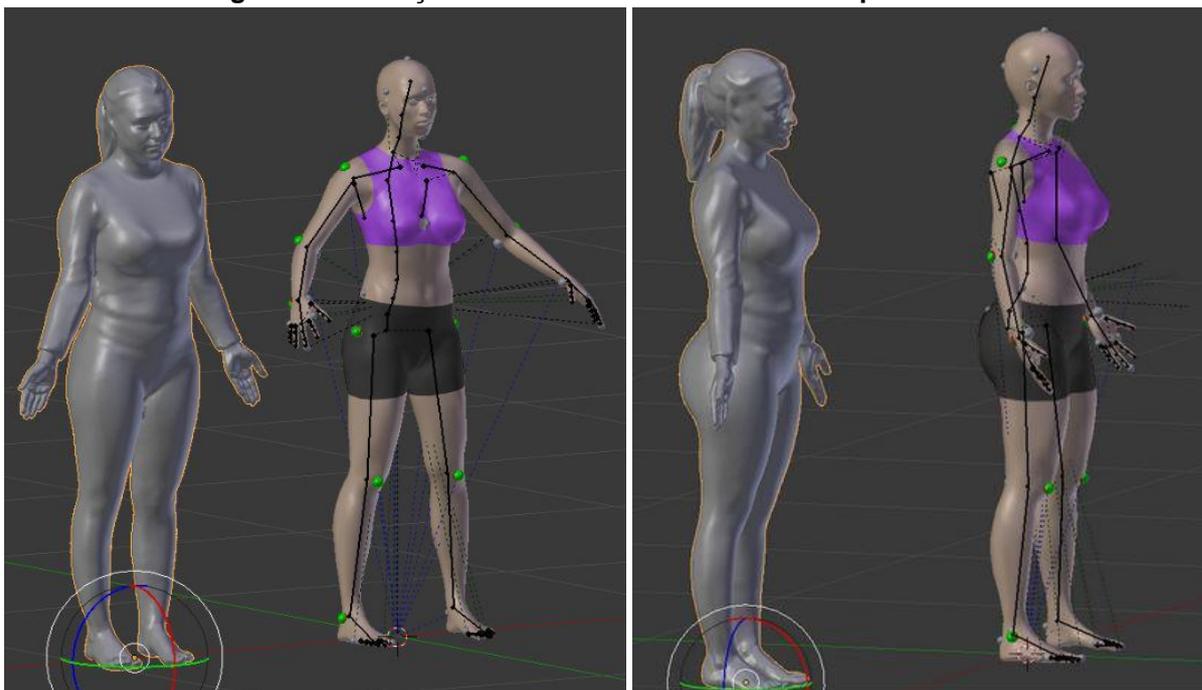


Fonte: Elaborado pela autora.

A estrutura segmentar foi construída e inserida no modelo importado do Makehuman®, bem como os valores das ADM nas articulações. O sistema do *rigging* foi acoplado ao modelo para possibilitar os movimentos e foram inseridos os *landmarks* no MHD feminino. Após a construção do MHD feminino, o modelo 3D digitalizado da participante foi importado e colocado ao lado do MHD e os valores das medidas antropométricas foram inseridos (Fig. 82).

A aplicação dos valores do participante masculino foi realizada no MHD masculino paramétrico e o processo foi o mesmo utilizado anteriormente para o MHD feminino.

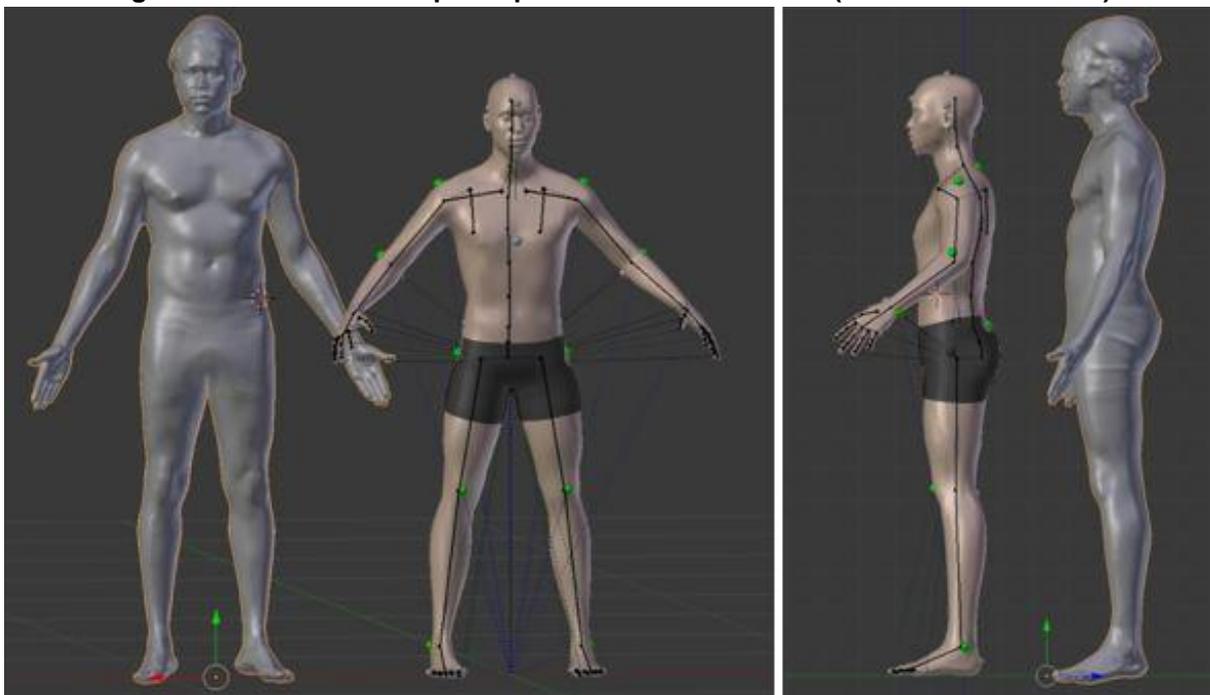
Figura 82 - Inserção dos valores das medidas antropométricas.



Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 83 apresenta o modelo 3D digitalizado do participante masculino e, ao lado, o MHD desenvolvido na presente pesquisa sem a inserção das medidas das variáveis antropométricas.

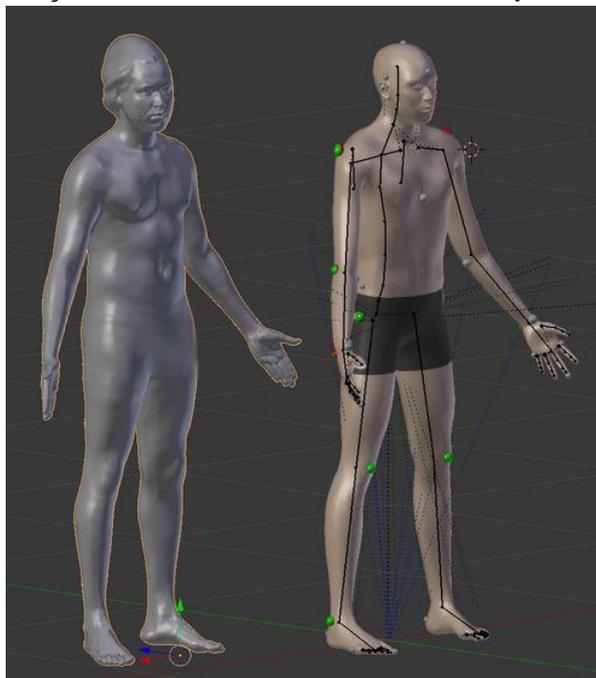
Figura 83 - Modelo 3D do participante maculino e o MHD (vista frontal e lateral).



Fonte: Elaborado pela autora.

Na Figura 84, é apresentado o MHD com as alterações nos valores das variáveis antropométricas, conforme as medidas estáticas do participante masculino. Após a inserção das medidas antropométricas, o MHD Paramétrico feminino e o masculino foram utilizados nas análises ergonômicas virtuais.

Figura 84 - Inserção das medidas das variáveis antropométricas no MHD.



Fonte: Elaborado pela autora.

A seguir, é descrito, no item 4.4, o processo de modelagem 3D dos produtos analisados para uso nas análises ergonômicas virtuais.

4.4 Processo de modelagem 3D da estação de trabalho e do simulador veicular de autoescola.

Neste item, são apresentados os modelos 3D da estação de trabalho e do simulador veicular de autoescola.

4.4.1 Estação de trabalho

Os valores das medidas da estação de trabalho foram obtidos por um processo manual, utilizando como instrumento de medição uma trena. Foram mensurados a mesa de trabalho, o PC, a CPU, o teclado, o *mouse* e a cadeira de trabalho. Após, foram realizados os desenhos técnicos contendo as vistas frontal, lateral e superior (quando necessárias) no *software* AutoCad® para posterior modelagem

tridimensional no *software* SketchUp Make[®]. As imagens dos desenhos detalhados da mesa de trabalho, do CPU, do *mouse* e do teclado são apresentadas no Apêndice H da presente pesquisa.

A modelagem em 3D da estação de trabalho é apresentada na Figura 85. As questões relacionadas a regulagem de altura do assento da cadeira de trabalho foram solucionadas ao importar o modelo 3D para o Blender[®] (processo é descrito no item 4.6 da presente pesquisa).

Figura 85 - modelo 3D da estação de trabalho.

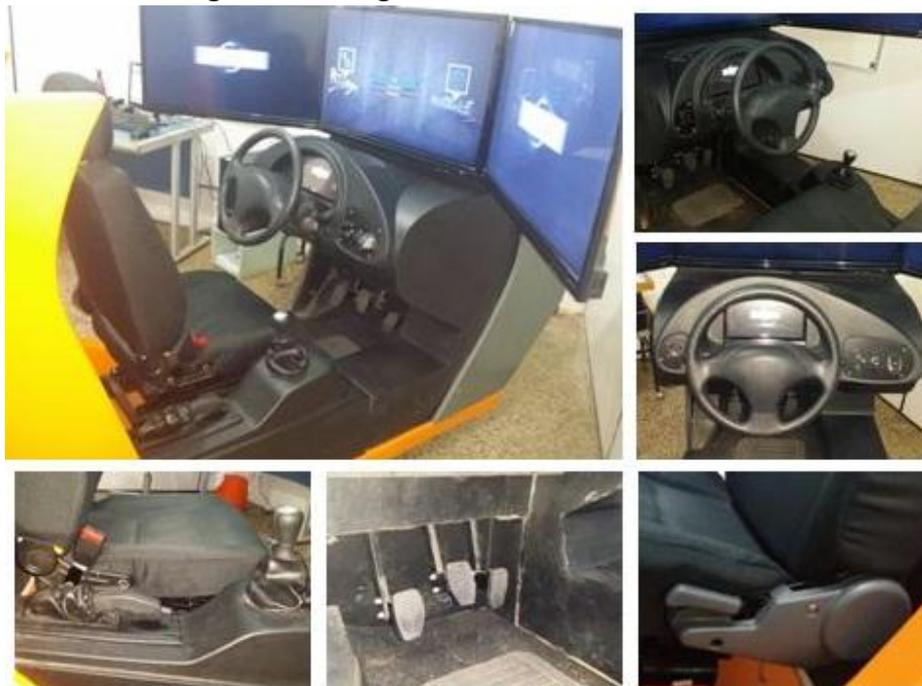


Fonte: Elaborado pela autora.

4.4.2 Simulador veicular da autoescola

Os valores das medidas do simulador veicular foram obtidos por um processo manual, utilizando como instrumento de medição uma trena. Para auxiliar na modelagem foram realizados registros fotográficos do simulador e algumas medidas como ângulos de inclinação do volante e do assento foram obtidas no site do fornecedor. O simulador veicular consta em uma unidade de autoescola da cidade de Porto Alegre - RS. As imagens fotográficas são apresentadas na Figura 86. O desenho técnico do simulador veicular é realizado no *software* AutoCad[®] e segue apresentado no Apêndice H da presente pesquisa.

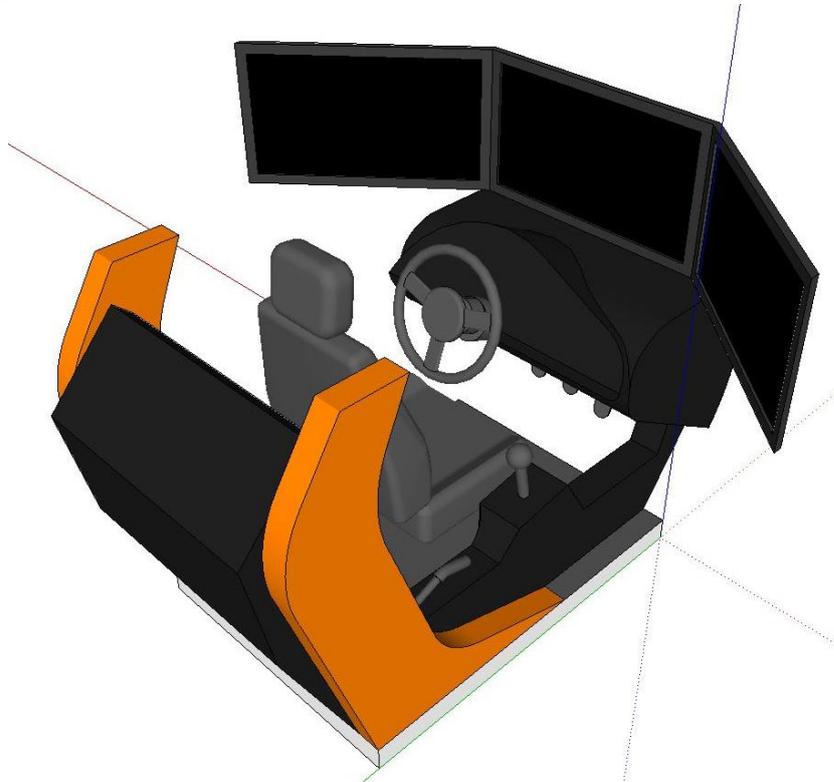
Figura 86 - fotografias do simulador veicular.



Fonte: Elaborado pela autora.

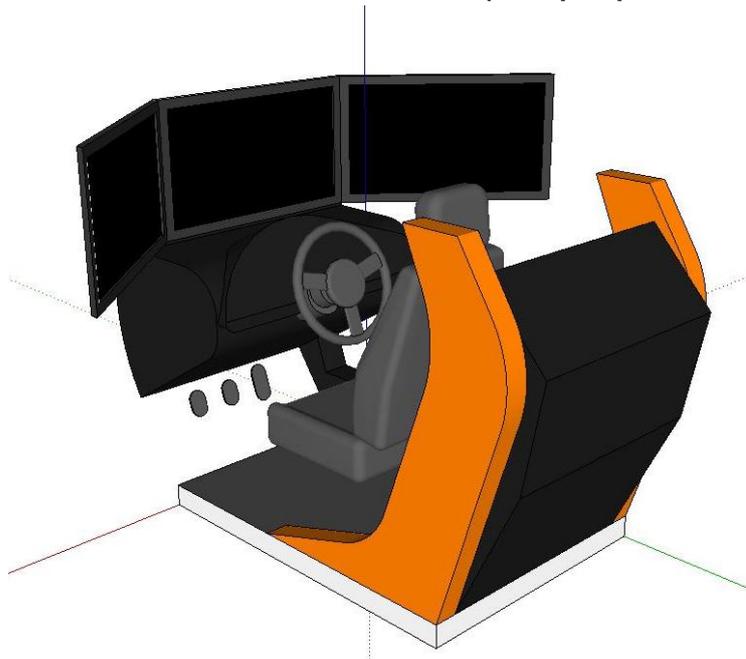
O modelo 3D do simulador veicular foi realizado no *software* SketchUp Make[®] e as imagens do modelo seguem apresentadas na Figura 87 e na Figura 88.

Figura 87 - Modelo 3D do simulador veicular (vista perspectiva direita).



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 88 - Modelo 3D do simulador veicular (vista perspectiva esquerda).



Fonte: Elaborado pela autora.

As questões relacionadas aos ajustes do assento do modelo 3D, como a aproximação e o afastamento do bando aos pedais e a inclinação do encosto, foram solucionadas ao importar o modelo 3D no Blender[®] e este processo é descrito no item 5 da presente pesquisa.

4.5 Processo de verificação do funcionamento do MHD

Neste item, o funcionamento do MHD bem como os parâmetros antropométricos dinâmicos obtidos foram verificados por meio da comparação entre os parâmetros obtidos pela análise ergonômica com a captura de movimento e os parâmetros obtidos pela análise ergonômica virtual.

4.5.1 Análise ergonômica por captura e registro dos movimentos

Diversos autores como Magistris *et al.* (2013), Zhang *et al.* (2005) e Clark *et al.* (2012) realizam estudos em que envolvem análise postural utilizando as técnicas de captura e análise de movimento por meio de registro óptico-eletrônico utilizadas para registrar o movimento dos *landmarks* (marcadores) por meio de câmeras de infravermelho.

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. A captura do movimento e das coordenadas no espaço tridimensional é possível por meio da reflexão da luz dos *landmarks*, sobre os pontos anatômicos, nas câmeras de infravermelho. Os pontos refletidos destes *landmarks* são reconhecidos por um *software* específico que tem como objetivo rastrear a posição dos *landmarks* nas imagens geradas pelas câmeras. Em conjunto, outro *software* considera a variação das posições de cada *landmark* e, por meio de fórmulas matemáticas, reconstrói a trajetória tridimensional de cada *landmark* no espaço.

Conforme descrito na etapa de metodologia da presente pesquisa, a captura e o registro dos movimentos foram realizados no laboratório de pesquisa do exercício (Lapex) da UFRGS. Este é equipado com um sistema contendo 10 câmeras de infravermelho alojadas estrategicamente para realização da captura do movimento. O sistema utilizou *landmarks* do tipo marcadores passivos, que foram cobertos por uma fita retro-flexiva, que reflete a luz infravermelha com alta eficiência e baixa dispersão para o sensor das câmeras de infravermelho.

Os modelos dos produtos - estação de trabalho e simulador veicular de autoescola - foram desenvolvidos de forma a não obstruir a luz refletida dos *landmarks* nos sensores das câmeras de infravermelho durante a realização da tarefa. Sendo assim, os modelos foram construídos de forma minimalista e vazados, utilizando material MDF de 3 mm. Estes foram cortados em um equipamento de corte a *laser* de comando numérico computadorizado (CNC), no laboratório ViD da UFRGS. Segundo autores como Zhang *et al.* (2005) e Clark *et al.* (2012), não podem ser utilizados materiais metálicos nos modelos por estes refletirem luz nas câmeras de infravermelho, o que causa interferência no processamento do modelo 3D da captura de movimento. Algumas medidas foram demarcadas no chão com fita crepe, com auxílio de uma trena, sinalizando as medidas de ajustes máximos e mínimos, por exemplo, do trilho do banco do simulador veicular. As imagens dos protótipos construídos da estação de trabalho e a do simulador veicular são apresentadas na Figura 89. Os modelos foram levados para o laboratório Lapex, para realização da tarefa.

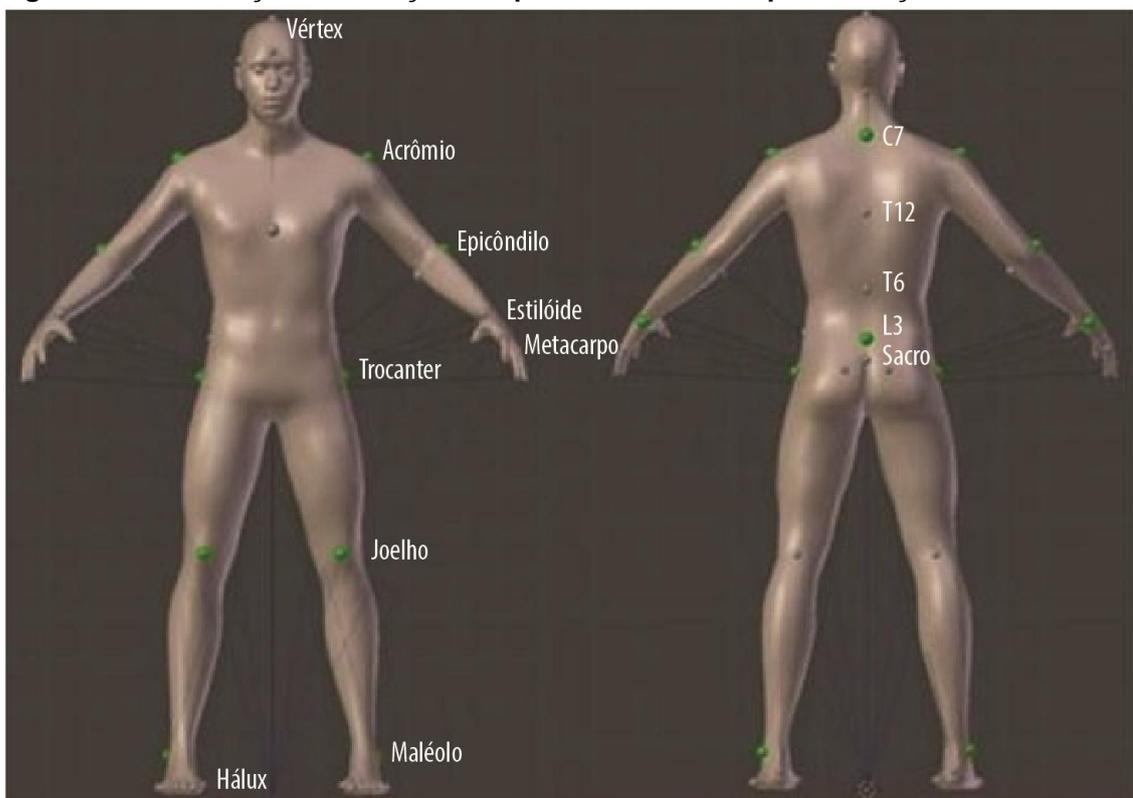
Figura 89 - Imagens dos protótipos: estação de trabalho (A) e simulador veicular (B).



Fonte: Elaborado pela autora.

Para o processo de captura do movimento, é necessário que cada *landmark* inserido no usuário seja visualizado por no mínimo 3 câmeras de infravermelho, em um mesmo intervalo de tempo, para que suas coordenadas possam ser reconstruídas em três dimensões. Foram inseridos 29 *landmarks* nos pontos anatômicos estabelecidos (Fig. 90).

Figura 90 - Localização e descrição dos pontos anatômicos para inserção dos *landmarks*.



Fonte: Elaborado pela autora.

Entretanto, os pontos referentes à extremidade do dedo do pé, a articulação do joelho e a extremidade do dedo indicador da mão foram alterados para o Hálux, lateral do joelho e para o metacarpo, respectivamente, por causa da obstrução da luz refletida destes *landmarks* nos sensores de infravermelho durante a realização da tarefa. O processo de colocação dos *landmarks* tem uma duração de 15 minutos, aproximadamente, em cada participante. A inserção destes *landmarks* foi realizada por profissionais da área de Educação Física da UFRGS, e os pontos anatômicos foram identificados pela palpação.

Após a fixação dos *landmarks*, foi realizada a calibração das câmeras em que cada participante permanece parado por 15 segundos, aproximadamente, na posição anatômica, e o modelo (formado pelos *landmarks*) foi reconhecido pelo *software* do sistema e reconstruído tridimensionalmente. Na Figura 91, é apresentada imagem do participante feminino com os *landmarks* inseridos nos pontos anatômicos e, na Figura 92, é apresentada a imagem do participante masculino.

Figura 91 - Imagens do participante feminino com os *landmarks*.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 92 - Imagens do participante masculino com os landmarks.

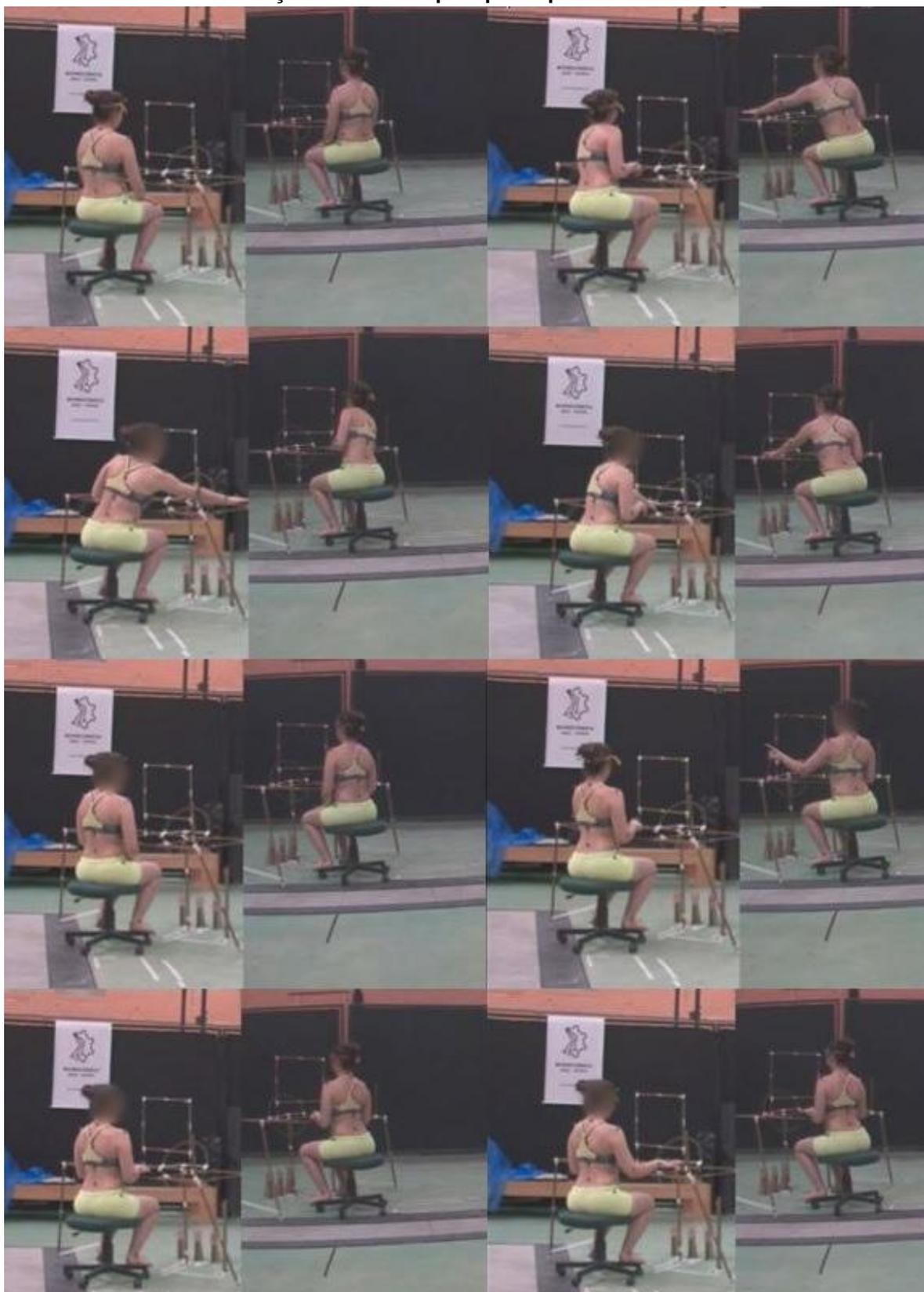


Fonte: Elaborado pela autora.

A presença de muitos *landmarks* simultaneamente na imagem requer o uso de algoritmos de rotulação para atribuir uma identificação única a cada marcador. A Figura 90 apresenta os 29 *landmarks* inseridos e os nomes atribuídos para a identificação da coordenada tridimensional. O *software* BTScapture[®] do Sistema BTSbioengineering[®] realizou uma captura de 100 frames por segundo (FPS) com precisão dimensional para a coordenada 3D no espaço de 0,5 mm. O tempo de processamento, armazenamento e representação do movimento pelos participantes realizando a análise da tarefa foi de, aproximadamente, 10 minutos para cada tarefa exercida. O *software* utilizado para a representação da imagem em vídeo e o processamento, armazenamento e representação das coordenadas tridimensionais no espaço foi o *software* BTStracker[®].

As tarefas realizadas pelo participante feminino na estação de trabalho tiveram uma duração de 19 segundos para a demonstração dos alcances sobre a mesa, e 28 segundos em que realizou os movimentos de escrever no teclado, manipular o *mouse*, ligar e desligar o PC e olhar para a tela do computador. A Figura 93 apresenta imagens do processamento do vídeo em que demonstra a realização da tarefa da estação de trabalho pelo participante feminino.

Figura 93 - Imagens do processamento do vídeo em que apresenta a realização da tarefa da estação de trabalho pelo participante feminino.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 94 - Imagens do processamento do vídeo em que apresenta a realização da tarefa da estação de trabalho pelo participante masculino.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 95 - Imagens do processamento do vídeo em que apresenta a realização da tarefa no simulador veicular pelo participante feminino.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 96 - Imagens do processamento do vídeo em que apresenta a realização da tarefa no simulador veicular pelo participante masculino.



Fonte: Elaborado pela autora.

A tarefa exercida pelo participante feminino no simulador veicular, em que realizou a troca de marcha, alcance nos pedais e no volante foi de 35 segundos. A tarefa foi repetida novamente e teve uma duração de 29 segundos e, uma terceira tarefa, em que a participante realizou a troca de marcha, movimentou o volante e olhou para o retrovisor direito e esquerdo, teve uma duração de 37 segundos. Esta tarefa foi repetida, e teve uma duração de 21 segundos. A Figura 95 apresenta imagens do processamento do vídeo em que demonstra a realização da tarefa do simulador veicular pelo participante feminino.

As tarefas desempenhadas pelo participante masculino, tanto na estação de trabalho quanto no simulador veicular, foram as mesmas realizadas pelo participante feminino. A tarefa realizada na estação de trabalho, em que o participante exerceu os alcances máximos sobre a mesa, teve uma duração de 17 segundos. A realização da tarefa dos movimentos de escrever no teclado, manipular o *mouse*, ligar e desligar o PC e olhar para a tela do computador foi de 23 segundos. O tempo para a realização da tarefa do simulador veicular pelo participante masculino foi de 18 segundos e o processo foi repetido novamente, com uma duração de 17 segundos.

A Figura 94 apresenta imagens do processamento do vídeo pelo participante masculino, em que demonstra a realização da tarefa da estação de trabalho e, na Figura 96, no simulador veicular. Após a realização das tarefas pelos participantes, o processo de obtenção dos parâmetros antropométricos e da análise destes parâmetros é descrito no item 4.5.2.

4.5.2 Obtenção dos parâmetros antropométricos pelos sistemas de captura de movimento

Este item descreve a obtenção dos parâmetros antropométricos gerados pelo sistema de captura de movimento e estes são comparados, posteriormente, aos parâmetros obtidos pelo MHD desenvolvido na presente pesquisa na realização da tarefa em ambiente virtual. Após a realização da tarefa utilizando os protótipos dos produtos, foram gerados dois arquivos de dados relacionados à captura dos movimentos. Um arquivo contém os vídeos gravados em 25 frames por segundo

(FPS) e o outro arquivo contém os dados tridimensionais dos *landmarks* no espaço em 100 FPS.

A etapa inicial deste processo consistiu em obter os frames exatos correspondentes a posição inicial, de alcances máximos e mínimos durante a realização da tarefa para que as medidas lineares e angulares do corpo fossem obtidas em cada frame selecionado.

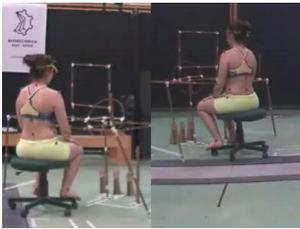
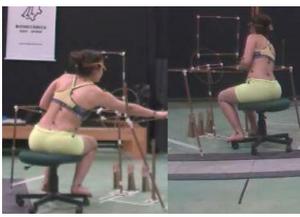
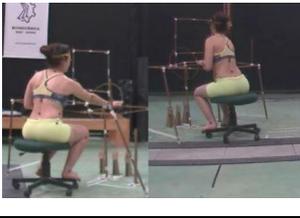
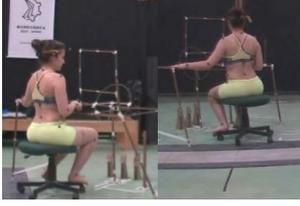
Os frames foram identificados a partir do arquivo de vídeo com o uso do *software* Adobe After Effects® e transpostos para o arquivo contendo os dados tridimensionais no espaço. A transposição entre os arquivos foi obtida utilizando a fórmula matemática $NF \times 4$, em razão de que a quantidade de FPS do arquivo da reconstrução do movimento dos *landmarks* no espaço é 4 vezes maior que o arquivo de vídeo. A localização dos frames selecionados, as posturas e a conversão para os frames da reconstrução 3D para obtenção dos parâmetros antropométricos são apresentadas no Quadro 10.

Para a conversão dos dados (pontos no espaço) obtidos pela captura de movimento foi desenvolvido um algoritmo para gerar os parâmetros desejados para fins de análise. Para isso, foi utilizado o *software* Scilab® que possibilita a programação destes pontos no espaço para obtenção dos comprimentos entre eles (vetores) e dos ângulos entre estes vetores. O algoritmo utilizado é apresentado no Apêndice F.

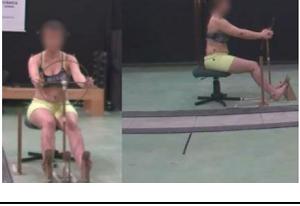
O arquivo da captura de movimento conteve em média 8.700 dados relacionados aos *landmarks* no espaço em cada frame. Foram no total 29 *landmarks* inseridos sobre o corpo humano e cada *landmark* gerou três valores em relação as coordenadas x, y e z no espaço. Portanto, para filtrar estes dados, foram selecionadas as posturas desejadas (Quadro 10) e os dados obtidos, por meio do algoritmo desenvolvido, foram convertidos em vetores e ângulos.

Foram identificados os vetores em cada posição selecionada e os ângulos tanto do lado direito quanto do lado esquerdo do corpo. Os parâmetros antropométricos obtidos foram conferidos em: menor comprimento, comprimento médio e comprimento máximo em milímetros da medida do centro entre dois *landmarks* (representando o tamanho do segmento) e o menor ângulo e maior ângulo em graus entre estes vetores.

Quadro 10- Apresentação da localização das posturas analisadas durante a realização da tarefa.

Tarefa realizada	Imagem da postura analisada	Frame correspondente ao vídeo	Frame correspondente à captura do movimento
Estação de trabalho - Posição inicial		00	00
Estação de trabalho - Alcance máximo, braço esquerdo, lateral;		4f	100
Estação de trabalho - Alcance máximo, braço direito, lateral;		6f +19	676
Estação de trabalho - Alcance máximo, braço direito, frente;		9f + 15	960
Estação de trabalho - Alcance mínimo, braço esquerdo;		13f + 12	1348
Simulador veicular - Posição inicial;		00	00

Quadro 10 - *Continuação.*

Tarefa realizada	Imagem da postura analisada	Frame correspondente ao vídeo	Frame correspondente à captura do movimento
Simulador veicular - Alcance volante;		2f + 24	296
Simulador veicular - Mudando a marcha;		3f + 20	380
Simulador veicular - Alcance volante com duas mãos;		8f + 15	860
Estação de trabalho - Posição inicial;		00	00
Estação de trabalho - Alcance máximo braço direito, lateral;		5f + 18	572
Estação de trabalho - Alcance máximo braço esquerdo, lateral;		8f + 3	812

Quadro 10 - *Continuação.*

Tarefa realizada	Imagem da postura analisada	Frame correspondente ao vídeo	Frame correspondente à captura do movimento
Estação de trabalho - Alcance máximo braço direito, frente;		12f + 13	1252
Simulador veicular - Posição inicial		00	00
Simulador veicular - alcance volante, movimento direção, esquerdo;		3f + 18	372
Simulador veicular - alcance volante, movimento direito;		6f + 19	676

Fonte: Elaborado pela autora.

Os vetores totalizaram em 16, são eles: o pé direito (comprimento entre o Hálux e o Calcâneo), perna direita (Fíbula e o Joelho), coxa direita (Joelho e o Trocanter), Tíbia esquerda (Fíbula e o Joelho), coxa esquerda (Joelho e o Trocanter), o pé esquerdo (Hálux e o Calcâneo), antebraço esquerdo (Epicôndilo e o Estiloide), braço esquerdo (Acrômio e o Epicôndilo), mão esquerda (Metacarpo e o

Epicôndilo), antebraço direito (Epicôndilo e o Estiloide), braço direito (Acrômio e o Epicôndilo), mão direita (Metacarpo e o Epicôndilo), Tórax (T6 e C7), Cabeça (C7 e a cabeça atrás), coluna inferior (Sacro e L3), coluna média - tórax (L3 e T12), coluna superior (T6 e C7).

Foram 14 ângulos no total considerados em cada posição, são eles: entre o pé e a perna direita, entre a perna e a coxa direita, entre a perna e a coxa esquerda, entre o pé e a perna esquerda, entre o antebraço e o braço esquerdo, entre a mão e o antebraço esquerdo, entre o antebraço e o braço direito, entre a mão e o antebraço direito, entre o tórax e a cabeça, entre a coluna inferior e a coluna média, entre a coxa direita e a coluna inferior, entre a coxa esquerda e a coluna inferior, entre o braço esquerdo e a coluna superior e entre o braço direito e a coluna superior. Os resultados destes dados são apresentados em uma tabela no Apêndice G.

4.5.3 Realização da tarefa em ambiente virtual para comparação como os parâmetros obtidos pela captura de movimento

As medidas antropométricas dos participantes foram aplicadas no MHD, conforme os valores dos vetores obtidos na tabela (Apêndice G). Entretanto, alguns *landmarks* alocados no corpo humano na análise por captura de movimento não estavam sobre a pele. Os *landmarks* correspondentes aos pontos anatômicos Hálux, Crista ilíaca, Acrômio e Cervical estavam sobre uma haste a 13 mm de distância da pele e os *landmarks* correspondentes aos pontos anatômicos da cabeça estavam sobre uma cinta elástica contendo uma haste de 50 mm de distância da pele.

Estas distâncias e posições dos *landmarks* foram conferidas no MHD para que os comprimentos dos vetores ficassem os mesmos em ambos os modelos para a realização das análises, assim como o diâmetro de todos os *landmarks* foram alterados para 15 mm. A imagem do MHD feminino ajustado é apresentada na Figura 97.

Ao iniciar a tarefa com o MHD em ambiente virtual, os produtos 3D desenvolvidos foram ajustados. O encosto da cadeira foi retirado do produto 3D, a posição desta foi invertida (conforme utilizado pelos participantes durante a captura de movimento) e a altura do assento da cadeira foi alterada. Depois de finalizados

os ajustes no MHD e na estação de trabalho 3D, foi realizada a tarefa conforme as mesmas posturas definidas no Quadro 10, para verificação dos parâmetros antropométricos de alcance e de medidas angulares no MHD.

Figura 97 - Imagens do MHD com as posições dos *landmarks* ajustadas para realização da verificação dos parâmetros.



Fonte: elaborado pela autora.

Foram ao total 16 posições analisadas e, em cada posição, foram obtidos os parâmetros antropométricos dinâmicos para a comparação. As imagens das tarefas realizadas em ambiente virtual com o MHD são apresentadas em quadros ao lado das imagens realizadas pela captura de movimento para comparação visual das posturas. O resultado da comparação entre os parâmetros é apresentado na forma de gráfico de colunas.

Os gráficos são compostos por colunas retangulares, na vertical, e seu comprimento é proporcional aos valores em que representam. No eixo vertical estão representados os valores (ângulos) dos parâmetros e, no eixo horizontal, as variáveis antropométricas analisadas. A coluna na cor cinza escuro representa os

parâmetros obtidos por meio da captura de movimento e a coluna em cinza claro representa os parâmetros obtidos no MHD, conforme é apresentado na legenda contida nos gráficos. A descrição das variáveis antropométricas angulares é apresentada no Quadro 11.

Quadro 11 - Legenda para identificação das variáveis antropométricas utilizadas nas análises.

DESCRIÇÃO	VARIÁVEIS ANTROPOMÉTRICAS ANGULARES
Tornozelo esq.	Ângulo formado entre o pé (comprimento entre o Hálux e o Calcâneo), e a perna esquerda (Maléolo e o Joelho)
Tornozelo dir.	Ângulo formado entre o pé e a perna direita (Maléolo e o Joelho)
Joelho esq.	Ângulo formado entre a perna (Maléolo e o Joelho) e a coxa (Joelho e o Trocanter) esquerda
Joelho dir.	Ângulo formado entre a perna (Maléolo e o Joelho) e a coxa (Joelho e o Trocanter) direita
Cotovelo esq.	Ângulo formado entre o antebraço (Epicôndilo e o Estiloide) e o braço (Acrômio e o Epicôndilo) esquerdo
Cotovelo dir.	Ângulo formado entre o antebraço (Epicôndilo e o Estiloide) e o braço (Acrômio e o Epicôndilo) direito
Punho esq.	Ângulo formado entre a mão (Metacarpo e o Epicôndilo) e o antebraço (Epicôndilo e o Estiloide) esquerdo
Punho dir.	Ângulo formado entre a mão (Metacarpo e o Epicôndilo) e o antebraço (Epicôndilo e o Estiloide) direito
Cabeça	Ângulo formado entre o tórax (T6 e C7), cabeça (C7 e a cabeça atrás)

Fonte: Elaborado pela autora.

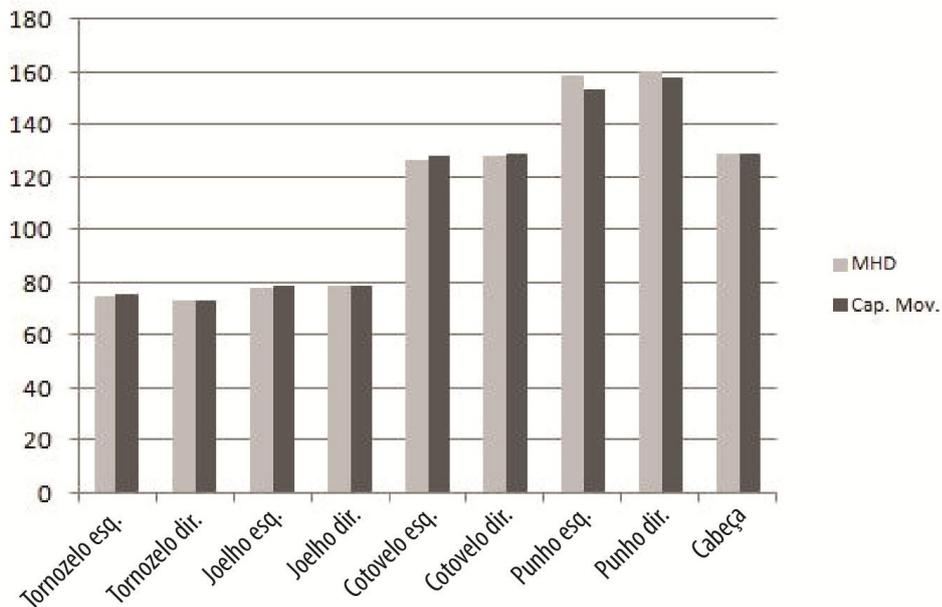
Assim, a primeira postura analisada é apresentada no Quadro 12, em que foi possível observar as imagens das duas posturas (por captura de movimento e virtual) e os parâmetros são apresentados na Figura 98. Conforme os resultados da análise no Quadro 12, as imagens demonstram a semelhança entre as posturas, o que foi evidenciado através da comparação dos valores dos parâmetros das variáveis antropométricas analisadas. As variáveis antropométricas angulares que obtiveram maiores diferenças foram as correspondentes à variável do punho esquerdo, com uma diferença aproximada de $5,26^\circ$ e, à variável 8 do punho direito, com uma diferença de $2,58^\circ$. Os parâmetros referentes às demais variáveis foram bastante equivalentes, havendo uma variação de no máximo 2° .

Quadro 12 - Imagens da postura, no frame 00, analisadas na captura de movimento e na tarefa em ambiente virtual.

Postura da tarefa realizada	Imagem da postura analisada pela captura de Movimento	Imagem da postura da análise da tarefa em ambiente virtual com o uso do MHD
Estação de trabalho - Posição inicial		

Fonte: elaborado pela autora.

Figura 98 - Comparação dos parâmetros antropométricos dinâmicos referente a posição no frame 00: Estação de trabalho; posição inicial.



Fonte: elaborado pela autora.

No Quadro 13, é apresentada a próxima postura analisada, referente ao frame 100, em que a participante efetuou o alcance máximo do braço esquerdo sobre o tampo da mesa da estação de trabalho. Na Figura 99, são apresentados os valores dos parâmetros obtidos.

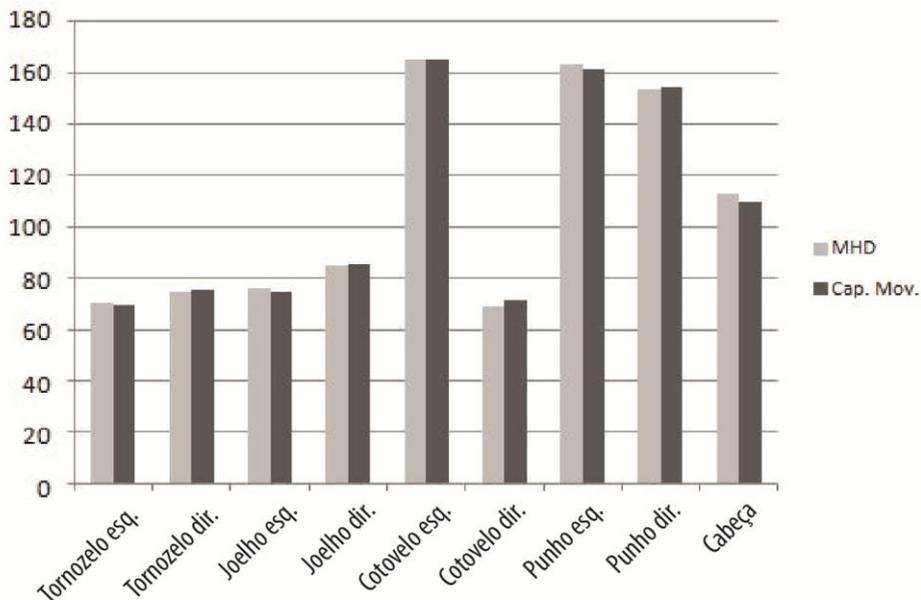
Quadro 13 - Imagens da postura, no frame 100, analisadas na captura de movimento e na tarefa em ambiente virtual.

Postura da tarefa realizada	Imagem da postura analisada pela captura de Movimento	Imagem da postura da análise da tarefa em ambiente virtual com o uso do MHD
Estação de trabalho - Alcance máximo, braço esquerdo lateral;		

Fonte: elaborado pela autora.

Conforme a comparação entre os valores das variáveis antropométricas analisadas, as variáveis que obtiveram maiores diferenças foram as referentes à variável da cabeça e ao cotovelo direito, com uma diferença, aproximadamente, de 2°. As demais variáveis apresentaram correspondência entre os valores, com no máximo 1° de diferença.

Figura 99 - Comparação dos parâmetros antropométricos dinâmicos referente a posição no frame 100.

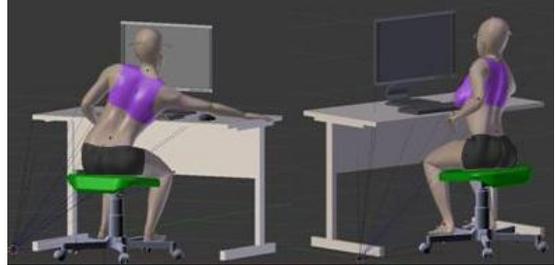


Fonte: elaborado pela autora.

Segundo os resultados da análise no Quadro 14, as imagens apresentaram a semelhança entre as posturas, em que foi analisado o alcance máximo do braço

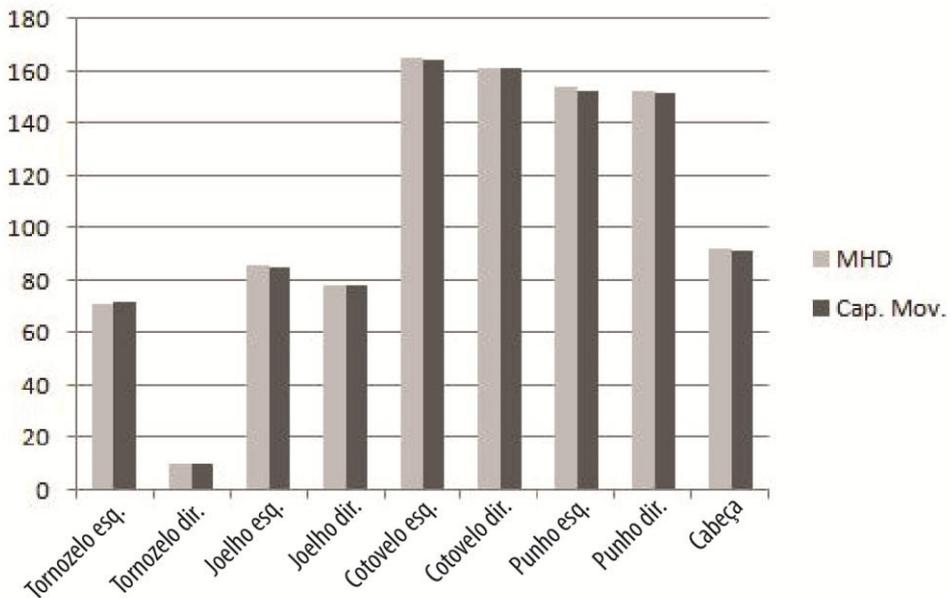
direito sobre a lateral do tampo da mesa da estação de trabalho. Esta semelhança pode ser verificada na Figura 100. A variável na qual obteve maior diferença de valores de medida angular foi a correspondente ao punho esquerdo, com uma diferença de aproximadamente 2°. As demais variáveis apresentaram diferenças inferiores a 1°.

Quadro 14 - Imagens da postura, no frame 676, analisadas na captura de movimento e na tarefa em ambiente virtual.

Postura da tarefa realizada	Imagem da postura analisada pela captura de Movimento	Imagem da postura da análise da tarefa em ambiente virtual com o uso do MHD
Estação de trabalho - Alcance máximo, braço direito lateral;		

Fonte: elaborado pela autora.

Figura 100 - Comparação dos parâmetros antropométricos dinâmicos referente a posição no frame 676.

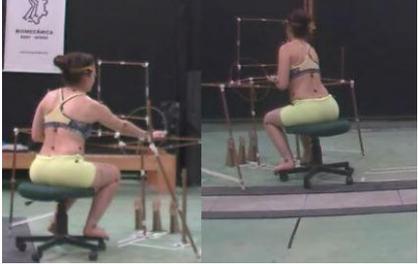
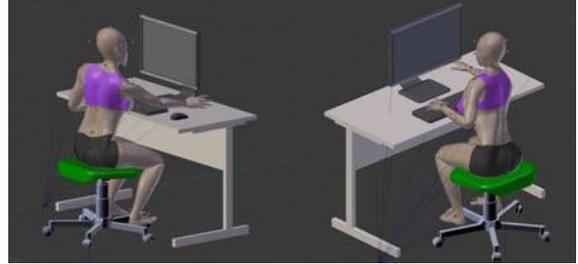


Fonte: elaborado pela autora.

No Quadro 15, foi demonstrada por meio das imagens a semelhança entre as posturas no frame 960. Entretanto, foram observadas pequenas diferenças nos

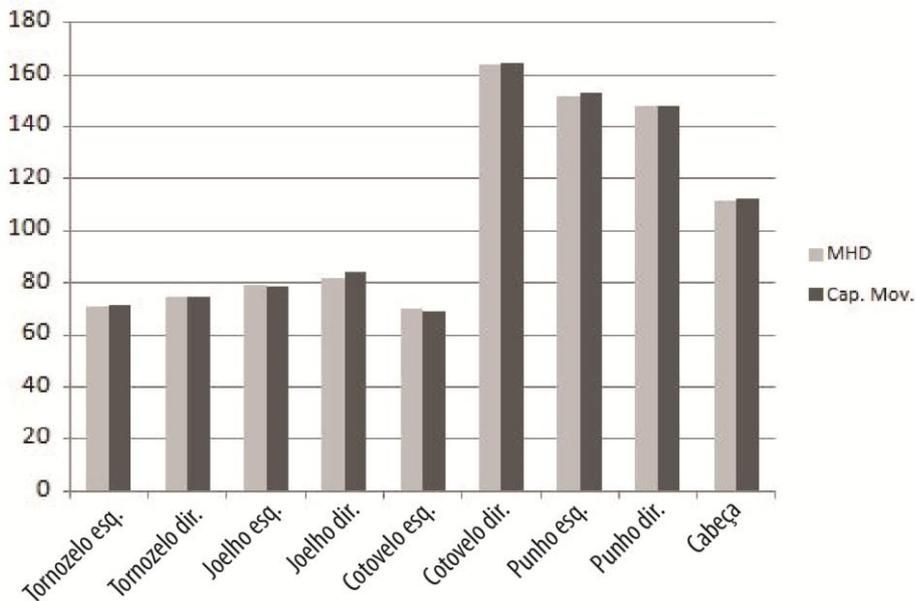
valores angulares das variáveis antropométricas da articulação do joelho direito, com 3º de diferença, e pela variável antropométrica do punho esquerdo, com uma diferença de 2º. Foi observado que a postura do participante estava com uma leve inclinação na região da cervical e Torácica em relação ao MHD, e uma diferença na postura na região da lombar e, conseqüentemente, na articulação do joelho. As demais variáveis antropométricas apresentaram uma variação pequena de no máximo 2º de diferença (Fig. 101).

Quadro 15 - Imagens da postura, no frame 960, analisadas na captura de movimento e na tarefa em ambiente virtual.

Postura da tarefa realizada	Imagem da postura analisada pela captura de Movimento	Imagem da postura da análise da tarefa em ambiente virtual com o uso do MHD
Estação de trabalho - Alcance máximo, braço direito frente;		

Fonte: elaborado pela autora.

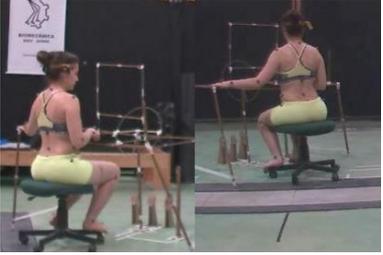
Figura 101 - Comparação dos parâmetros antropométricos dinâmicos referente a posição no frame 960.



Fonte: elaborado pela autora.

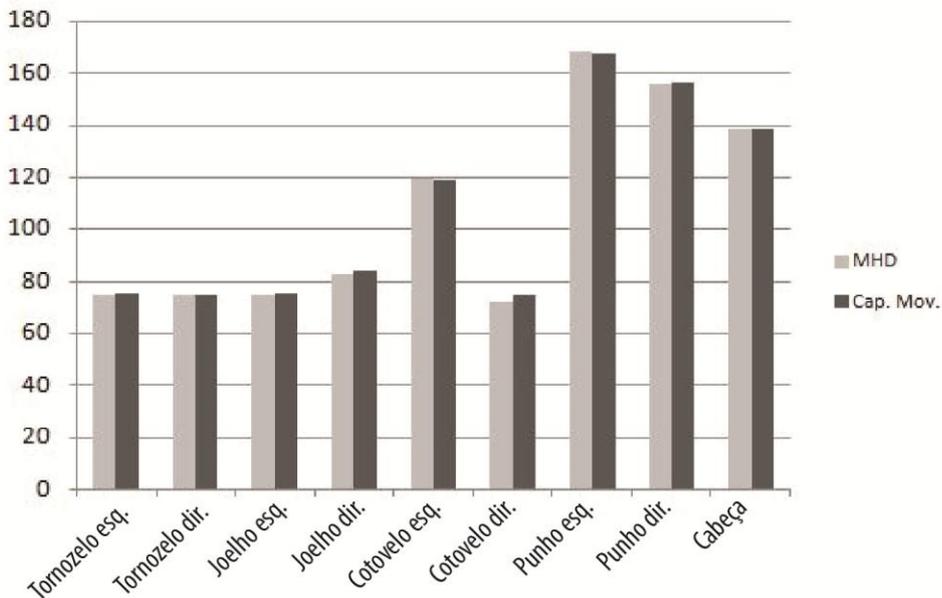
No Quadro 16, são apresentadas as imagens referentes à postura no frame 1348. Por meio da visualização destas imagens, foi possível observar a semelhança nas posturas do participante e do MHD. O que foi confirmado na comparação das variáveis antropométricas na Figura 102. A maior diferença de valor angular nesta postura estava na variável referente ao cotovelo direito, com um valor de 4°. As demais variáveis apresentaram um grau bem significativo de compatibilidade, variando em no máximo 2° de diferença.

Quadro 16 - Imagens da postura, no frame 1348, analisadas na captura de movimento e na tarefa em ambiente virtual.

Postura da tarefa realizada	Imagem da postura analisada pela captura de Movimento	Imagem da postura da análise da tarefa em ambiente virtual com o uso do MHD
Estação de trabalho - Alcance mínimo, braço esquerdo;		

Fonte: elaborado pela autora.

Figura 102 - Comparação dos parâmetros antropométricos dinâmicos (frame 1348).



Fonte: elaborado pela autora.

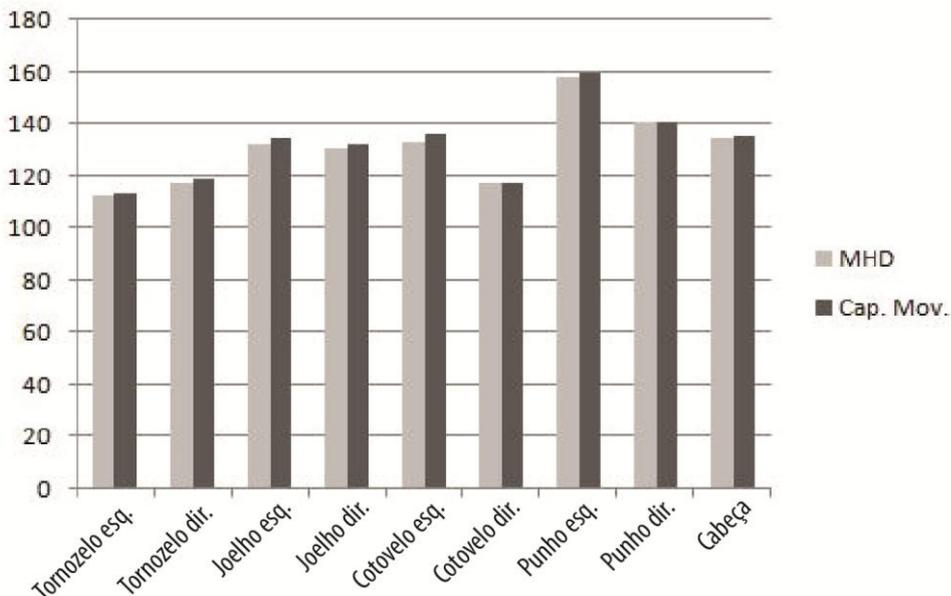
No Quadro 17, são apresentadas as imagens referentes ao frame 00 (posição inicial no simulador veicular). O MHD representando o participante feminino foi colocado sentado no simulador e os ajustes foram realizados. O banco foi ajustado na mesma distância dos pedais, segundo realizado na tarefa pela captura de movimento. Foi observado que a participante não estava com a postura na região da coluna vertebral relaxada devido à falta do encosto do banco. O mesmo foi replicado na postura do MHD, para que os valores antropométricos analisados se apresentassem com mais veracidade. Os valores da comparação são apresentados na Figura 103.

Quadro 17- Imagens da postura, no frame 00, analisadas na captura de movimento e na tarefa em ambiente virtual.

Postura da tarefa realizada	Imagem da postura analisada pela captura de Movimento	Imagem da postura da análise da tarefa em ambiente virtual com o uso do MHD
Simulador veicular - Posição inicial;		

Fonte: elaborado pela autora.

Figura 103 - Comparação dos parâmetros antropométricos dinâmicos (frame 00).



Fonte: elaborado pela autora.

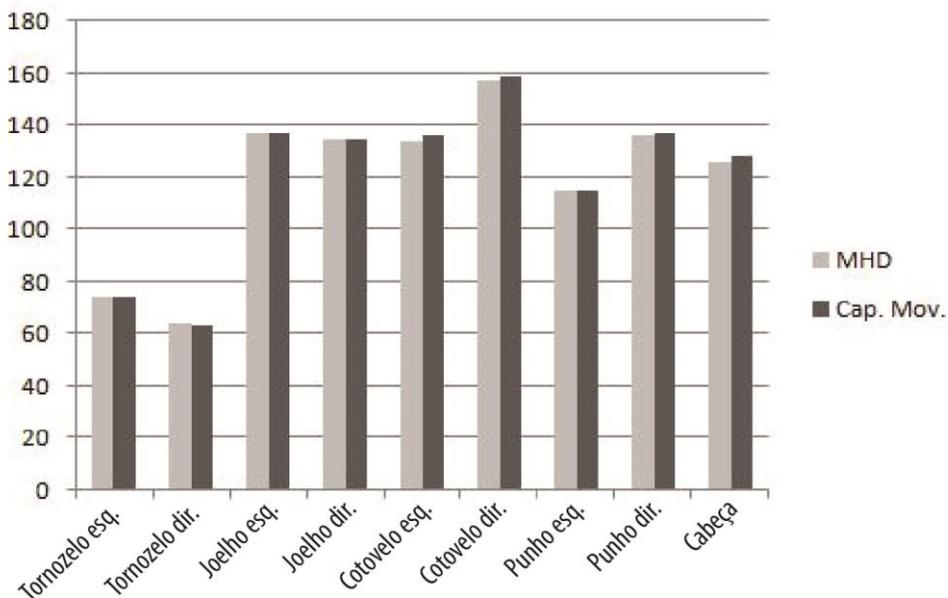
Conforme apresentado na Figura 103, as maiores diferenças nos valores angulares estavam nas variáveis do cotovelo esquerdo e do joelho esquerdo, com 3° e 2° respectivamente. Esta diferença pode ser observada pelas imagens na articulação do cotovelo em que no MHD estava com uma angulação menor que a da imagem da captura de movimento. As diferenças dos valores angulares das demais variáveis antropométricas são inferiores a 2°, o que demonstra alta compatibilidade de valores. No Quadro 18, são apresentadas as imagens referente a postura no frame 296, em que a participante estava com o braço direito sobre a perna e o braço esquerdo no volante.

Quadro 18 - Imagens da postura, no frame 296, analisadas na captura de movimento e na tarefa em ambiente virtual.

Postura da tarefa realizada	Imagem da postura analisada pela captura de Movimento	Imagem da postura da análise da tarefa em ambiente virtual com o uso do MHD
Simulador veicular - Alcance volante;		

Fonte: elaborado pela autora.

Figura 104 - Comparação dos parâmetros antropométricos dinâmicos (frame296).



Fonte: elaborado pela autora.

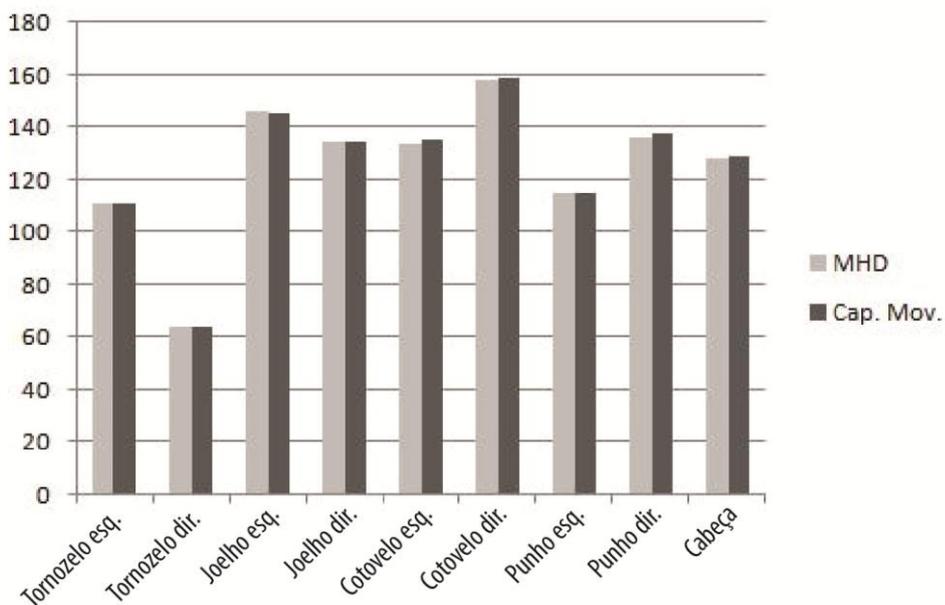
Segundo informado no gráfico de colunas na Figura 104, as variáveis antropométricas apresentavam grande compatibilidade nos valores angulares. As variáveis com maior diferença nos valores foram a cabeça e o cotovelo esquerdo, referente à articulação da cervical e do cotovelo esquerdo, respectivamente. Essas diferenças são de no máximo 2°. No Quadro 19, é apresentada a participante realizando a mudança de marcha, no frame 380. As comparações dos valores angulares são apresentadas na Figura 105. A variável que apresentou maior diferença angular foi o punho direito, com uma diferença de 3°.

Quadro 19 - Imagens da postura, no frame 380, analisadas na captura de movimento e na análise ergonômica virtual.

Postura da tarefa realizada	Imagem da postura analisada pela captura de Movimento	Imagem da postura da análise da tarefa em ambiente virtual com o uso do MHD
Simulador veicular - Mudando a marcha;		

Fonte: elaborado pela autora.

Figura 105 - Comparação dos parâmetros antropométricos dinâmicos (frame 380).



Fonte: elaborado pela autora.

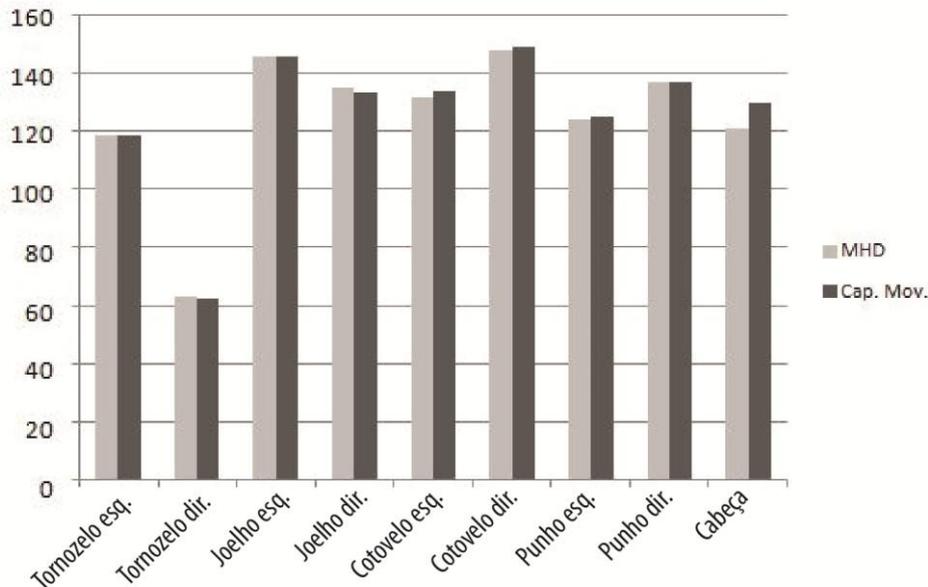
No quadro 20, são apresentadas as imagens da tarefa no frame 860. Foi observada a semelhança nas posturas tanto no membro inferior como superior. Há uma leve diferença na postura na região torácica e cervical. Estas observações foram confirmadas por meio da comparação dos valores das variáveis antropométricas analisadas, conforme apresentado na Figura 106. As maiores diferenças nos valores foram nas variáveis da cabeça, com 9º de diferença. As demais variáveis apresentaram uma variação menor que 2º.

Quadro 20 - Imagens da postura, no frame 860, analisadas na captura de movimento e na análise ergonômica virtual.

Postura da tarefa realizada	Imagem da postura analisada pela captura de Movimento	Imagem da postura da análise da tarefa em ambiente virtual com o uso do MHD
Simulador veicular - Alcance volate com duas mãos;		

Fonte: elaborado pela autora.

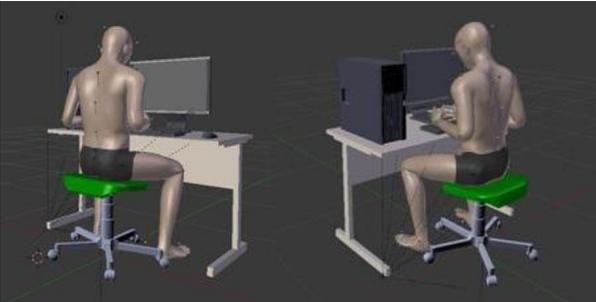
Figura 106- Comparação dos parâmetros antropométricos dinâmicos (frame 860).



Fonte: elaborado pela autora.

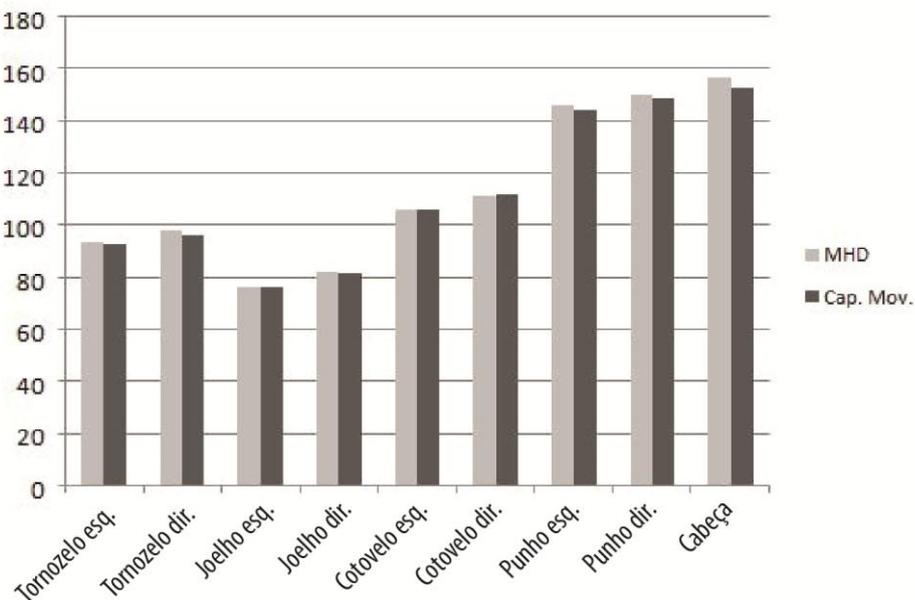
No Quadro 21, são apresentadas as imagens da tarefa no frame 00, com o participante masculino na estação de trabalho. As imagens apresentam grande semelhança nas posturas, confirmado pela comparação das variáveis antropométricas analisadas na Figura 107. Em todas as variáveis analisadas, a maior diferença de medida angular foi de aproximadamente 3°, na variável da cabeça. As demais apresentaram uma diferença inferior a 2°.

Quadro 21- Imagens da postura, no frame 00, analisadas na captura de movimento e na análise ergonômica virtual.

Postura da tarefa realizada	Imagem da postura analisada pela captura de Movimento	Imagem da postura da análise da tarefa em ambiente virtual com o uso do MHD
Estação de trabalho - Posição inicial;		

Fonte: elaborado pela autora.

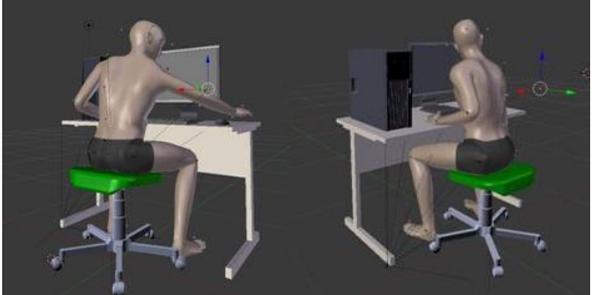
Figura 107 - Comparação dos parâmetros antropométricos dinâmicos referente a posição: Estação de trabalho; posição inicial.



Fonte: elaborado pela autora.

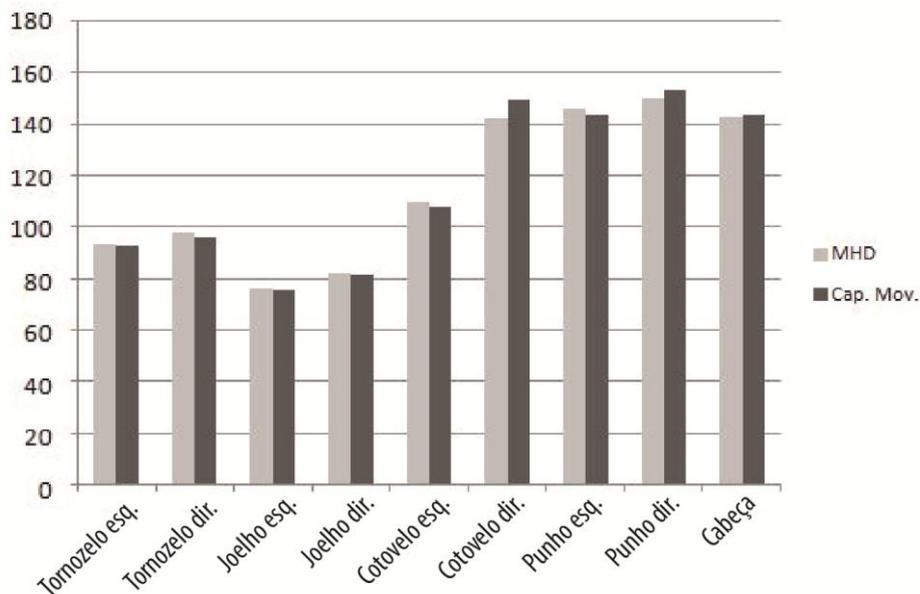
No Quadro 22, são apresentadas as imagens da postura conforme a tarefa no frame 572. Foi notada grande semelhança nas imagens das posturas em ambas as análises, física e virtual. O que foi reforçado pela comparação dos valores das variáveis antropométricas, em que a maior diferença estava na variável do cotovelo direito com uma variação de aproximadamente 7°. As demais variáveis antropométricas apresentaram grande compatibilidade de valor dimensional, com uma diferença inferior a 3°.

Quadro 22 - Imagens da postura, no frame 572, analisadas na captura de movimento e na análise ergonômica virtual.

Postura da tarefa realizada	Imagem da postura analisada pela captura de Movimento	Imagem da postura da análise da tarefa em ambiente virtual com o uso do MHD
Estação de trabalho - Alcance máximo braço direito, lateral;		

Fonte: elaborado pela autora.

Figura 108 - Comparação dos parâmetros antropométricos dinâmicos (frame 572).



Fonte: elaborado pela autora.

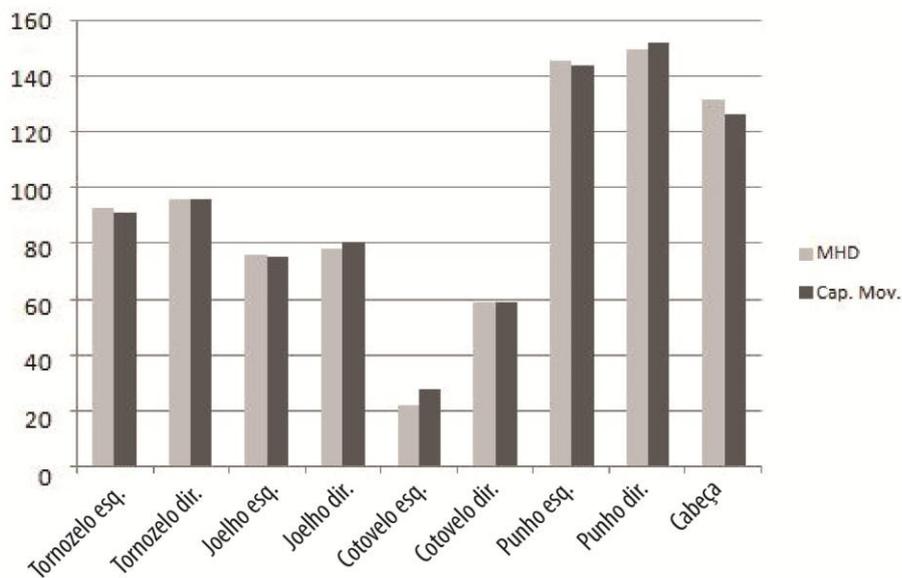
O Quadro 23 apresenta as imagens referentes à postura no frame 812, em que o participante realiza o alcance sobre a extremidade do tampo da mesa de trabalho com o braço esquerdo. Conforme apresentado nestas imagens, houve uma grande semelhança entre as duas posturas. Na Figura 109, são apresentados os valores das variáveis antropométricas e, o que indica pela comparação destes valores, uma diferença de 6° na variável do cotovelo esquerdo e 5° de variação na variável da cabeça. Nas demais, houve uma grande compatibilidade nos valores angulares com uma diferença inferior a 3°.

Quadro 23 - Imagens da postura, no frame 812, analisadas na captura de movimento e na análise ergonômica virtual.

Postura da tarefa realizada	Imagem da postura analisada pela captura de Movimento	Imagem da postura da análise da tarefa em ambiente virtual com o uso do MHD
Estação de trabalho - Alcance máximo braço esquerdo, lateral;		

Fonte: elaborado pela autora.

Figura 109 - Comparação dos parâmetros antropométricos dinâmicos referentes ao frame 812.



Fonte: elaborado pela autora.

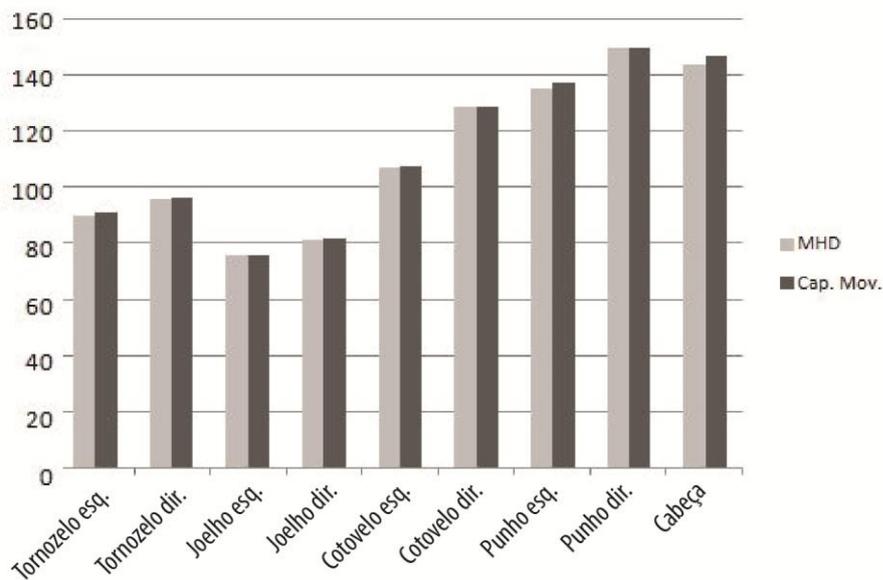
Conforme as imagens apresentadas no Quadro 24, referente ao frame 1252, são observadas a grande semelhança nas posturas do participante e do MHD. Esta afirmação foi verificada no gráfico da Figura 110, em que estas semelhanças foram visualizadas em relação aos valores das variáveis antropométricas analisadas. As maiores diferenças estavam nas variáveis de número do punho esquerdo e da cabeça, com uma variação de no máximo 3°. As demais obtiveram uma diferença inferior a 2°. Sendo que, nas variáveis do joelho esquerdo, cotovelo direito e punho direito, não houve diferenças significativas de valor.

Quadro 24 - Imagens da postura, no frame 1252, analisadas na captura de movimento e na análise ergonômica virtual.

Postura da tarefa realizada	Imagem da postura analisada pela captura de Movimento	Imagem da postura da análise da tarefa em ambiente virtual com o uso do MHD
Estação de trabalho - Alcance máximo braço direito, frente;		

Fonte: elaborado pela autora.

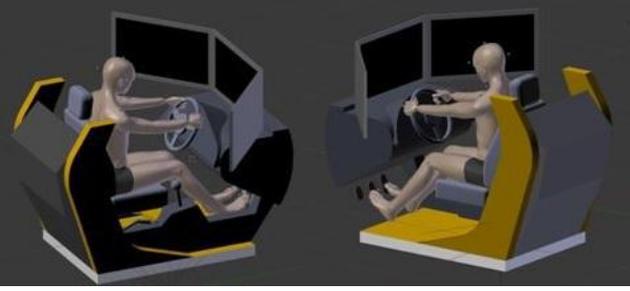
Figura 110 - Comparação dos parâmetros antropométricos dinâmicos referente a posição no frame 1252.



Fonte: elaborado pela autora.

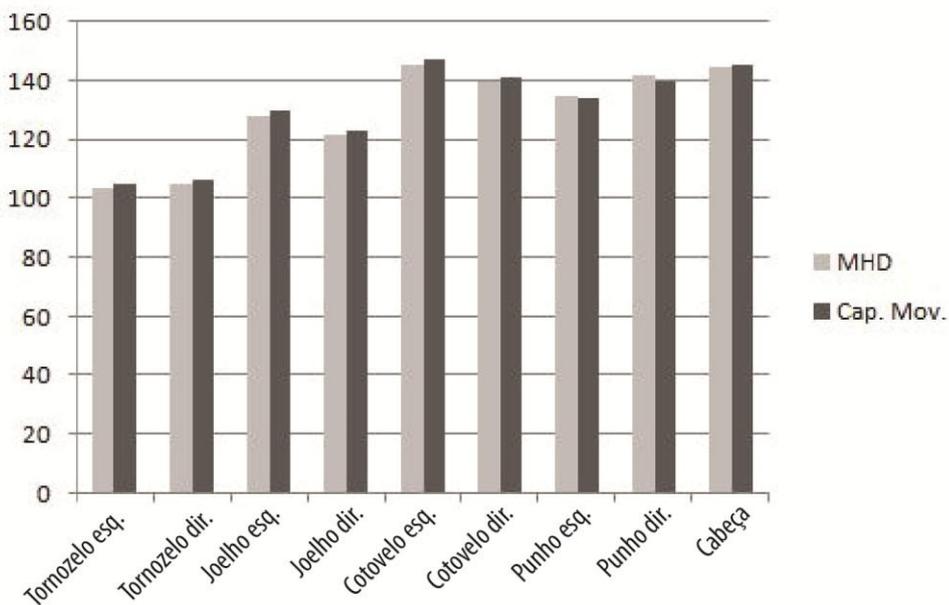
O Quadro 25 é referente à tarefa realizada pelo participante masculino no simulador veicular. A posição está no frame 00, posição inicial em que o participante sentou no banco, ajustou a distância do assento em relação aos pedais e alcançou o volante. O mesmo foi repetido com o MHD, e este foi colocado na mesma posição da postura analisada. A semelhança entre as posições pode ser conferida no Quadro 25 e a comparação dos valores dos parâmetros antropométricos é apresentada na Figura 111.

Quadro 25 - Imagens da postura, no frame 00, analisadas na captura de movimento e na análise ergonômica virtual.

Postura da tarefa realizada	Imagem da postura analisada pela captura de Movimento	Imagem da postura da análise da tarefa em ambiente virtual com o uso do MHD
Simulador veicular - Posição inicial		

Fonte: elaborado pela autora.

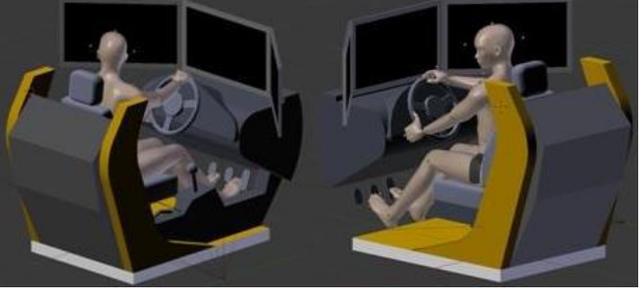
Figura 111 - Comparação dos parâmetros antropométricos dinâmicos referente a posição no frame 00.



Fonte: elaborado pela autora.

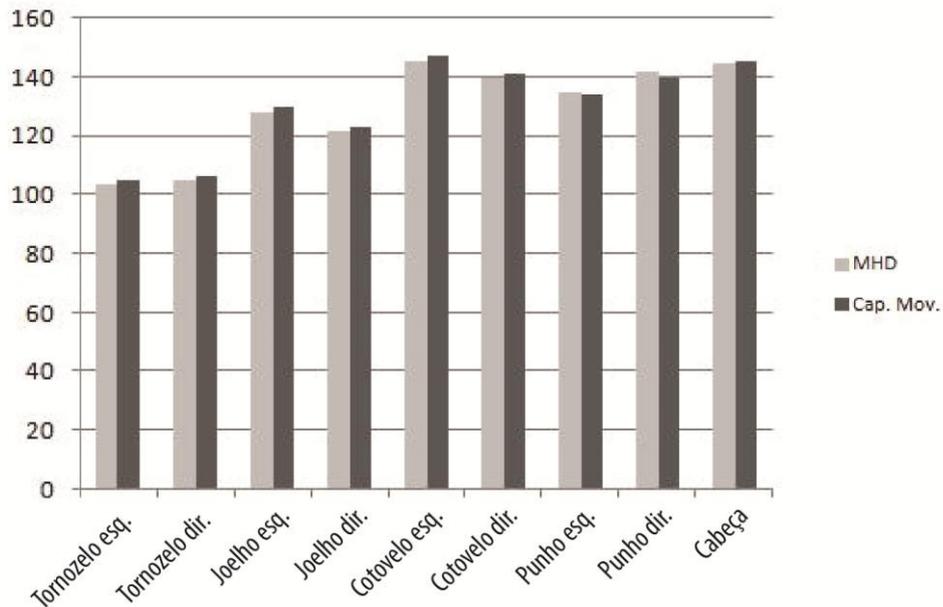
Conforme os resultados da análise na Figura 111, a maior diferença nos valores de medida estava na variável antropométrica do cotovelo esquerdo, com uma diferença de 3° entre as duas análises. A variável antropométrica do joelho direito obteve uma diferença de 2°. As demais variáveis antropométricas obtiveram uma diferença muito pequena nos valores de medidas, com uma variação de no máximo 2°.

Quadro 26 - Imagens da postura, no frame 372, analisadas na captura de movimento e na análise ergonômica virtual.

Postura da tarefa realizada	Imagem da postura analisada pela captura de Movimento	Imagem da postura da análise da tarefa em ambiente virtual com o uso do MHD
Simulador veicular - alcance volante, movimento direção, esquerdo;		

Fonte: elaborado pela autora.

Figura 112 - Comparação dos parâmetros antropométricos dinâmicos referente a posição no frame 372.



Fonte: elaborado pela autora.

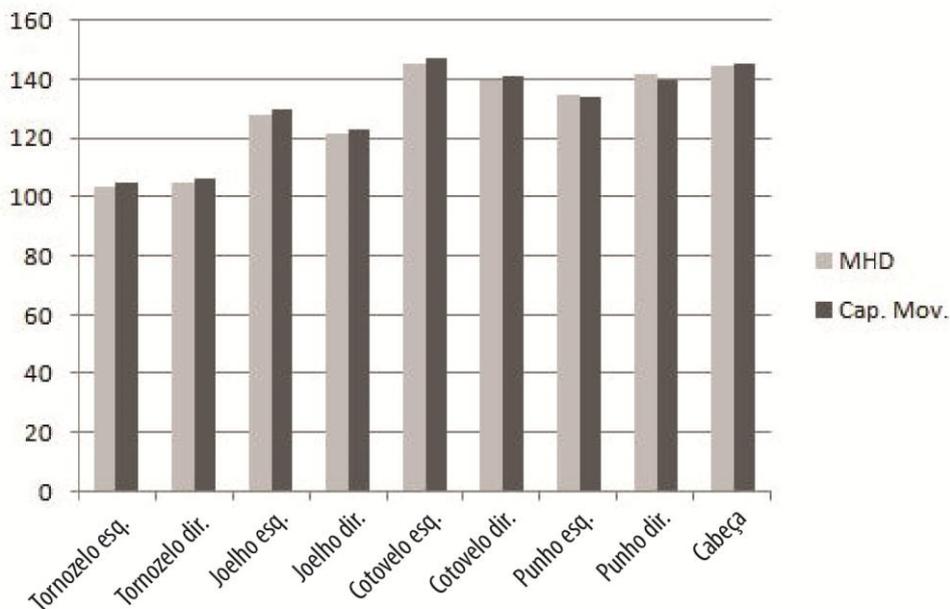
No Quadro 26, são apresentadas as imagens referentes ao frame 372, em que o participante girou o volante para o lado esquerdo. Esta postura obteve os valores de medidas bem semelhantes, o que foi confirmado na Figura 112, onde foram apresentadas as comparações dos valores em cada variável antropométrica. A maior diferença estava na variável do joelho esquerdo com uma pequena diferença de 4°, o restante apresentou uma diferença inferior a 2°.

Quadro 27 - Imagens da postura, no frame 676, analisadas na captura de movimento e na análise ergonômica virtual.

Postura da tarefa realizada	Imagem da postura analisada pela captura de Movimento	Imagem da postura da análise da tarefa em ambiente virtual com o uso do MHD
Simulador veicular - alcance volante, movimento direito		

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 113 - Comparação dos parâmetros antropométricos dinâmicos referentes à posição mo frame 676.

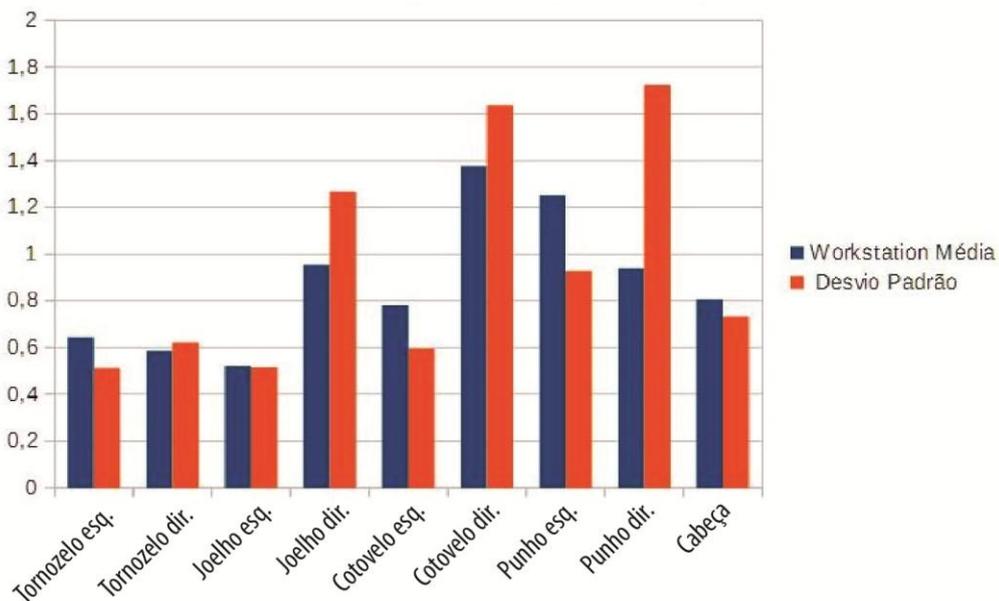


Fonte: elaborado pela autora.

A última postura analisada se refere ao movimento de girar o volante para o lado direito. No Quadro 27, são apresentadas as imagens da postura no frame 676, em que foi observada a semelhança na postura entre o participante (Captura de movimento) e o MHD. Os valores que justificam a semelhança pela observação das imagens são descritos na Figura 113. Houve uma grande compatibilidade nos valores das variáveis antropométricas em ambas as análises. A maior diferença apresentada estava na variável do punho esquerdo, seguido da variável da cabeça e do punho direito. Respectivamente, os valores aproximados de diferença são: 7°, 6° e 4°. As demais variáveis antropométricas apresentaram uma diferença inferior a 3°.

Para avaliar estas diferenças, foi realizada a média do erro relativo dos valores angulares obtidos entre as variáveis antropométricas nas nove posições analisadas na estação de trabalho bem como o desvio padrão do erro absoluto destas variáveis (Fig. 114).

Figura 114 - Média das variáveis antropométricas analisadas entre o MHD masculino e o MHD feminino na estação de trabalho.



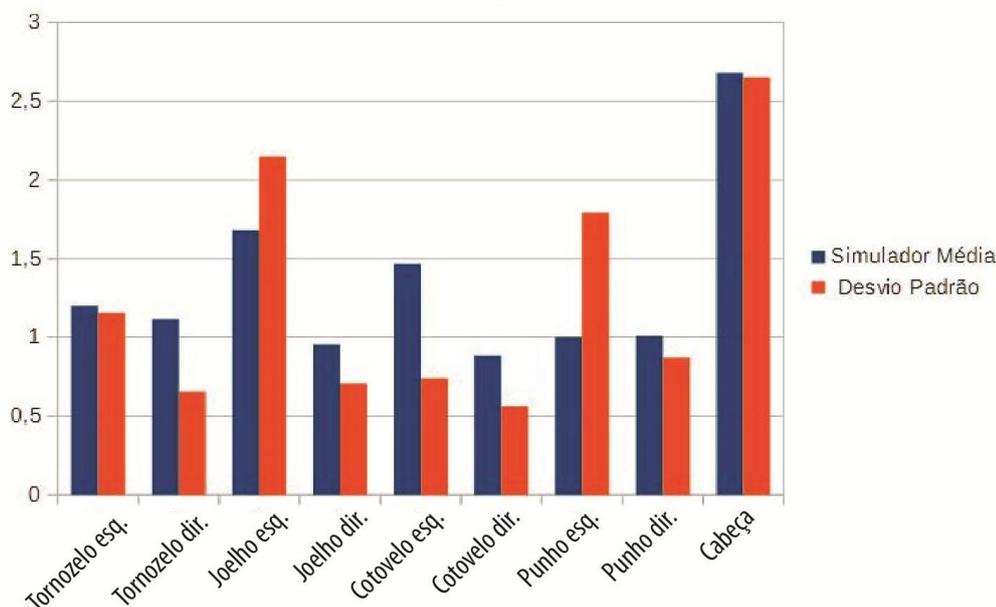
Fonte: elaborado pela autora.

Conforme a análise destes dados, foi verificado que houve uma grande compatibilidade dos valores analisados, com uma diferença inferior a 2%. A variável antropométrica que obteve uma maior diferença na média do erro absoluto foi a do cotovelo direito, com uma diferença de 1,37% e a do punho esquerdo, com uma

diferença de 1,25%. Os maiores valores dos desvios médios do erro relativo foram apresentados nas variáveis antropométricas do punho direito (1,72%) e do cotovelo direito (1,63%). Estes valores significam que os parâmetros analisados do MHD são bastante confiáveis porque são bem semelhantes aos valores de referência (captura de movimento).

Para os valores obtidos nas posturas analisadas do simulador veicular (Fig. 115), a média e desvio padrão do erro relativo das variáveis antropométricas apresentaram uma diferença inferior a 3%. Estes resultados demonstram a confiabilidade dos parâmetros antropométricos obtidos por meio do MHD em razão da baixa variação entre os valores das variáveis antropométricas pelos sistemas de captura de movimento e pelo MHD. Os resultados das médias e do desvio padrão das variáveis antropométricas nas posições analisadas estão no Apêndice I da presente pesquisa.

Figura 115 - Média das variáveis antropométricas analisadas entre o MHD masculino e o MHD feminino no simulador veicular.



Fonte: elaborado pela autora.

As pequenas diferenças obtidas entre os valores das variáveis antropométricas se devem, provavelmente, por causa das diferenças entre as posturas do MHD e da captura de movimento. As posturas do MHD foram simuladas conforme as posturas da captura de movimento por meio da observação. Portanto, estes fatores podem ter

influenciado nas diferenças verificadas em alguns ângulos nas articulações bem como as diferenças dimensionais que podem ter ocorrido entre os modelos físicos e os modelos virtuais.

Em diversas vezes foi verificado uma grande compatibilidade nos valores, com uma diferença inferior a 2º entre o MHD e a captura de movimento, principalmente, nas tarefas na estação de trabalho, indicando que os parâmetros antropométricos obtidos pelo MHD possam ser utilizados para análise ergonômica virtual.

Os resultados das análises de comparação das variáveis antropométricas entre os sistemas foram bastante aceitáveis e confiáveis. Considerando que pode haver uma margem de erro em relação às diferenças de medidas no produto físico construído e no produto 3D modelado. Além da verificação da compatibilidade dos valores das variáveis antropométricas analisadas, foram conferidas as questões da funcionalidade do MHD em que englobam as análises do uso, da customização das variáveis e a análise dos movimentos ao realizar a tarefa desejada. Estas questões foram conferidas e os resultados se demonstraram confiáveis. Não foram encontradas dificuldades para customização das variáveis, em que todas as modificações foram realizadas e os movimentos foram efetuados conforme o programado. Algumas questões no MHD feminino, como a deformação na região do abdômen causada pelo movimento de sentar e da musculatura na região do ombro nos lados esquerdo e direito, foram contornadas para as realizações das análises ergonômicas na etapa de verificação.

5 ETAPA DE VERIFICAÇÃO

Neste capítulo, são descritos o processo de análise ergonômica virtual, em que é utilizado o MHD desenvolvido na presente pesquisa e são obtidos os parâmetros antropométricos dinâmicos e os parâmetros de projeto para o PDP. São realizadas as análises ergonômicas em ambiente virtual da estação de trabalho e do simulador veicular de autoescola. As mesmas análises são efetuadas pelos participantes da pesquisa, utilizando os produtos existentes em seus ambientes físicos. O objetivo desta etapa é descrever o processo de análise ergonômica virtual proposto na presente pesquisa, a análise dos dados e a aplicação do MHD e de suas funcionalidades.

5.1 Análise ergonômica virtual da estação de trabalho (MHD feminino)

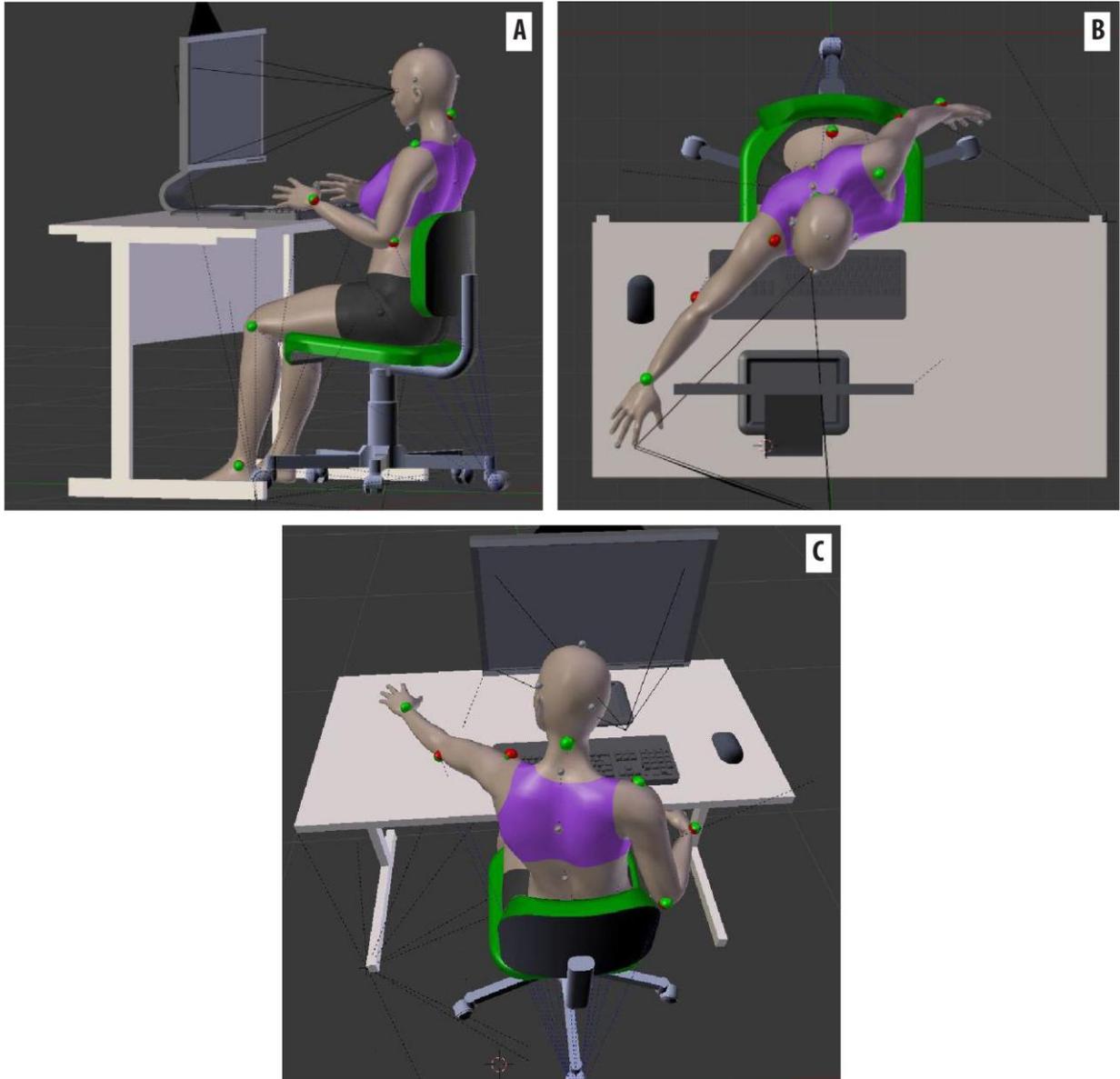
A partir da definição dos produtos analisados, estação de trabalho e simulador veicular, e da modelagem destes para ambiente virtual, os mesmos foram avaliados a partir da tarefa prescrita. Foram observadas as posturas em relação à tarefa exercida e o dimensionamento do produto, em que os ângulos articulares do corpo devem permanecer na zona determinada como de conforto e dentro do envoltório de alcance do usuário. Segundo as etapas da análise ergonômica do produto, os usuários realizaram as tarefas e, conforme a atividade (como a tarefa está sendo executada), foi possível verificar se o dimensionamento do produto estava adequado ao usuário. Os parâmetros utilizados como referência para as zonas de conforto articular foram obtidos na base teórica da presente pesquisa e conferidos no MHD.

O MHD desenvolvido na presente pesquisa além de possibilitar a obtenção dos valores dos parâmetros antropométricos estáticos e dinâmicos, tem a função de identificar, por meio de cores, as zonas de conforto articular e as zonas de alcances máximos e mínimos. Desta forma, foi realizado o diagnóstico da análise ergonômica, em que se avalia o dimensionamento do produto em relação aos parâmetros antropométricos dinâmicos. Os ajustes foram realizados na etapa definida como recomendações ergonômicas, na qual foram aplicados os parâmetros de projeto conforme o dimensionamento correto do produto.

Foram realizadas as análises na estação de trabalho com o MHD representando o participante feminino, o qual realizou a função de sentar na cadeira,

ajustar a altura do assento da cadeira, escrever no teclado, ligar e desligar o CPU, observar a tela do monitor e realizar movimentos de alcance nas extremidades do tampo da mesa de trabalho (Fig. 116). Foram verificados os ajustes da cadeira, a altura da mesa, os alcances das mãos e dos pés, o apoio da lombar no encosto da cadeira bem como os ângulos formados nas articulações do tornozelo, do joelho, da lombar, do cotovelo, do punho, do ombro e da cervical (C1).

Figura 116 - Análise ergonômica virtual da estação de trabalho (MHD feminino).



Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 116A apresenta o MHD utilizando a estação de trabalho o qual está escrevendo no teclado. O MHD foi colocado na cadeira na posição sentado com a

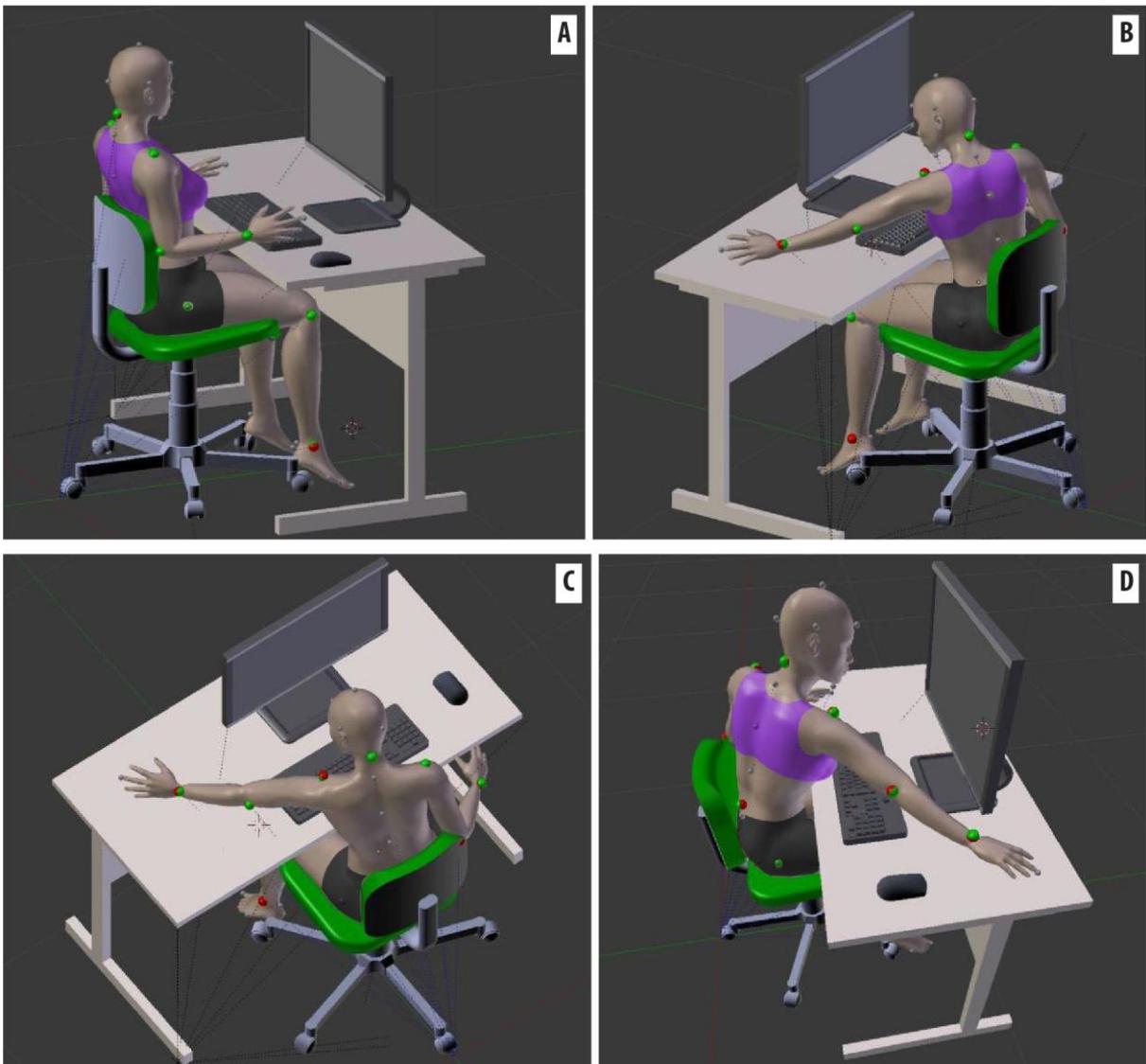
lombar apoiada no encosto da cadeira e os pés apoiados no chão. Foram observadas as posturas para realização da tarefa e a identificação do conforto por meio das cores nos *landmarks*. Portanto, os membros inferiores como as articulações do tornozelo, do joelho e do quadril estão em uma posição de conforto, o que pode ser observado pela cor em verde dos *landmarks* nestas articulações. Entretanto, devido à mesa de trabalho não ter ajuste de altura, o tampo da mesa tornou-se muito elevado em relação à altura do assento da cadeira e, desta forma, os membros superiores do usuário estavam em uma posição de desconforto, o que pode ser observado pelas cores em vermelho nos *landmarks* nas articulações do cotovelo e do punho.

Segundo Tilley e Dreyfuss (2005), para uma estação de trabalho em que o usuário está na posição sentado, os ângulos de conforto são: em torno de 95° a 110° para a articulação do tornozelo, 95° a 120° nas articulações do quadril e do joelho; e os pés devem estar completamente apoiados no chão ou sobre um apoio, desde que o quadril e a perna se mantenham na postura adequada. Segundo Gomes Filho (2010), é necessário atentar ao desenvolver um assento, para que este não comprima os vasos sanguíneos do usuário devido a má postura em relação ao ajuste incorreto do mesmo, e que o usuário não se posicione em uma postura com as articulações do joelho e da lombar em uma angulação igual ou menor que 90°, o que pode acarretar em prejuízos na saúde física do usuário.

Na Figura 116A, foi observada a relação da altura dos olhos ao monitor para avaliar o ângulo de visão e, assim, o conforto na região da cervical (C1). Segundo Tilley e Dreyfuss (2005), o ângulo sobre a articulação da cervical na região C1 (movimento de flexão do pescoço) na posição sentado, em relação à função de ler sobre a tela do monitor, deverá estar entre 0° e 15° para baixo, para uma postura de conforto. Para a presente pesquisa, esta angulação foi observada e verificada no MHD e, por meio da identificação da cor verde do *landmark* na cervical C1, foi indicado que a postura do MHD estava dentro da zona de conforto. Na Figura 116B e 116C, são apresentadas as imagens dos alcances do MHD do lado direito e do lado esquerdo. Foi notado que o MHD tem dificuldades para realização dos alcances nas extremidades do tampo e as articulações mais prejudicadas estavam no ombro, no cotovelo e na lombar, conforme a indicação em vermelho nos *landmarks*. Nesta

postura, em que a cadeira foi ajustada para o conforto dos membros inferiores, com os pés apoiados sobre o chão, foi gerado desconforto nos membros superiores devido a má postura sobre as articulações bem como o esforço exercido para que se consiga alcançar as extremidades do tampo da mesa. Segundo Panero e Zelnik (2002), o teclado deve estar próximo ou na mesma altura dos cotovelos, para que a articulação do cotovelo não se posicione em uma angulação menor que 90° . Para solucionar estas questões, foi modificada a altura da cadeira para que se consiga ajustar os membros superiores para uma posição de conforto (Fig. 117).

Figura 117 - Análise ergonômica virtual da estação de trabalho.

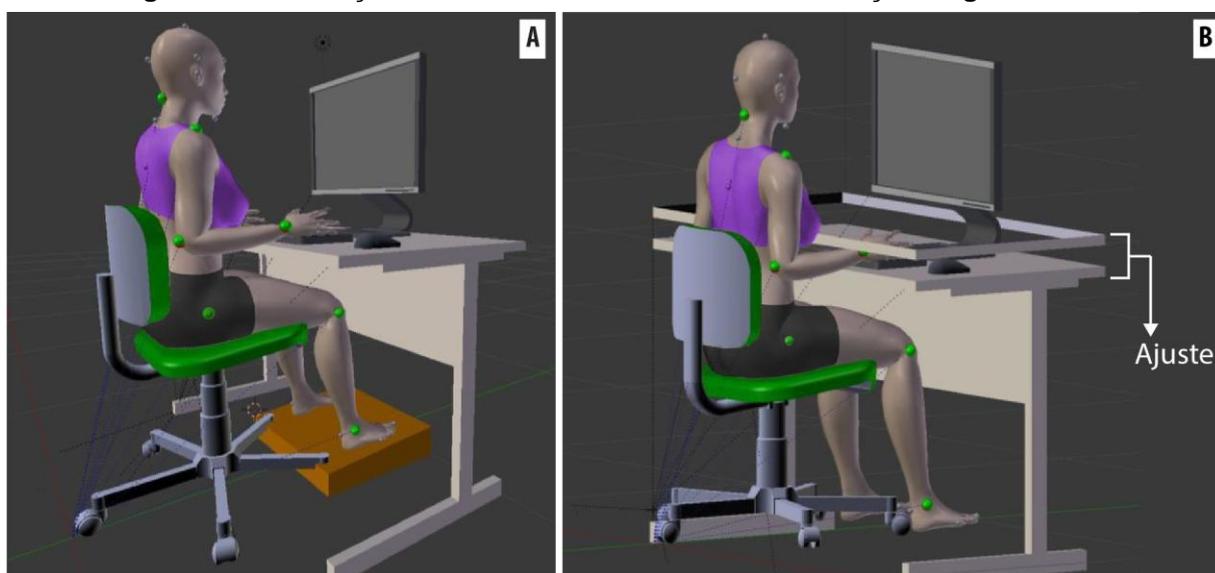


Fonte: Elaborado pela autora.

Entretanto, ao solucionar as questões de conforto e alcance das posturas referentes às apresentadas na Figura 117, os pés ficaram sem apoio, o que além de

causar estrangulamento dos vasos capilares da região posterior da perna e, conseqüentemente, fadiga da musculatura, gerou desconforto na articulação do tornozelo, podendo ser observado pela indicação em vermelho pelo *landmark*. Na região lombar, conforme indicado pela cor do *landmark*, metade em verde e metade em vermelho, a torção realizada pelo movimento para alcançar a extremidade do tampo indicou que a postura estava no limite entre o conforto e o desconforto. Para solucionar o desconforto nos membros superiores do usuário, foi acrescentado um elemento de apoio para os pés (Fig. 118A) e sistema de ajuste na altura do tampo da mesa de trabalho (Fig. 118B).

Figura 118 - Alterações realizadas conforme as recomendações ergonômicas.



Fonte: Elaborado pela autora.

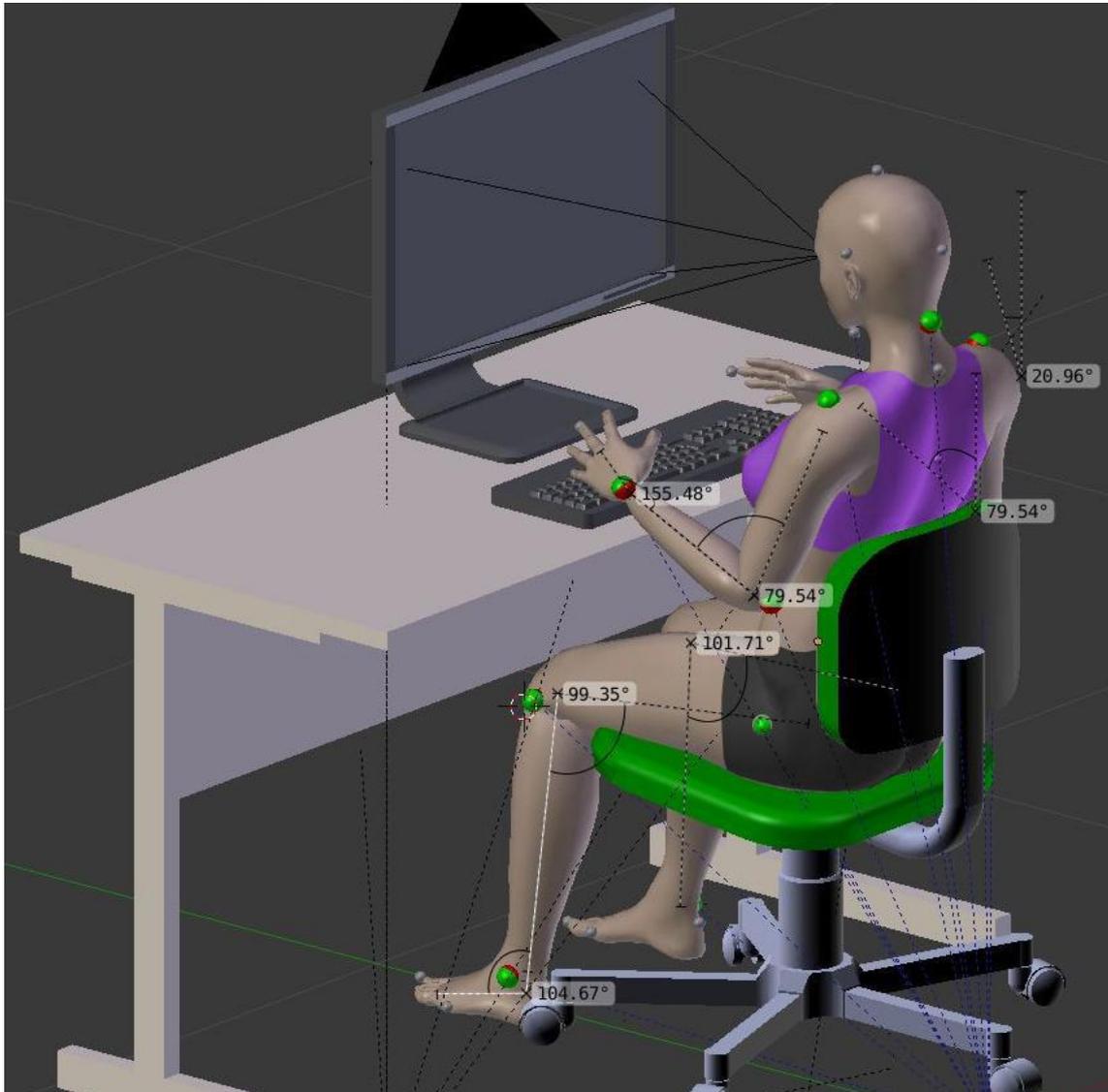
Os parâmetros antropométricos dinâmicos são obtidos e descritos no item 5.1.2 bem como os parâmetros de projeto para o PDP.

5.1.2 Parâmetros antropométricos dinâmicos referentes à análise ergonômica virtual da estação de trabalho (MHD feminino)

Neste item, são descritas as variáveis antropométricas e os valores obtidos durante a análise da tarefa (parâmetros antropométricos dinâmicos) e os valores de referência da base teórica. Para as variáveis referentes à articulação do tornozelo, do joelho, do quadril, do ombro, do cotovelo, do punho e da flexão do pescoço, foram utilizados os valores propostos por Tilley e Dreyfuss (2005). As medições

foram efetuadas em relação às articulações e os ossos ou com um dos planos de referência (KAPANDJI, 2008). A Figura 119 apresenta os parâmetros antropométricos dinâmicos em relação a postura da Figura 116.

Figura 119 - Medições dos ângulos em relação à postura apresentada na Figura 116.

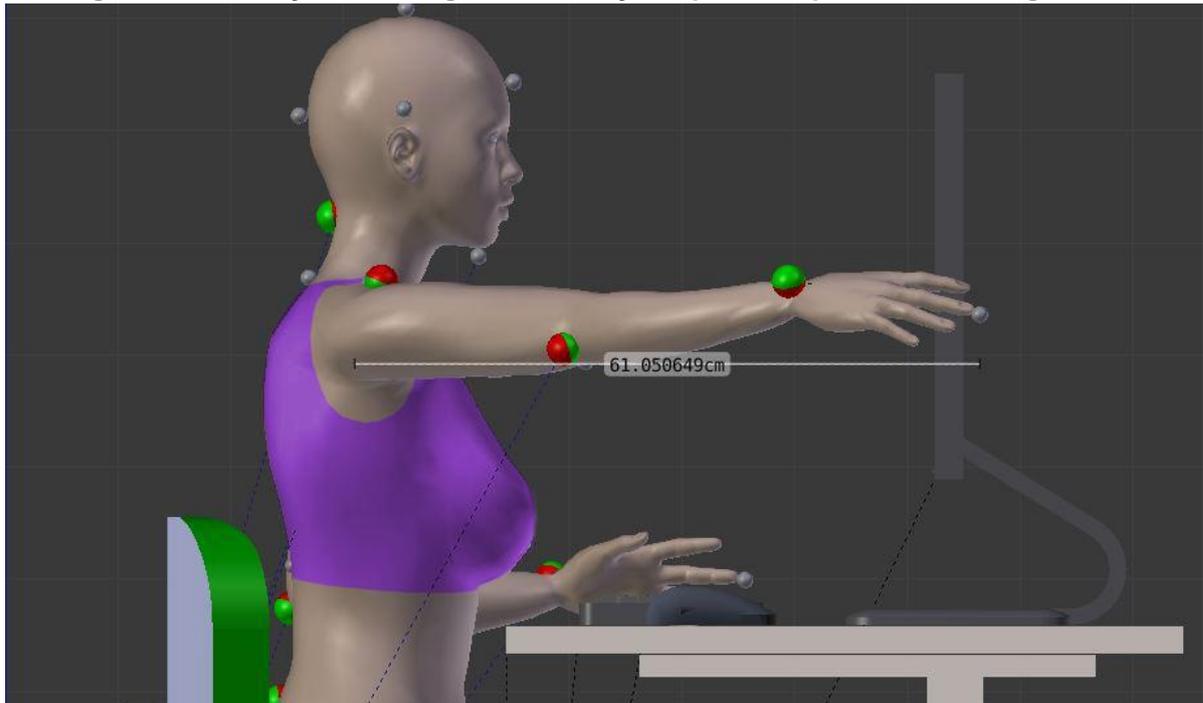


Fonte: Elaborado pela autora.

Para a medição do ângulo formado pela flexão do pescoço, foi considerado o ponto inicial (uma reta perpendicular ao plano Horizontal sobre a articulação na cervical-C1) e o ângulo formado pela amplitude do movimento (TILLEY; DREYFUSS, 2005). Para as medições dos alcances dos braços, foi considerado o ponto de partida (inicial), no plano Sagital sobre a articulação da lombar, e o ponto final do alcance considerando o ponto na extremidade do dedo médio (KROEMER;

GRANDJEAN, 2005). Este alcance considera que o usuário não ultrapasse o limite da amplitude do movimento da articulação do ombro e da lombar, conforme as Figuras 120 e 121. Desta forma, foi possível verificar o alcance dentro da zona de conforto (comprimento do braço – Fig. 120) e o alcance máximo dentro da zona de conforto (comprimento do braço mais o deslocamento do movimento do braço e do tronco – Fig. 121).

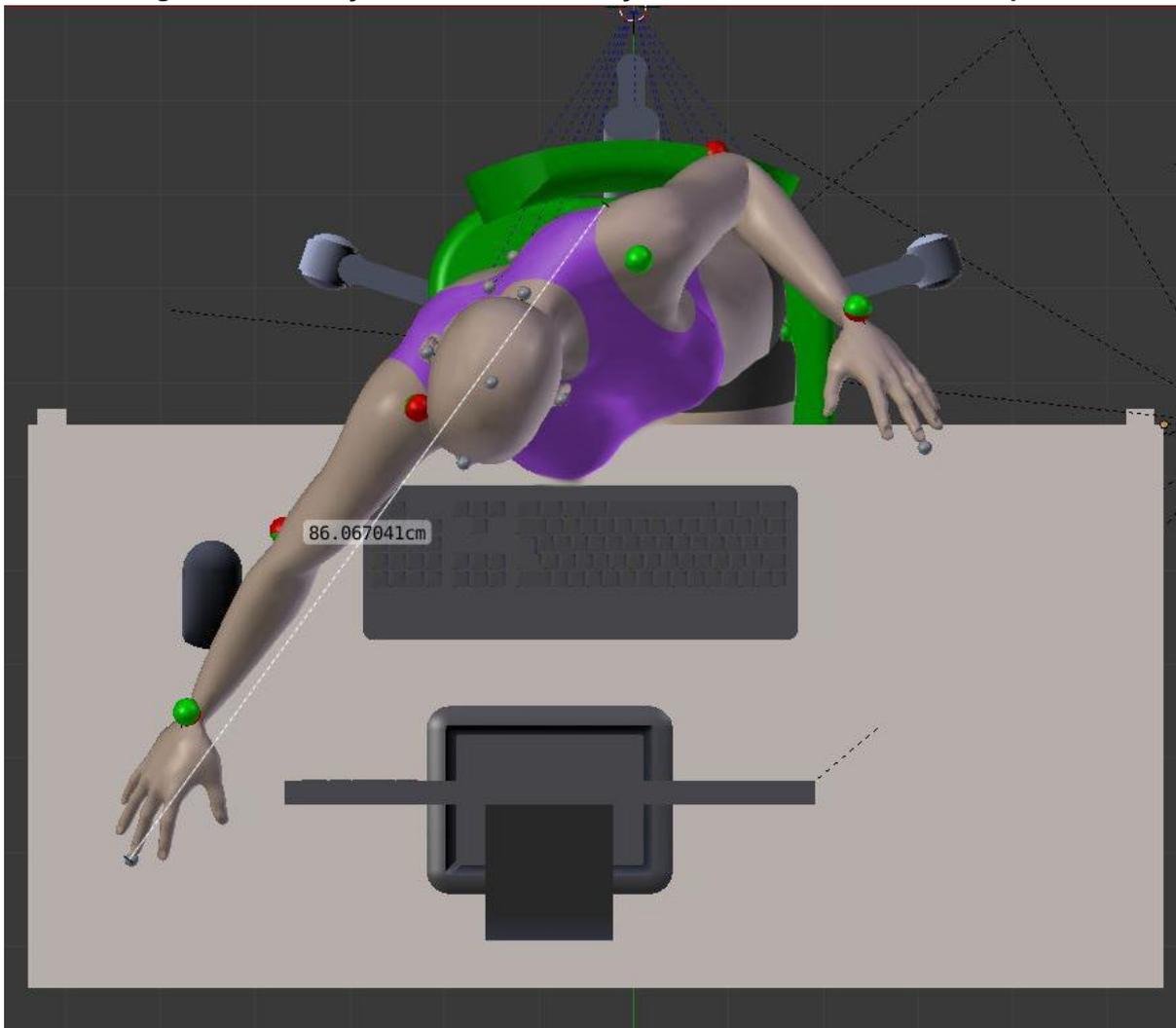
Figura 120 - medições dos ângulos em relação à postura apresentada na Figura 122.



Fonte: Elaborado pela autora.

Na Figura 120, é apresentada a imagem da medição dos alcances do braço direito com a cadeira ajustada para o conforto dos membros inferiores (36 cm de altura do assento ao chão), porém sem o ajuste da altura da mesa. Foi demonstrado o alcance dentro da zona de conforto (comprimento do braço), obtendo o valor de 61,05 cm e, na Figura 121, o alcance máximo dentro da zona de conforto (comprimento do braço mais o deslocamento do movimento do braço e do tronco), no valor de 86,06 cm.

Figura 121 - Medição do alcance do braço mais o deslocamento do corpo.



Fonte: Elaborado pela autora.

Foi observado que quando se estende o braço, as articulações do cotovelo e do ombro estão na cor vermelha, indicando possível desconforto. Isso é devido ao movimento estar no limite da ADM e, se esse movimento se tornar repetitivo, segundo Lida (2005) pode causar fadiga e dor muscular nesta região. É importante observar que o MHD desenvolvido na presente pesquisa realiza tanto o movimento de alcance do braço, sem movimentar resto do corpo, quanto o movimento do alcance do braço com o movimento da cintura escapular e da coluna vertebral. Este deslocamento foi possível devido à inserção dos movimentos conforme recomendado por Thompson e Floyd (2002).

Conforme os resultados dos valores das variáveis antropométricas, relacionados a tarefa na Figura 119, 120 e 121, estes são descritos no Quadro 28.

Quadro 28- Coleta dos parâmetros antropométricos dinâmicos referentes à Figura 136.

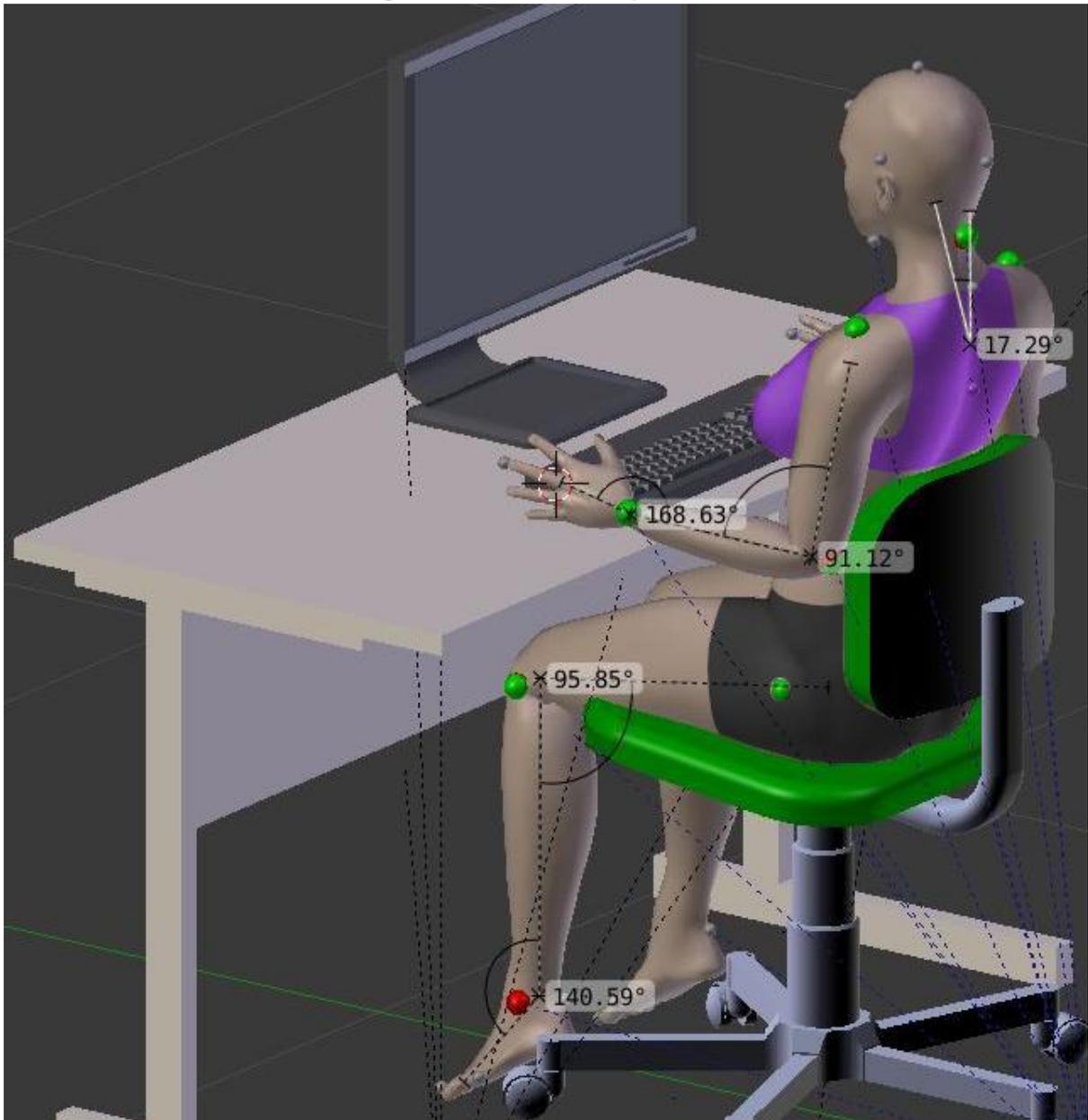
Estação de trabalho (MHD referente ao participante feminino)	Variáveis antropométricas	Valores Medidos (Tarefa realizada)	Valores de Referência Tilley e Dreyfuss (2005)
	Articulação do tornozelo	104,67°	95° a 110°
	Articulação do joelho	99,35°	95° a 120°
	Articulação do quadril (ângulo entre o tronco e o fêmur)	105,04°	95° a 120°
	Articulação do punho	155,48°	170° a 190°
	Articulação do cotovelo	79,54°	90° a 110°
	Articulação da cervical (C1) - Flexão do pescoço	20,96°	0° a 15°
	Alcance máximo dos braços (sem deslocamento do tronco)	61,05 cm	—
Alcance máximo dos braços (com deslocamento do tronco)	86,06 cm	—	

Fonte: Elaborado pela autora.

Foi identificado que as articulações dos membros inferiores como as articulações do tornozelo, joelho e quadril, estão dentro da zona considerada como de conforto, nos valores de 104,67°, 99,35° e 105,04°, respectivamente. Entretanto, as articulações do cotovelo e do punho estão fora da zona de conforto articular, segundo as medidas obtidas de 79,54° e 155,48°, respectivamente. A medida do ângulo da articulação da cervical em que realiza o movimento de flexão do pescoço é de 20,96°, o que significa que está em desconforto nesta região. Segundo Tilley e Dreyfuss (2005), a zona de conforto articular para a região da cervical é de 0 a 15°.

Após primeira análise ergonômica, em que os pés estão apoiados no chão e foi verificado desconforto nos membros superiores do MHD, foram realizadas novas análises para solucionar estas questões de desconforto (Fig. 122). Os valores relacionados à análise ergonômica da Figura 122 são descritos no Quadro 29. Os valores angulares da articulação do ombro, cotovelo e punho, estavam dentro da zona de conforto, para uma altura do assento da cadeira em 56 cm do chão. Entretanto, a articulação do tornozelo estava fora da zona de conforto articular e apenas os dedos dos pés alcançavam o chão (Fig. 122).

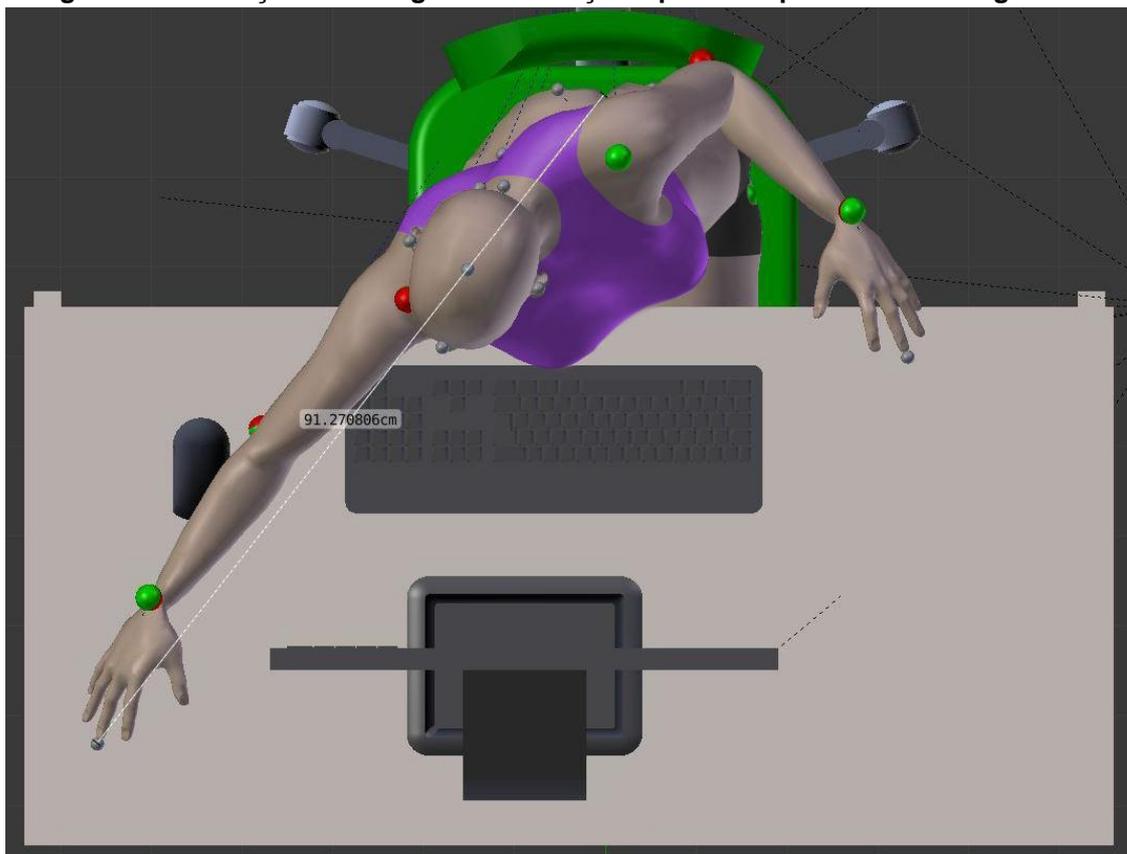
Figura 122 – Parâmetros antropométricos dinâmicos em relação à posição de conforto para a região dos membros superiores.



Fonte: Elaborado pela autora.

As articulações do quadril e do joelho estavam dentro da zona de conforto e a articulação na cervical indicava um pequeno desconforto. O que pôde ser visualizado pela identificação das cores nos *landmarks* e certificado pelos valores obtidos no processo de medição. Na Figura 123, são apresentadas as medições dos alcances do braço para essa postura com a altura do assento da cadeira em 56 cm do chão.

Figura 123 - Medições dos ângulos em relação à postura apresentada na Figura 117.



Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 29- Coleta dos parâmetros antropométricos dinâmicos referentes à Figura 122 e 123.

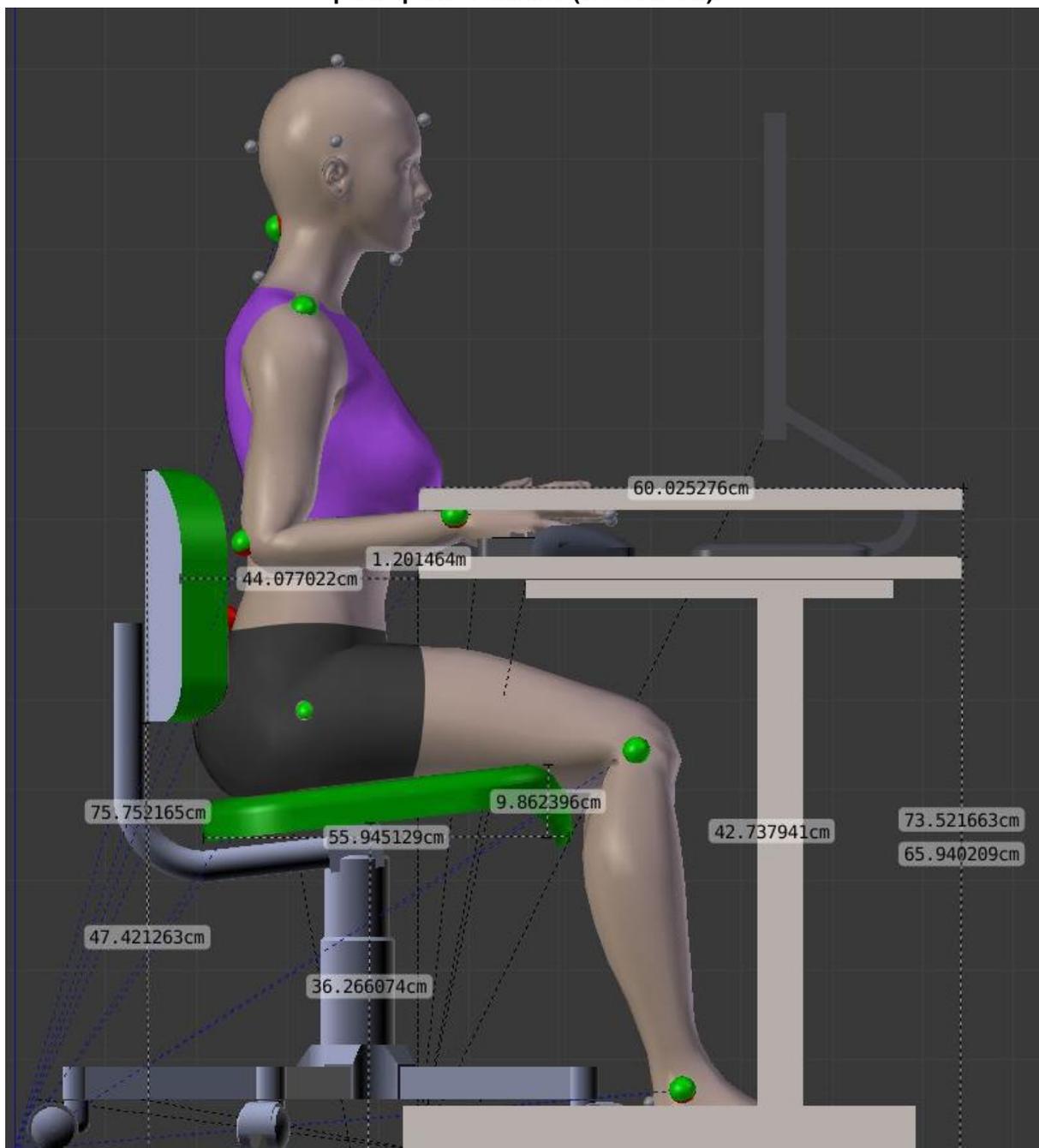
	Variáveis antropométricas	Valores (tarefa realizada)	Valores de referência Tilley e Dreyfuss (2005)
Estação de trabalho (MHD referente ao participante feminino)	Articulação do tornozelo	140,59°	95° a 110°
	Articulação do joelho	95,85°	95° a 120°
	Articulação do quadril (ângulo entre o tronco e o fêmur)	109°	95° a 120°
	Articulação do punho	168,63°	170° a 190°
	Articulação do cotovelo	91,12°	90° a 110°
	Articulação da cervical (C1) - Flexão do pescoço	17,29°	15° a 25°
	Alcance máximo dos braços (sem deslocamento do tronco)	61,05 cm	—
	Alcance máximo dos braços (com deslocamento do tronco)	91,27 cm	—

Fonte: Elaborado pela autora.

Segundo as informações obtidas e descritas no Quadro 28 e no Quadro 29 foram identificadas as questões de ajustes do dimensionamento do produto em

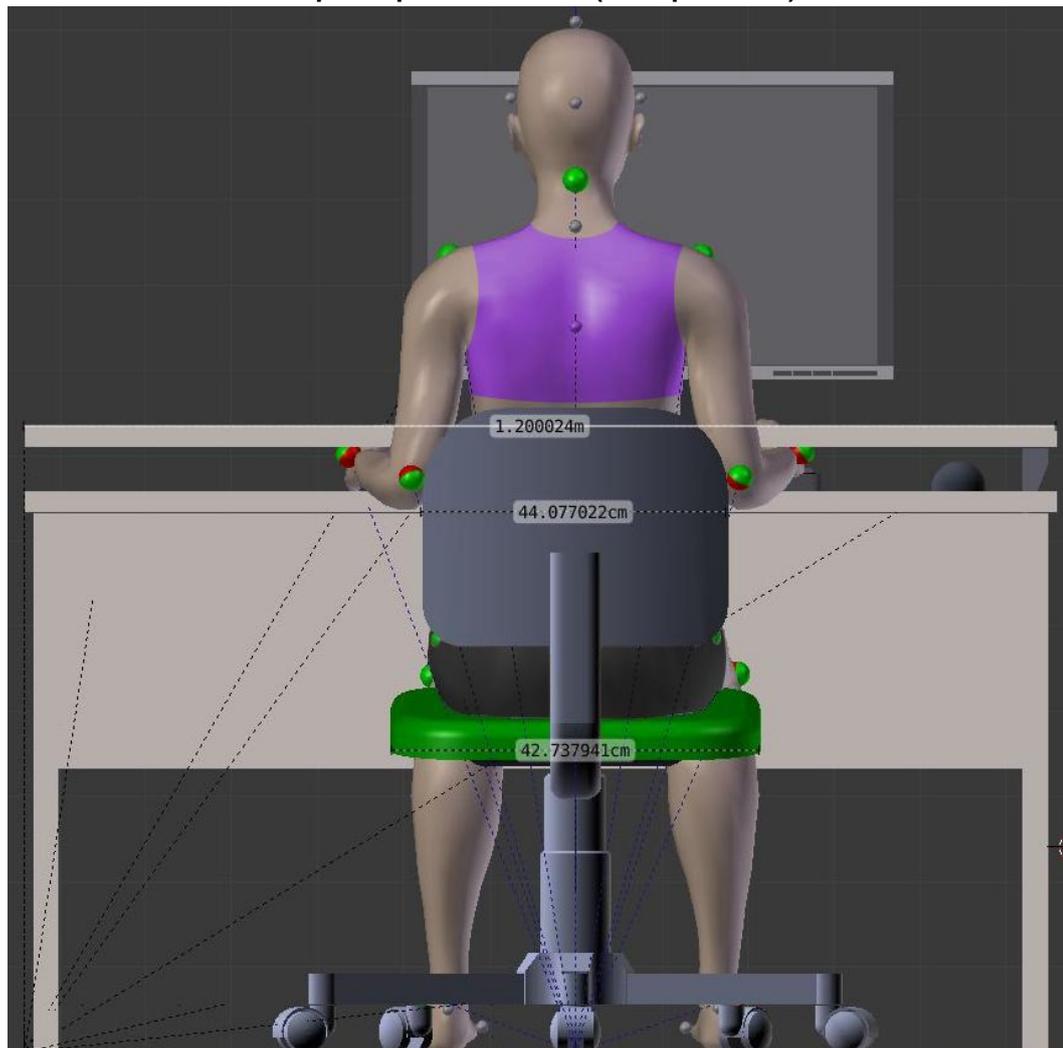
relação as medidas do usuário. Estas questões foram resolvidas conforme apresentado na Figura 124 (vista lateral) e na Figura 125 (vista posterior) e os parâmetros de projeto são descritos no Quadro 30.

Figura 124- Variáveis antropométricas e o valor do dimensionamento do produto em relação ao participante feminino (vista lateral).



Fonte: Elaborado pela autora.

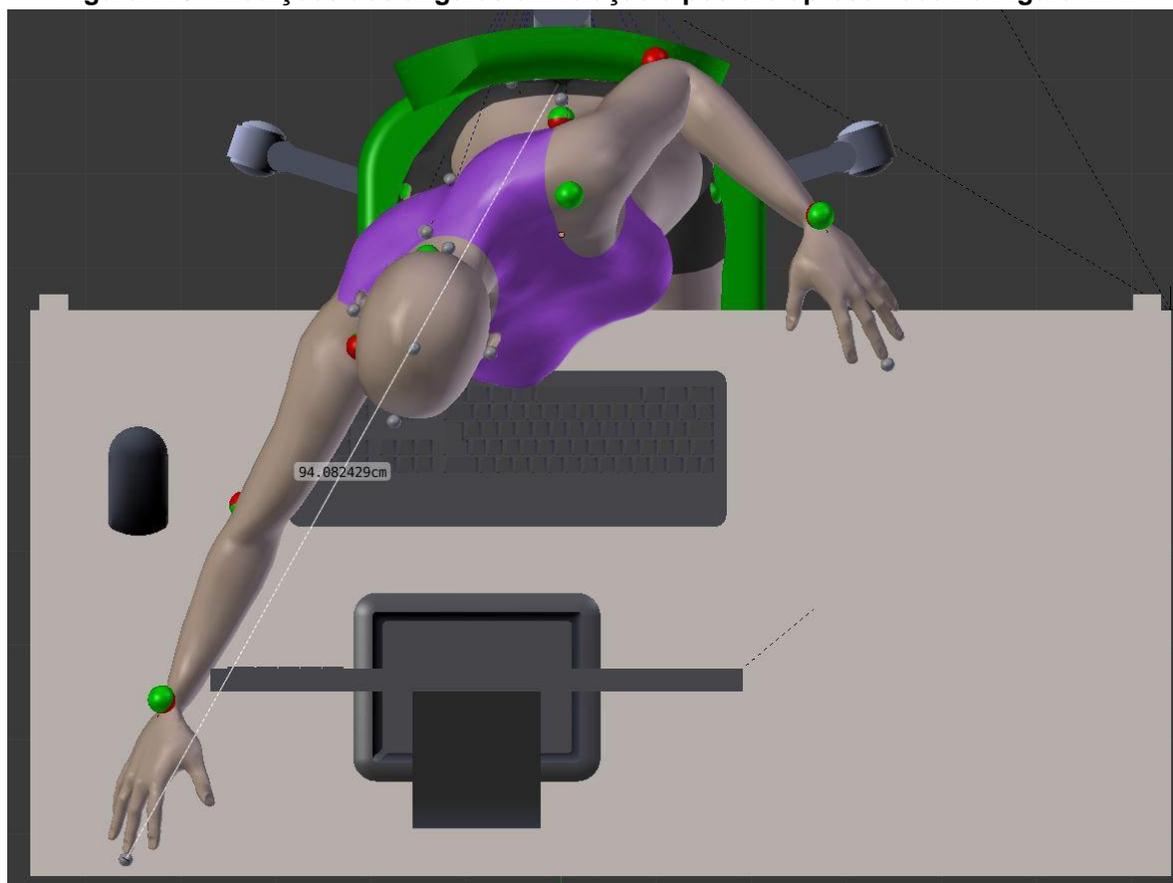
Figura 125 - Variáveis antropométricas e o valor do dimensionamento do produto em relação ao participante feminino (vista posterior).



Fonte: Elaborado pela autora.

No Quadro 30, são descritas as variáveis antropométricas e a identificação destas com as variáveis para o projeto. Desta forma, foram elaboradas as recomendações ergonômicas para aplicação no PDP nas quais são obtidas para atender aos requisitos de conforto e segurança. Uma vez que, permite que o usuário realize as tarefas dentro de uma postura confortável e dentro da zona de alcance, o que aumenta o conforto e a segurança para a realização das tarefas, minimizando os riscos de fadiga e dor muscular e até mesmo acidentes de trabalho ou doenças relacionadas ao trabalho (DORT e LER) (IIDA, 2005). A medida do alcance com a cadeira e a mesa ajustadas para o conforto dos membros inferiores e superiores é de 94,88 cm. A imagem deste alcance é apresentada na Figura 126.

Figura 126 - Medições dos ângulos em relação à postura apresentada na Figura 124.



Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 30- Recomendações ergonômicas para o MHD feminino.

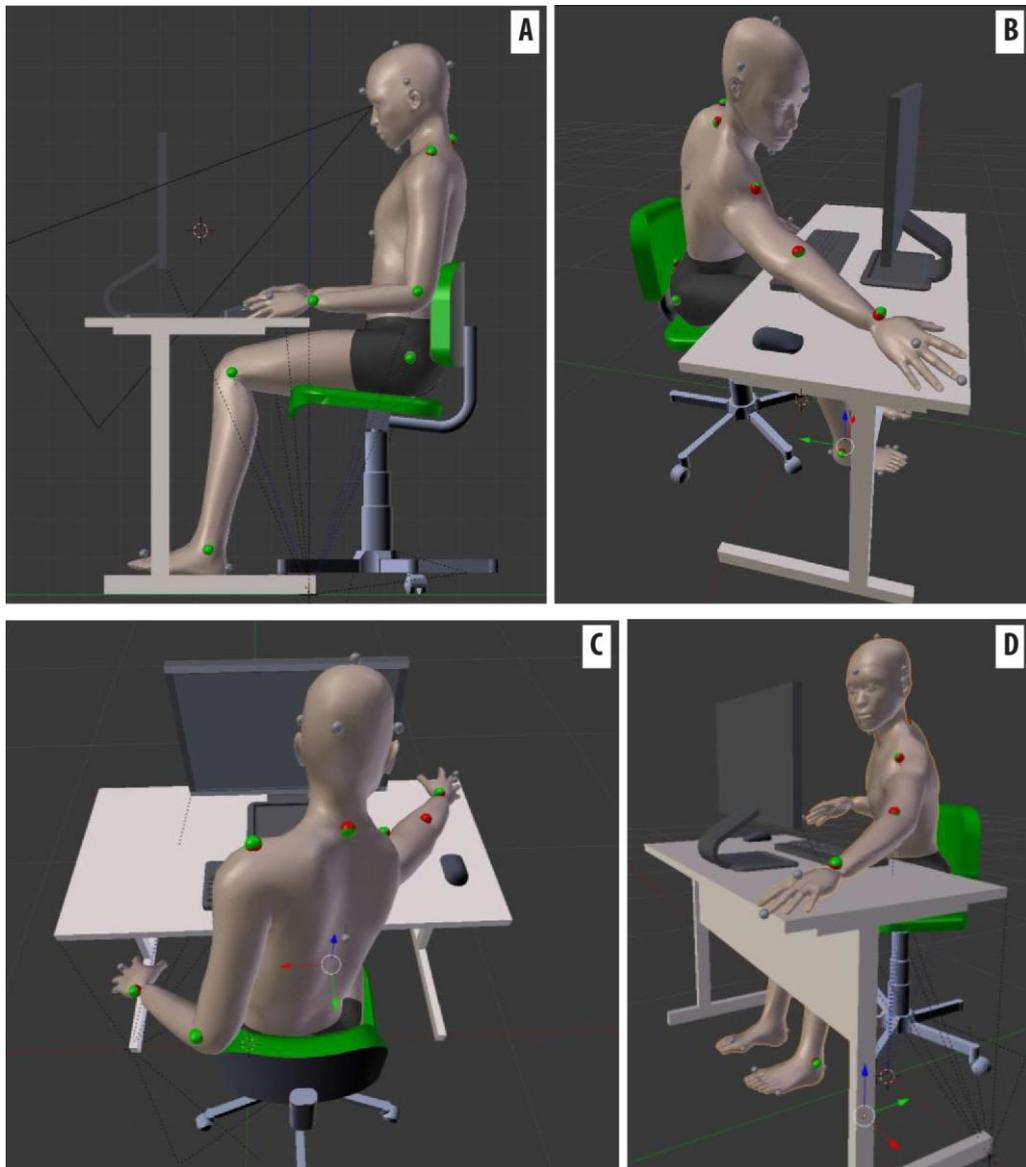
Variáveis Antropométricas	Variáveis do produto	Recomendações Ergonômicas (parâmetros de projeto)
Articulações do tornozelo, joelho, lombar, ombro, cotovelo e punho	Altura da mesa	66 cm a 73,50 cm
	Ajuste para altura da mesa de trabalho	7,5 cm
	Altura do assento da cadeira	36 cm a 56,00 cm
	Ajuste para altura do assento da cadeira	20 cm
	Comprimento do assento da cadeira	56 cm
	Largura do assento da mesa	42,70 cm
Lombar e cervical	Altura do encosto da cadeira	75,75 cm
Campo de visão, articulação do pescoço - Flexão do pescoço	Altura do monitor	132,00 cm
Alcance sobre a extremidade do tampo, frontal	Medida ideal da largura do tampo da mesa	55 cm
Alcance sobre a extremidade do tampo, lateral esquerda e direita	Medida ideal para o comprimento da mesa	110 cm

Fonte: Elaborado pela autora.

5.2 Análise ergonômica virtual da estação de trabalho (MHD masculino)

Após as análises ergonômicas da estação de trabalho pelo MHD representando o participante feminino, foram realizadas as mesmas análises com o MHD representando o participante masculino. Na Figura 127A, é apresentada a postura do MHD ao exercer a tarefa de sentar na cadeira, escrever no teclado e observar a tela do monitor. Para isso, foram realizados os ajustes no assento da cadeira para que os pés ficassem apoiados no chão e os ângulos do tornozelo, joelho e quadril permanecessem em uma zona de conforto articular, identificados conforme as cores em verde nos *landmarks*.

Figura 127 - Análise ergonômica virtual da estação de trabalho, MHD masculino.

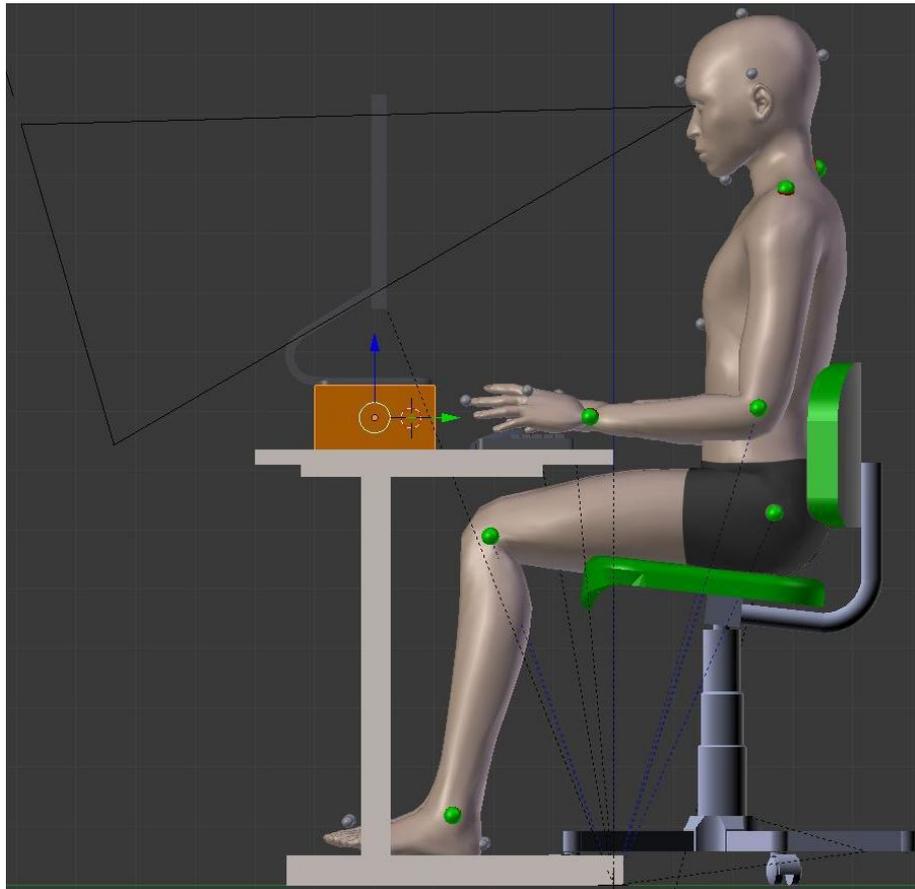


Fonte: Elaborado pela autora.

Os membros superiores, conforme sinalizado pelos *landmarks* no MHD, permaneceram em uma zona de conforto, com exceção na cervical (C1) e o campo de visão, que indicava desconforto articular. O desconforto na cervical (C1) foi devido a tela do monitor estar fora da zona de conforto para o ângulo de visão, estando em uma altura abaixo do recomendado.

Na Figura 127B e 127D, são apresentadas as imagens do MHD realizando os alcances sobre o tampo da mesa de trabalho, para o lado direito e para o lado esquerdo. Nas tarefas da realização dos alcances, o MHD executou com facilidade o movimento até as extremidades do tampo, e os ângulos nas articulações não excederam os limites de amplitude de movimento. Para solucionar a questão de desconforto na cervical (C1), são apresentadas as recomendações ergonômicas (Fig. 128) como o aumento da altura do monitor, o que pode ser realizado por meio de ajustes na altura da haste do monitor ou a inserção de um elemento para elevar a altura do monitor sobre o tampo da mesa de trabalho.

Figura 128 - Alterações realizadas no produto conforme as recomendações ergonômicas.

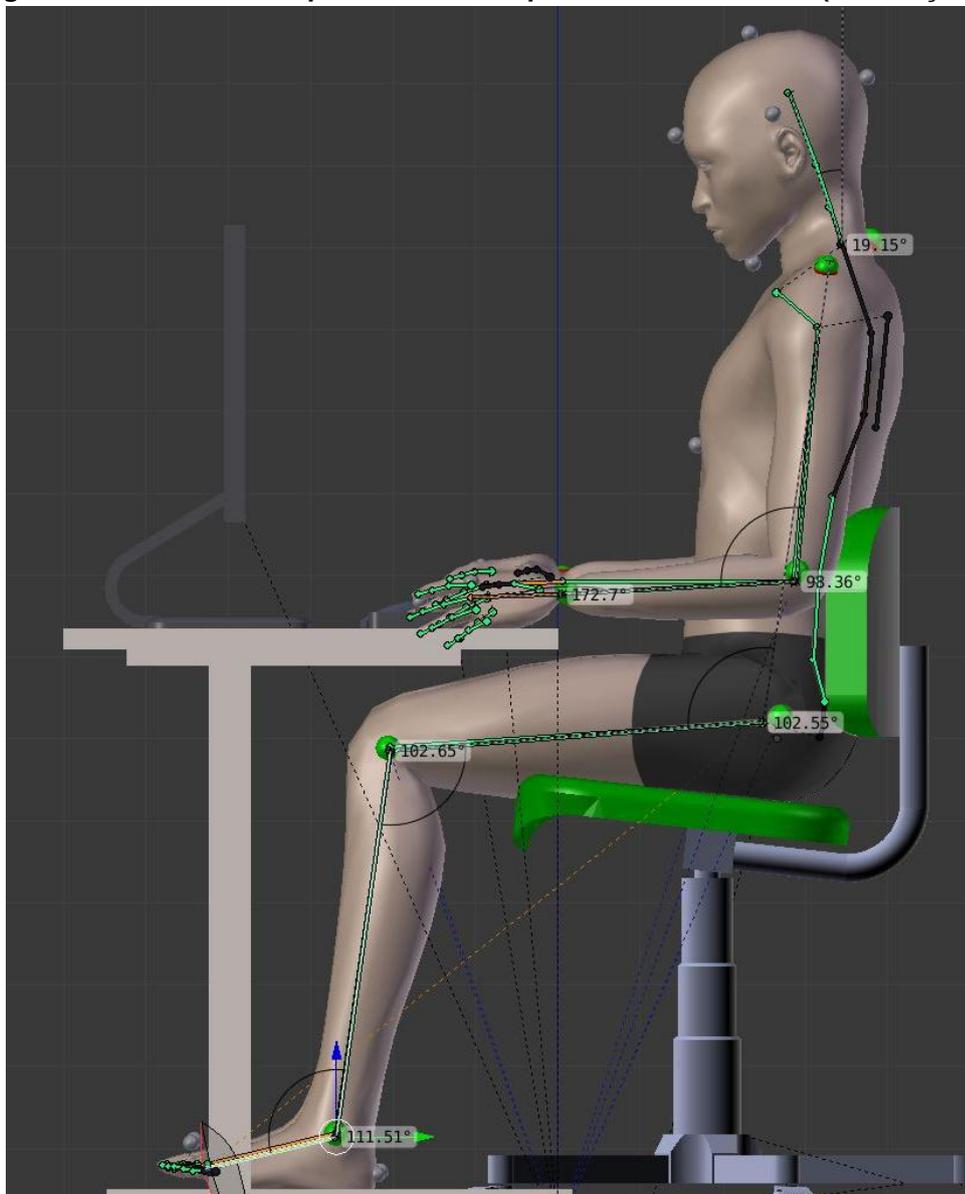


Fonte: Elaborado pela autora.

5.2.1 Parâmetros antropométricos dinâmicos referentes à análise ergonômica virtual da estação de trabalho (MHD masculino)

As recomendações ergonômicas para a tarefa realizada na estação de trabalho, com o MHD representando as medidas do participante feminino, foram relacionadas ao dimensionamento do produto. Entretanto, devido à estação de trabalho ser utilizada por uma gama de usuários, o dimensionamento do produto deve atender desde o percentil 5% da estatura da mulher até o percentil 95% da estatura do homem. Assim, foram realizadas novamente as análises ergonômicas, porém com o MHD representando o participante masculino (Fig. 129).

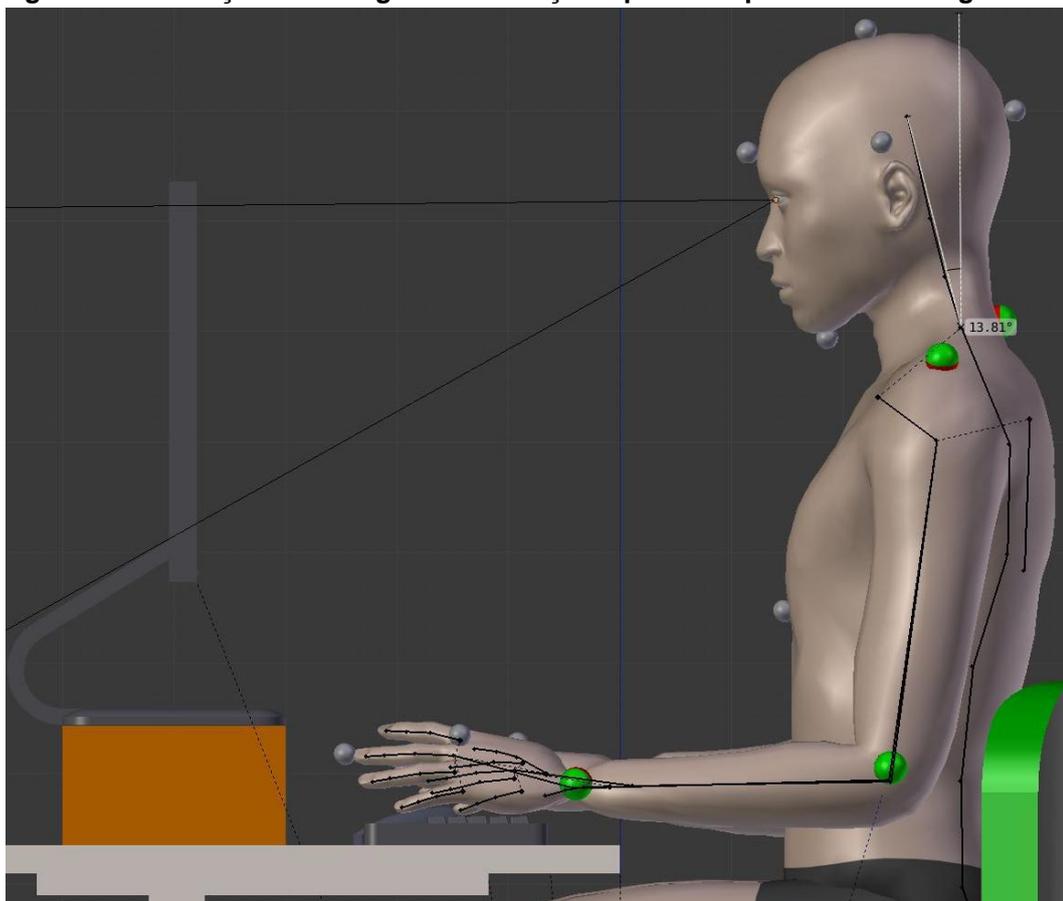
Figura 129 - Medidas dos parâmetros antropométricos dinâmicos (articulações).



Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme os valores obtidos na análise ergonômica da Figura 129, foi constatado que o MHD estava em uma postura confortável nos membros superiores e inferiores, para o ajuste do assento da cadeira na altura máxima, o que representa uma altura de 56 cm. Entretanto, a articulação da cervical (C1) estava fora da zona de conforto, segundo Tilley e Dreyfuss (2005), com o valor de $19,15^\circ$. Esta afirmação indica que a altura do monitor deve ser ajustada para uma altura mais elevada. Para o ajuste da altura do monitor foi necessário acrescentar no desenvolvimento do projeto do monitor um ajuste na haste ou acrescentar um elemento de apoio para elevar em aproximadamente 11 cm, conforme apresentado na Figura 128. Ao ajustar a altura do monitor, o campo de visão do MHD se posicionou na zona de conforto bem como o valor do ângulo da articulação da cervical C1 passou para $13,81^\circ$ (Fig. 130).

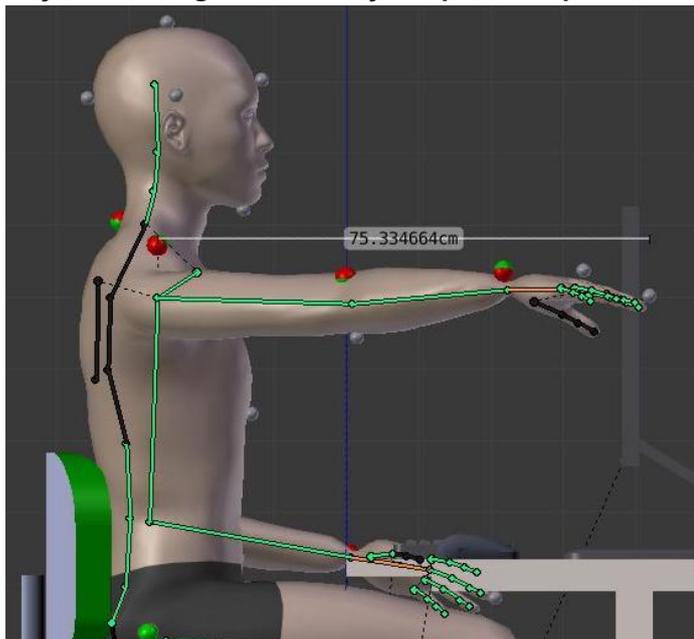
Figura 130 - Medições dos ângulos em relação à postura apresentada na Figura 127.



Fonte: Elaborado pela autora.

Na Figura 131 é apresentado o alcance do braço (medido a partir do ponto anatômico do ombro até o ponto anatômico na extremidade do dedo médio).

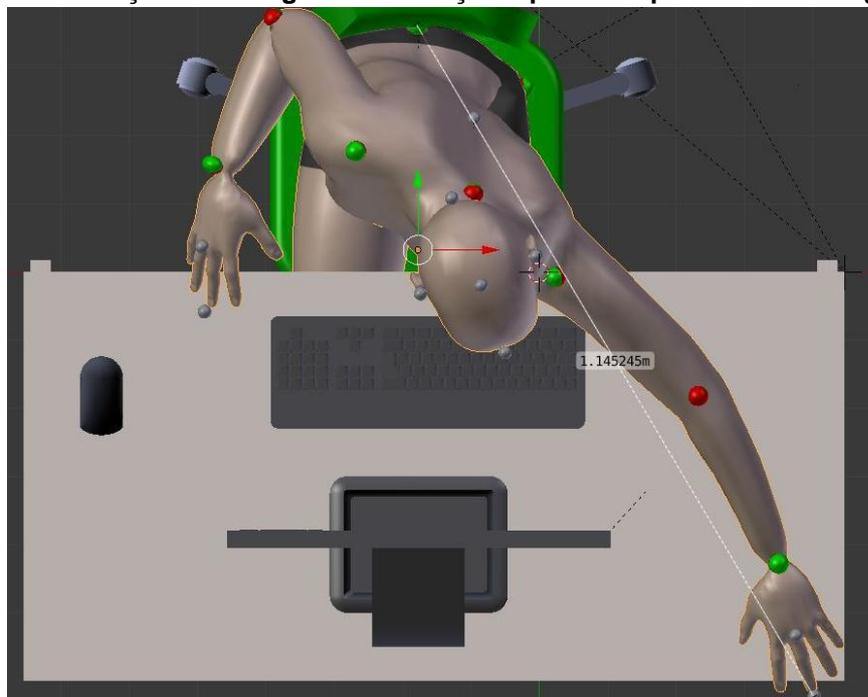
Figura 131 - Medições dos ângulos em relação à postura apresentada na Figura 127.



Fonte: Elaborado pela autora.

Na Figura 132, é apresentado o alcance do braço mais o deslocamento formado pelo movimento do braço com a cintura escapular e a coluna vertebral.

Figura 132 - Medições dos ângulos em relação à postura apresentada na Figura 127.



Fonte: Elaborado pela autora.

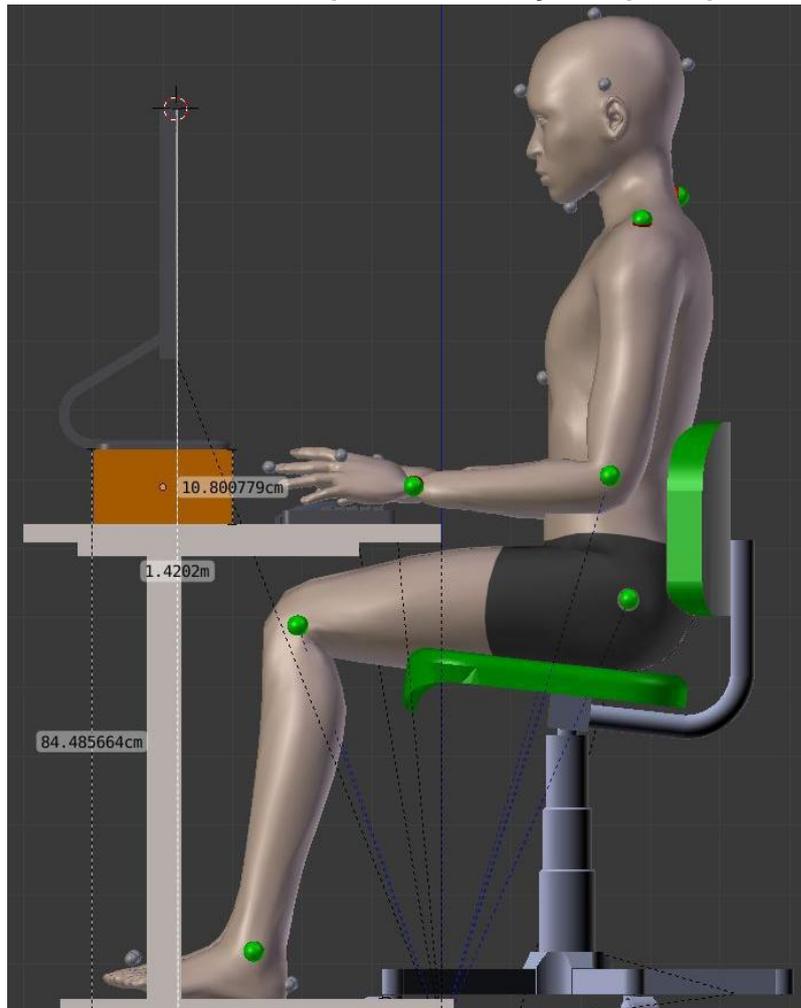
Os valores dos parâmetros antropométricos em relação a análise da Figura 129, 131 e 132 são descritos no Quadro 31.

Quadro 31 - Parâmetros antropométricos dinâmicos referentes à análise ergonômica no MHD masculino.

	Variáveis antropométricas	Valores (tarefa realizada)	Valores de referência Tilley e Dreyfuss (2005)
Simulador Veicular (MHD referente ao participante masculino)	Articulação do tornozelo	111,51°	95° a 110°
	Articulação do joelho	102,65°	95° a 120°
	Articulação do quadril	102,55°	95° a 120°
	Articulação do punho	172,7	170° a 190°
	Articulação do cotovelo	93,36°	90° a 110°
	Articulação da cervical (C1) - Flexão do pescoço	19,15°	0 a 15°
	Alcance máximo dos braços (tamanho do braço)	75,33 cm	—
	Alcance máximo dos braços (tamanho do braço mais o deslocamento)	114,52 cm	—

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 133 - Dimensionamento do produto em relação ao participante masculino.



Fonte: Elaborado pela autora.

As recomendações ergonômicas para a tarefa realizada na estação de trabalho, com o MHD representando as medidas do participante masculino, e as variáveis antropométricas que relacionam as variáveis para o projeto são descritas no Quadro 32 bem como os parâmetros para o projeto de produto.

Quadro 32 - Recomendações ergonômicas a para a estação de trabalho (MHD masculino).

Variáveis Antropométricas	Variáveis do produto	Recomendações Ergonômicas (parâmetros para o projeto)
Articulações do tornozelo, joelho, lombar, ombro, cotovelo e punho	Altura da mesa	73,50 cm
	Ajuste para altura da mesa de trabalho	—
	Altura do assento da cadeira	56 cm
	Ajuste para altura do assento da cadeira	—
	Comprimento do assento da cadeira	56 cm
	Largura do assento da cadeira	42,70 cm
Lombar e cervical	Altura do encosto da cadeira	75,75 cm
	Ajuste para o encosto da cadeira	85,75 Ajuste de 10 cm
Campo de visão, articulação do pescoço - Flexão do pescoço	Altura máxima do monitor até o chão	142,00 cm Ajuste de 10,8 cm
Alcance sobre a extremidade do tampo, frontal	Medidas da largura do tampo da mesa	60cm
Alcance sobre a extremidade do tampo, lateral esquerda e direita	Medidas para o comprimento da mesa	120 cm

Fonte: Elaborado pela autora.

Para que a estação de trabalho atenda a gama de usuários que se encontram entre os 5% feminino e os 95% masculino, os valores de medidas das recomendações ergonômicas da Figura 124 e da Figura 133, são cruzados e desta forma são definidos os ajustes para o projeto da altura da mesa, do encosto da cadeira e da altura do monitor, assim como, a recomendação de um elemento de apoio para os pés e para o monitor, se caso for necessário. Sendo assim, no Quadro 33, são apresentados os ajustes e o dimensionamento para o projeto da estação de trabalho que atenda os requisitos de conforto e segurança para a gama de usuários entre os 5% de altura feminino e os 95% de altura masculino.

Segundo Panero e Zelnick (2002), o alcance máximo do tampo da mesa deve atender a medida do menor usuário do produto porque assim todos os usuários alcançam as extremidades do tampo da mesa. As medidas dos ajustes da altura do

assento ao chão e do encosto da cadeira ao assento devem atender as medidas de conforto tanto para o percentil mínimo feminino como o máximo masculino, assim como, as medidas de ajuste da altura do monitor em relação ao tampo da mesa. Desta forma o produto abrange a gama de medidas de usuários entre as medidas antropométricas analisadas na presente pesquisa e contempla os requisitos ergonômicos como conforto, segurança e eficácia.

Quadro 33 - Recomendações ergonômicas para a estação de trabalho.

Variáveis Antropométricas	Variáveis do produto	Recomendações Ergonômicas (parâmetros para o projeto)
Articulações do tornozelo, joelho, lombar, ombro, cotovelo e punho	Altura da mesa	66 cm mín. a 73,50 cm máx.
	Ajuste para altura da mesa de trabalho	7,5 cm
	Altura do assento da cadeira	36 cm mín. a 56,00 cm máx.
	Ajuste para altura do assento da cadeira	20 cm
Lombar e cervical	Comprimento do assento da cadeira	56 cm
	Ajuste para a altura do encosto da cadeira	10 cm 85,75 do chão
	Largura do assento da mesa	42,70 cm
Campo de visão, articulação do pescoço - Flexão do pescoço	Altura do monitor	132,00 cm mín. do chão 142,00 cm máx. do chão
Alcance sobre a extremidade do tampo, frontal	Medida da profundidade da mesa	Medida relacionada ao alcance mínimo (fem.) 55 cm
Alcance sobre a extremidade do tampo, lateral esquerda e direita	Medida do comprimento da mesa	Medida relacionada ao alcance mínimo (fem.) 110 cm

Fonte: Elaborado pela autora.

5.3 Análise ergonômica virtual do simulador veicular de autoescola (MHD feminino)

As primeiras análises ergonômicas no simulador veicular foram realizadas com o MHD representando o participante feminino. Para isso, foram realizados os ajustes no assento do banco para que fique na posição mais próxima dos pedais, conforme a possibilidade de ajuste conferido no produto físico existente. Assim, o assento foi ajustado a uma distância de 54 cm dos pedais. Foi inserido o MHD no produto 3D e foram realizadas as tarefas de segurar no volante, olhar para os vidros retrovisores, realizar a mudança de marcha e pressionar o pedal do acelerador. Foram verificados os ângulos de conforto nas articulações do tornozelo, joelho, quadril, ombro,

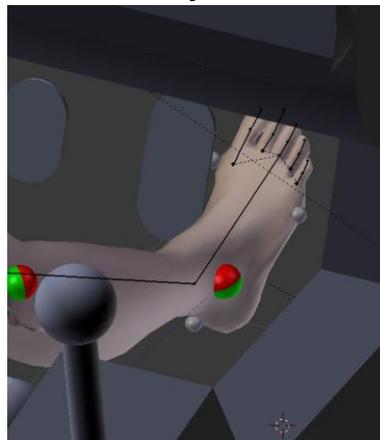
cotovelo, punho e cervical bem como foram obtidas as medidas de alcance do braço no volante, no painel e o alcance dos pés até os pedais do freio, embreagem e acelerador. A imagem na Figura 134 apresenta o MHD realizando a tarefa descrita. Foi identificado desconforto pela cor em vermelho na articulação do joelho e no campo de visão (Fig. 134), quando o MHD realiza a tarefa de olhar para e espelho retrovisor traseiro.

Figura 134 - Análise ergonômica virtual do simulador veicular (MHD feminino).



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 135 – Detalhe da articulação do tornozelo (MHD feminino).

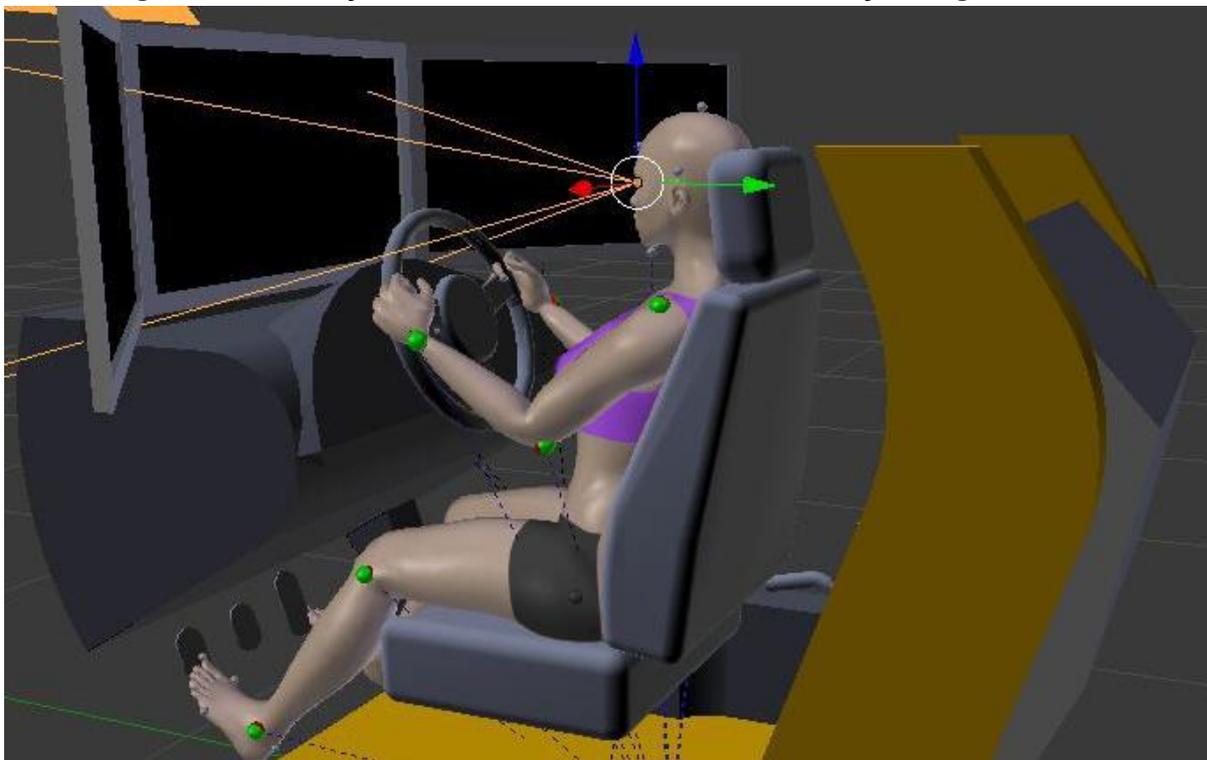


Fonte: Elaborado pela autora.

Na Figura 135, é possível observar o alcance do pé ao pressionar o pedal do acelerador. Foi observado na Figura 134 e na Figura 135, que as articulações do tornozelo, do joelho e do cotovelo estavam em uma posição de desconforto.

Para resolver estas questões, o assento do banco foi ajustado para uma distância em que as articulações do joelho e do tornozelo estivessem dentro da zona de conforto ao exercer a tarefa. Foi realizado o ajuste da distância do volante para o conforto nas articulações do cotovelo, ombro e punho. Para o conforto na cervical e do campo de visão, o ajuste foi realizado elevando a altura do assento. Desta forma, o MHD permaneceu em uma postura de conforto articular em todas as articulações analisadas. Estes ajustes são apresentados na Figura 136.

Figura 136 - Alterações realizadas conforme as recomendações ergonômicas.



Fonte: Elaborado pela autora.

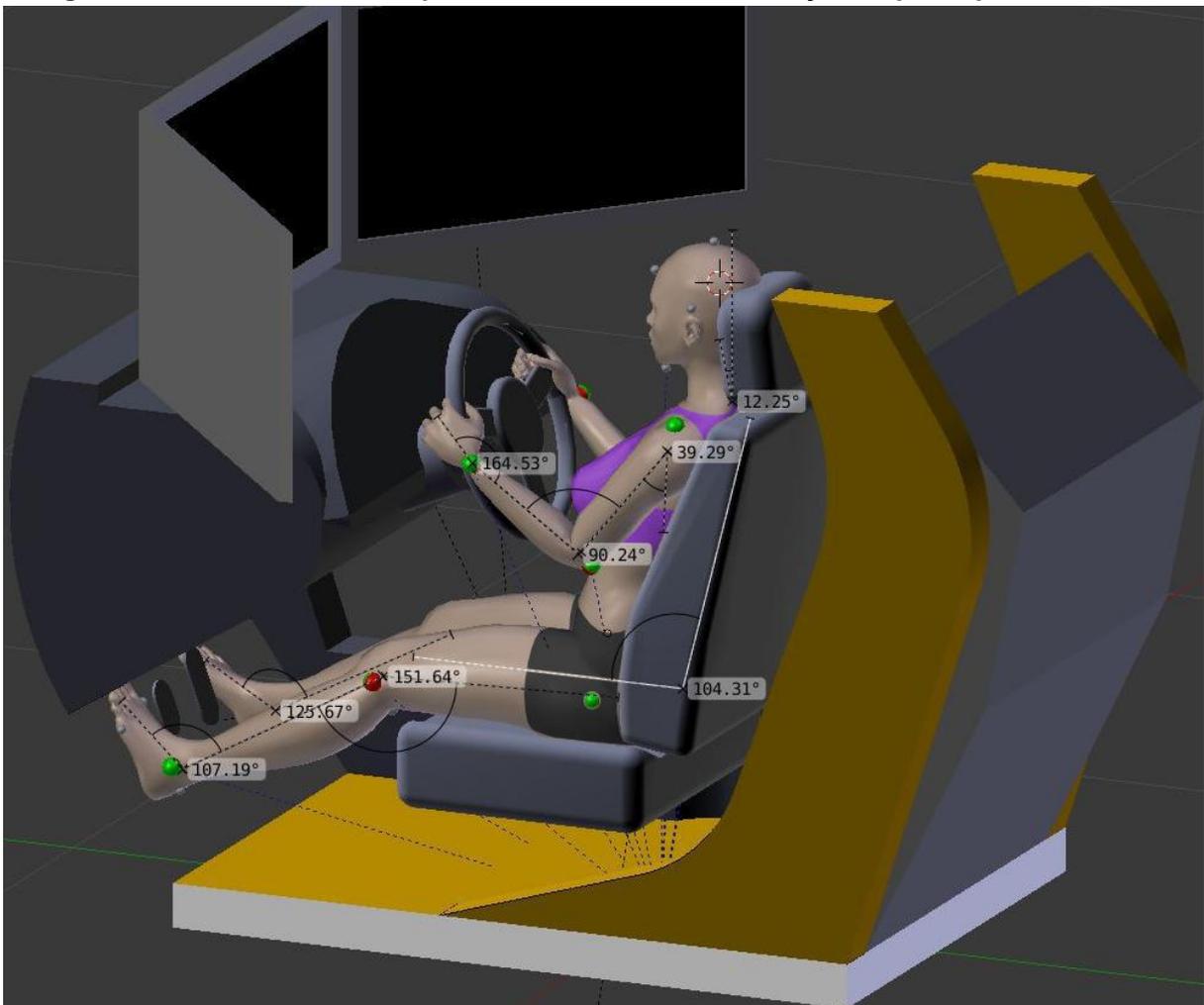
5.3.1 Parâmetros antropométricos dinâmicos referentes à análise ergonômica virtual do simulador de autoescola com o MHD feminino

Para as variáveis referentes à articulação do tornozelo, do joelho, do quadril e do ombro, foram utilizados os valores de referência de Grandjean (1980) e, para a articulação do punho, foi utilizada a referência de Babbs (1979), descritos no Quadro 5 na presente pesquisa. Para o valor da articulação do cotovelo e da cervical C1

para o movimento de flexão do pescoço foi utilizado a referência de Tilley e Dreyfuss (2002).

Os parâmetros antropométricos dinâmicos obtidos na análise ergonômica virtual do simulador veicular de autoescola, pelo MHD representando o participante feminino, foram apresentados na Figura 137. Conforme a identificação das cores nos *landmarks*, as articulações do joelho e do cotovelo estavam em uma zona de desconforto articular. O campo de visão também estava fora da zona de conforto quando o MHD realiza o movimento de extensão do pescoço ao olhar para o retrovisor traseiro. Essa identificação é confirmada pelos valores obtidos e comparados aos valores de referência no Quadro 34.

Figura 137 – Parâmetros antropométricos dinâmicos em relação ao participante feminino.

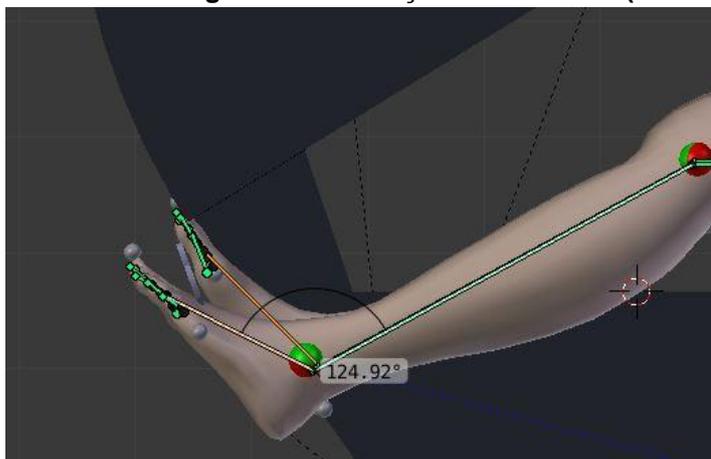


Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 138 apresenta o ângulo na articulação do tornozelo ao realizar o movimento de flexão plantar (Thompson e Floyd, 2002) ao pressionar o pedal do

acelerador. Assim, os valores descritos no Quadro 34 são referentes às medidas angulares das articulações do tornozelo, joelho, quadril, punho, cotovelo, ombro e na articulação da cervical (C1) bem como as medidas dos alcances dos pés aos pedais e das mãos ao volante. A articulação do tornozelo estava fora da zona de conforto, contendo uma angulação de $124,92^\circ$. Sendo que o conforto varia entre 90° e 100° . O que visivelmente é causado pela grande distância dos pedais ao banco. Sendo reforçado pelo valor obtido no ângulo da articulação do joelho, no valor de $151,64^\circ$, e a zona de conforto entre 110° e 130° .

Figura 138 –Valor do ângulo na articulação do tornozelo (MHD feminino).



Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 34 - Parâmetros antropométricos dinâmicos referentes à Figura 148.

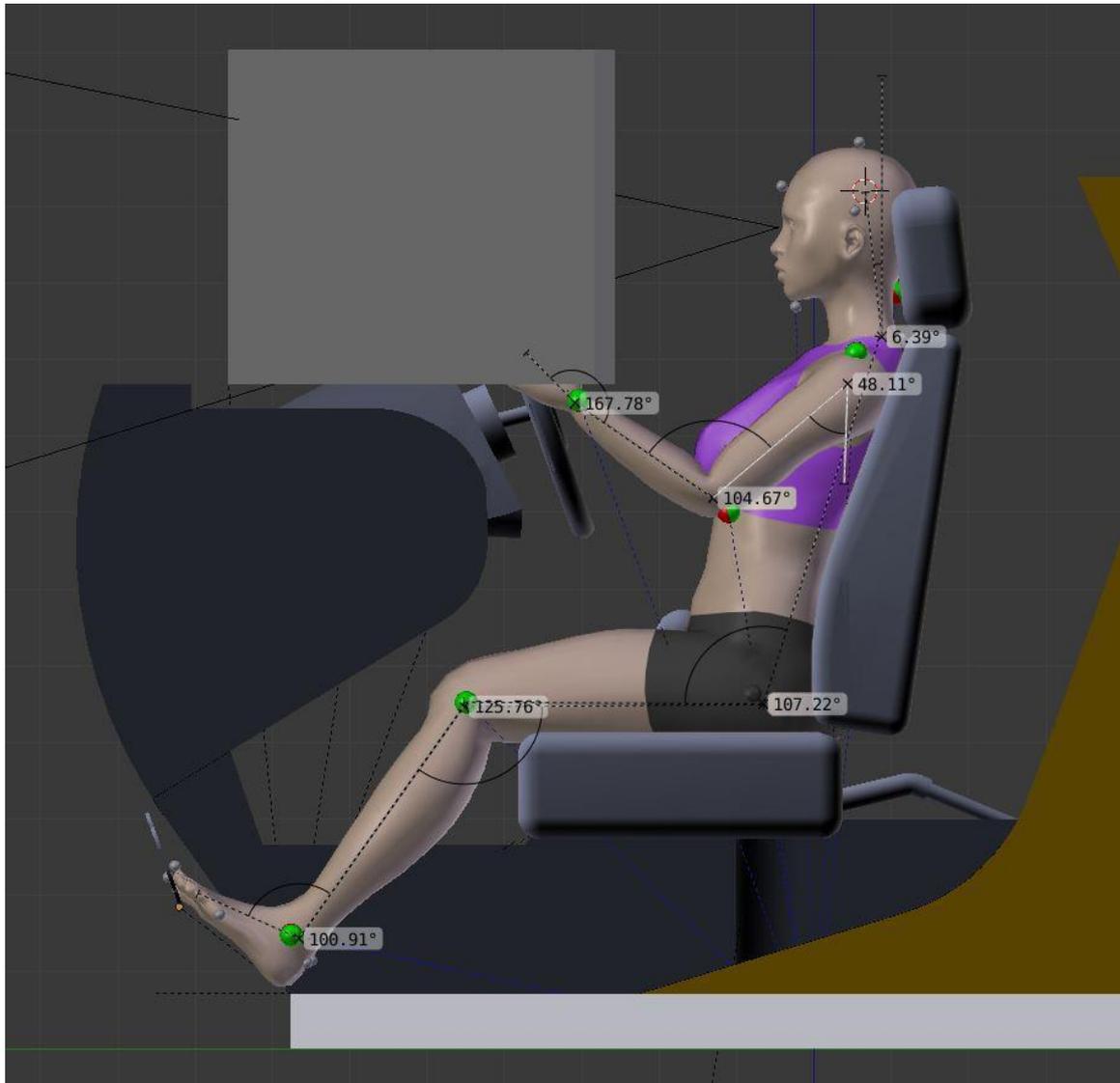
	Variáveis antropométricas	Valores (tarefa realizada)	Valores de referência
Simulador Veicular de autoescola (MHD referente ao participante feminino)	Articulação do tornozelo	$107,19^\circ$	$90^\circ - 100^\circ$
	Articulação do tornozelo (movimento de empurrar o pedal)	$124,92^\circ$	—
	Articulação do joelho	$151,64^\circ$	$110^\circ - 130^\circ$
	Articulação do quadril (ângulo entre o tronco e o fêmur)	$104,31^\circ$	$100^\circ - 120^\circ$
	Articulação do punho	$164,53^\circ$	$170^\circ - 190^\circ$
	Articulação do cotovelo	$90,24^\circ$	$90^\circ - 110^\circ$
	Articulação do ombro	$39,29^\circ$	$20^\circ - 40^\circ$
	Articulação da cervical (C1) - Flexão do pescoço	$12,25^\circ$	$0^\circ - 15^\circ$

Fonte: Elaborado pela autora.

Estas questões foram identificadas e ajustadas. O banco do motorista foi alterado para uma distância mais próxima dos pedais até que os ângulos permanecessem na zona de conforto. A distância do volante foi ajustada para que o

mesmo ficasse mais afastado do corpo e o assento do banco obteve uma elevação de 10 cm na altura. Na Figura 139, são apresentados os valores obtidos na análise ergonômica com as modificações no dimensionamento do simulador veicular conforme as medidas antropométricas do MHD feminino.

Figura 139 - Recomendações ergonômicas.



Fonte: Elaborado pela autora.

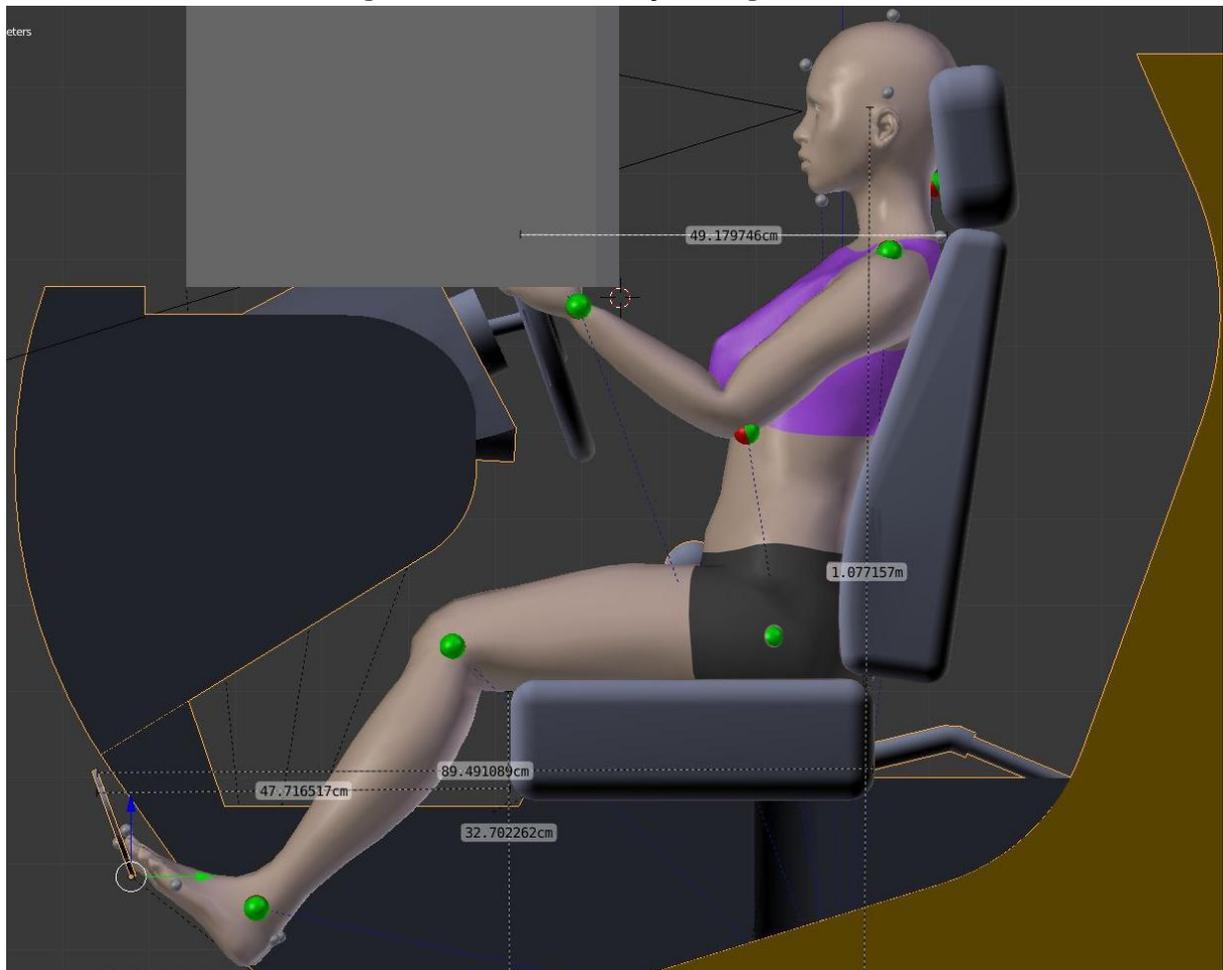
No Quadro 35, são descritos os valores dos parâmetros antropométricos dinâmicos obtidos após a etapa de análise ergonômica configurada como diagnóstico (em que são identificados os ajustes necessários para o dimensionamento do projeto) e as recomendações ergonômicas para que o usuário realize a tarefa em uma postura confortável e segura.

Quadro 35 - Parâmetros antropométricos dinâmicos referentes à Figura 139.

Estação de trabalho (MHD referente ao participante feminino)	Variáveis antropométricas	Valores (tarefa realizada)	Valores de referência
	Articulação do tornozelo	100,91°	90° - 100°
	Articulação do joelho	125,76°	110° - 130°
	Articulação do quadril	107,22°	100°-120°
	Articulação do punho	167,78°	170° - 190°
	Articulação do cotovelo	104,67°	90°- 110°
	Articulação do ombro	48°,11°	20° - 40°
	Articulação da cervical (C1)	6,39°	0° a 15°
	Alcance dos braços ao volante	49,17 cm	___
Alcance dos pés aos pedais	89,49 cm	___	

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 140 - Recomendações Ergonômicas.



Fonte: Elaborado pela autora.

No Quadro 36, são descritas as recomendações ergonômicas que fazem a relação das variáveis do produto analisadas e dos parâmetros para aplicação no projeto.

Quadro 36 - Recomendações ergonômicas que contemplam os requisitos de conforto e segurança para o simulador de autoescola.

Variáveis Antropométricas	Variáveis do produto	Recomendações Ergonômicas (Parâmetros para o projeto)
Articulações do tornozelo, joelho, lombar, ombro, cotovelo e punho Campo de visão, articulação do pescoço - Flexão do pescoço	Ajuste para altura do assento do banco ao chão	Aumento em 10 cm
	Ajuste para inclinação do banco	Não houve necessidade
	Ajuste para a distância do banco aos pedais	Ajuste em 7 cm além do ajuste mínimo existente no produto
	Ajuste para distância do volante	Ajuste em 5 cm
	Ajuste para a inclinação do volante	Não houve necessidade
Lombar e cervical	Ajuste da altura do encosto de cabeça do banco	Não houve ajuste

Fonte: Elaborado pela autora.

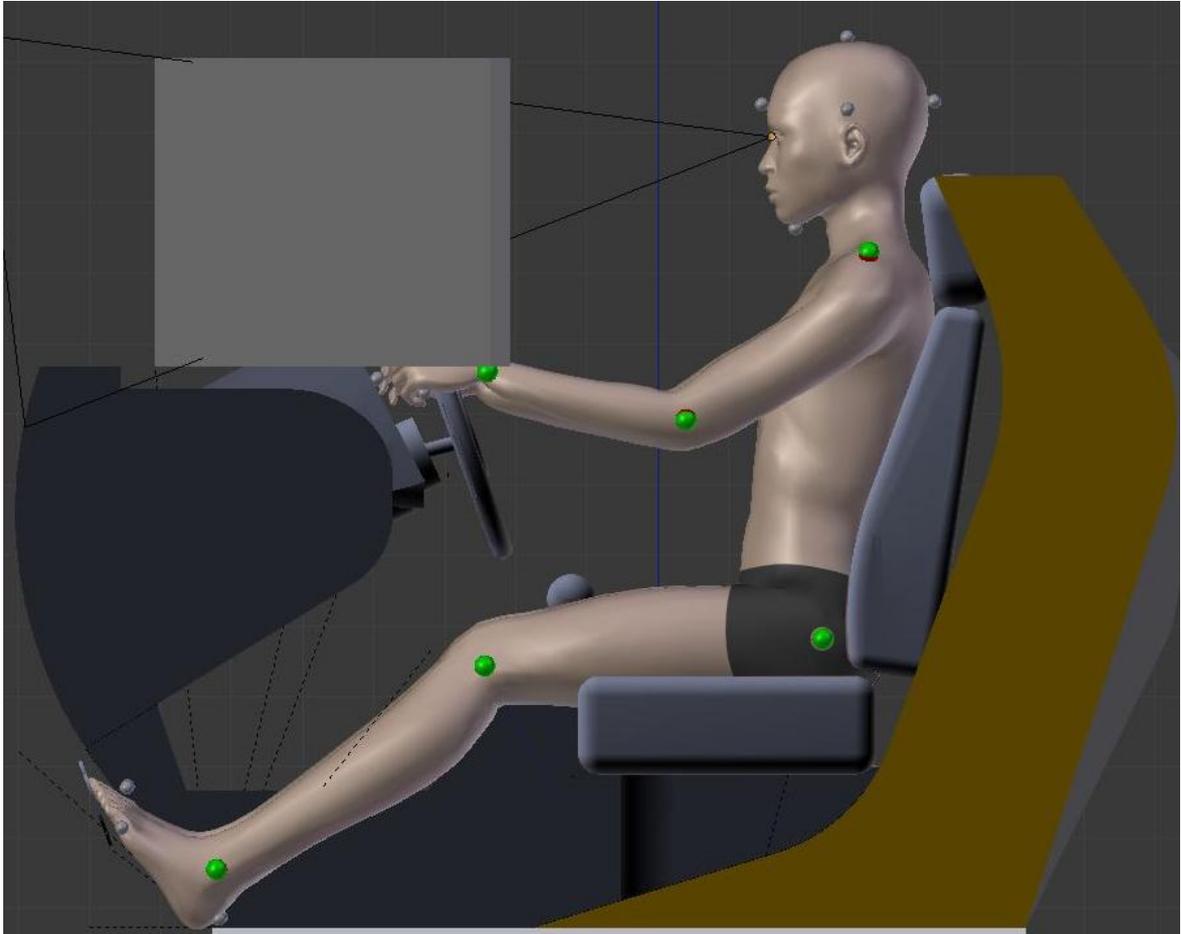
Portanto, ao posicionar o MHD no simulador veicular em 3D foram efetuados os ajustes necessários para que o MHD realizasse a tarefa em uma postura confortável. Os ajustes da distância entre o banco e os pedais. Foi observado que o MHD alcançava os pedais do freio, embreagem e acelerador com dificuldade, o que foi percebido pelas articulações do joelho que estavam fora da zona de conforto e na articulação do tornozelo, em que o MHD realizou a tarefa de pressionar os pedais com dificuldade. Os ajustes foram efetuados na distância do volante em relação ao encosto do banco, auxiliando no conforto na articulação do cotovelo e ajuste na altura do assento do banco e, principalmente, no campo de visão.

5.3.2 Análise ergonômica virtual do simulador veicular de autoescola (MHD masculino)

Após as análises ergonômicas realizadas no MHD feminino, foram realizados os ajustes no modelo 3D virtual para as análises com o MHD masculino. O ajuste do assento do banco foi alterado para a máxima distância em relação aos pedais de 100 cm. O MHD foi posicionado no produto e foram efetuadas as tarefas que envolvem o ato de dirigir o simulador veicular como: segurar no volante, alcançar o

painel do simulador, olhar nos espelhos retrovisor e lateral, mudar a marcha e pressionar os pedais para simular a aceleração e a troca de marcha no pedal de embreagem (Fig. 141).

Figura 141 - Análise ergonômica virtual do simulador veicular (MHD masculino).



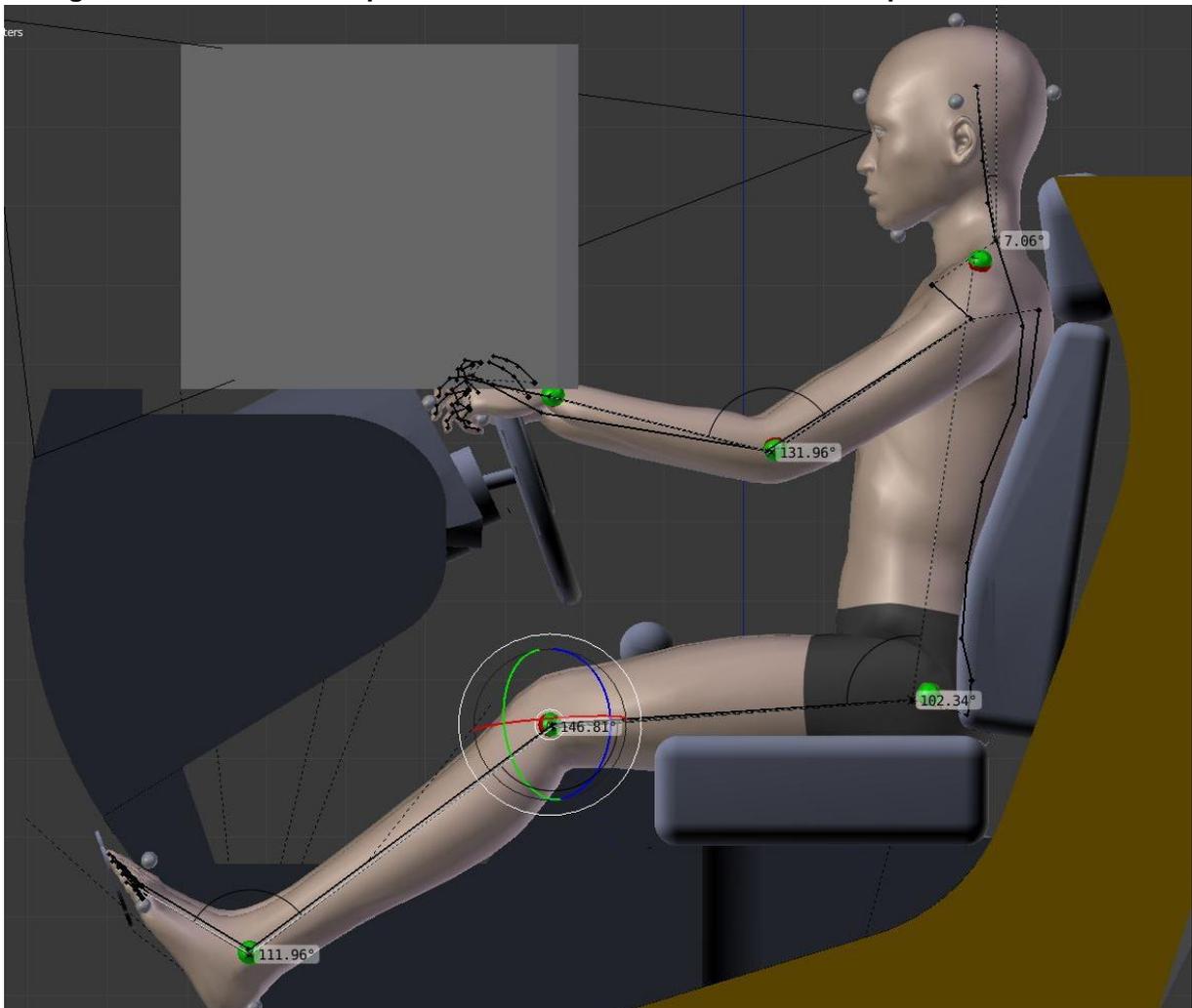
Fonte: Elaborado pela autora.

Foram observadas as cores nos *landmarks* para analisar o conforto nas articulações e, conforme estas observações, foi identificado que as articulações do joelho, tornozelo, quadril e punho permanecem na cor verde durante a realização das tarefas. Foi percebido que o encosto do banco poderia ser maior para que toda a parte das costas permanecesse apoiada e, principalmente, elevando o encosto de cabeça do banco. Portanto, estas alterações bem como os valores dos parâmetros antropométricos dinâmicos são apresentadas no item 5.2.1.

5.3.3 Parâmetros antropométricos dinâmicos referentes à análise ergonômica virtual do simulador de autoescola (MHD masculino)

Após as análises com o MHD feminino, foram realizadas as análises com o MHD masculino. Os valores dos parâmetros antropométricos dinâmicos em relação à análise da Figura 141 são descritas no Quadro 37. Foram apresentados os ajustes da distância do banco aos pedais, na distância do volante ao encosto do banco, e na elevação do espaldar do banco e do encosto de cabeça do banco, os valores dos parâmetros antropométricos dinâmicos após estes ajustes são apresentados na Figura 142.

Figura 142 - Valores antropométricos dinâmicos da tarefa realizada pelo MHD masculino.



Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme os resultados identificados de conforto pelas cores em verde nos *landmarks* e da confirmação destes resultados pelos valores obtidos e descritos no

Quadro 37, foram qualificadas as recomendações ergonômicas em parâmetros de projeto para a aplicação destes no PDP (Quadro 38). Nesta análise, foi observado que era necessário um pequeno ajuste no dimensionamento do banco até os pedais, para que diminuísse em 15° a amplitude da articulação do joelho e esta permanecesse na zona de conforto, que varia entre 110° e 130°. Foram realizados ajustes no dimensionamento do volante para que o mesmo ficasse mais próximo em 5 cm do encosto do banco, o que diminuiu a amplitude na articulação do cotovelo fazendo com que a angulação se alterasse para a zona de conforto articular.

Quadro 37 - Parâmetros antropométricos dinâmicos referentes à Figura 141.

	Variáveis antropométricas	Valores (tarefa realizada)	Valores de referência
Estação de trabalho (MHD referente ao participante feminino)	Articulação do tornozelo	111,96°	90° - 100°
	Articulação do joelho	146,81°	110° - 130°
	Articulação do quadril	102,34°	100°-120°
	Articulação do punho	168,98°	170° - 190°
	Articulação do cotovelo	131,96°	90°- 110°
	Articulação do ombro	48°,11°	20° - 40°
	Articulação da cervical (C1)	7,06°	0° a 15°

Fonte: Elaborado pela autora.

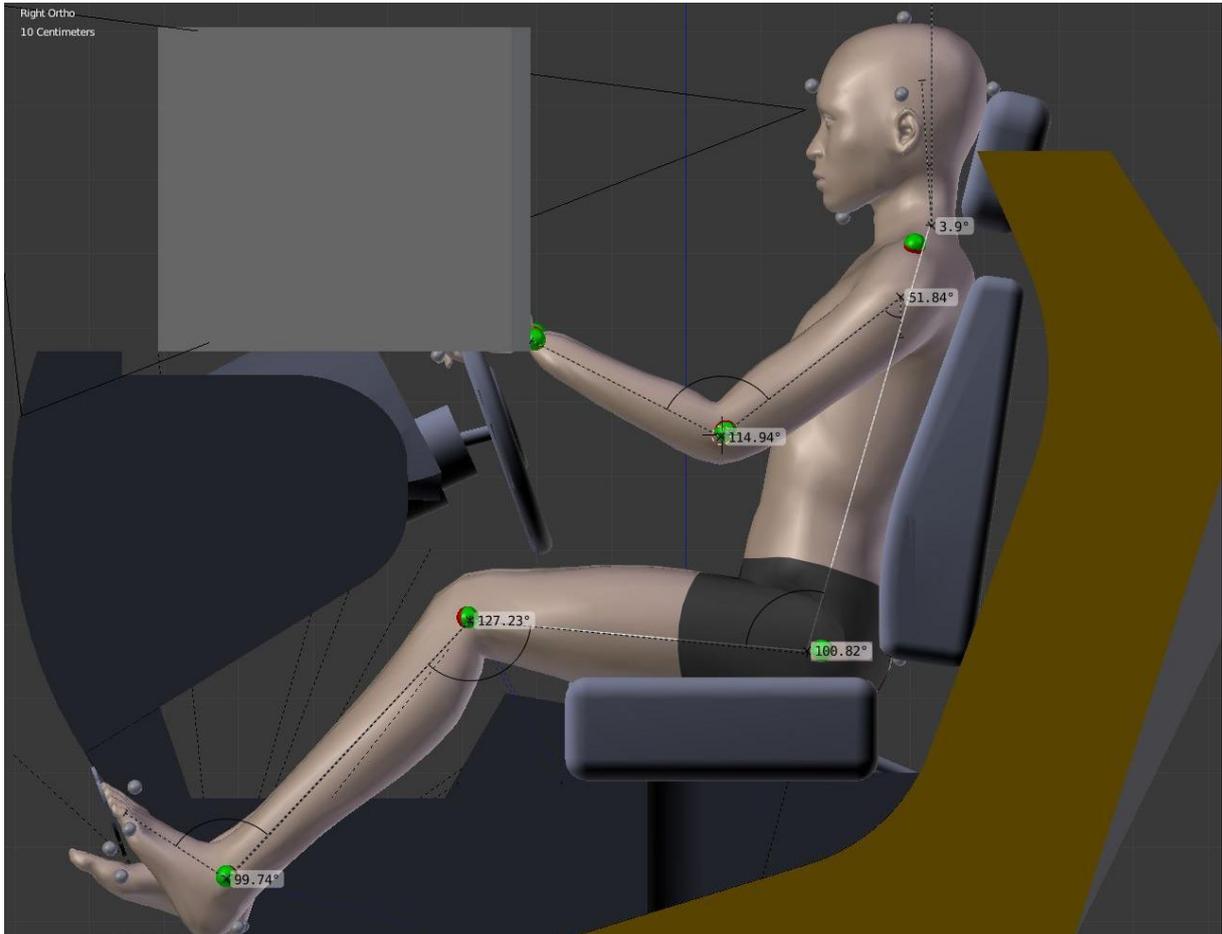
Quadro 38- Recomendações ergonômicas (Parâmetros para o projeto).

Variáveis Antropométricas	Variáveis para o projeto	Recomendações Ergonômicas (Parâmetros para o projeto)
Articulações do tornozelo, joelho, lombar, ombro, cotovelo e punho	Ajuste para altura do assento do banco	Não houve necessidade de ajuste
	Ajuste para inclinação do banco	Não houve necessidade de ajuste
	Ajuste para a distância do banco aos pedais	Ajuste de 5 cm
	Ajuste para altura do volante	Não houve necessidade de ajuste
	Ajuste para a distância do volante ao banco	Ajuste de 5 cm
	Ajuste para a inclinação do volante	Não houve necessidade de ajuste
Lombar e cervical	Ajuste da altura do encosto de cabeça	Ajuste de 6 cm
Campo de visão, articulação do pescoço - Flexão do pescoço	Ajuste para altura do espaldar do banco	Ajuste de 4 cm

Fonte: Elaborado pela autora.

Foi observado que, além de pequenas modificações das distâncias do banco aos pedais e ao volante, foi necessário modificar a altura do espaldar do banco e do encosto para a cabeça. Assim, (Fig. 143) as recomendações ergonômicas foram realizadas a partir do diagnóstico percebido pela análise da tarefa.

Figura 143 - recomendações ergonômicas (ajuste no volante e na distância do assento aos pedais).

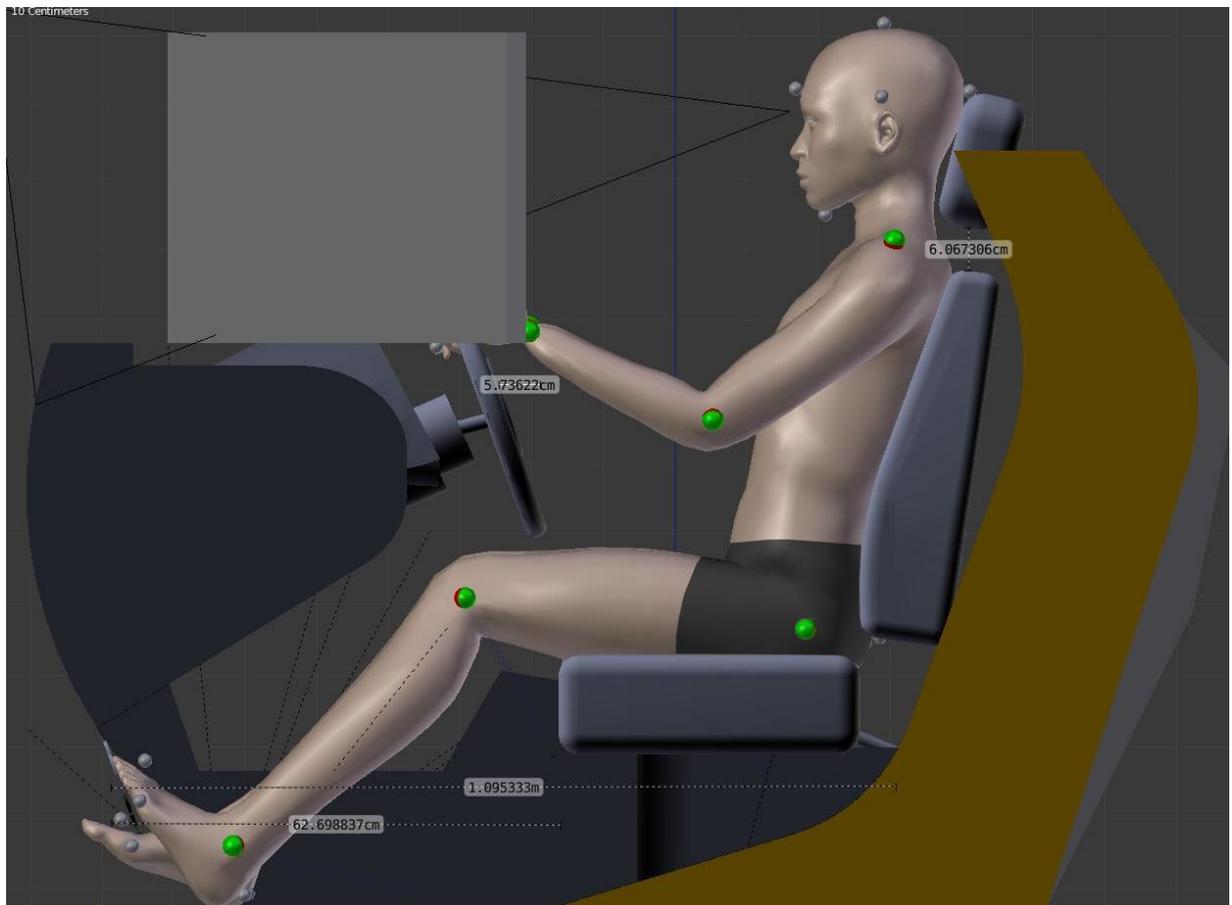


Fonte: Elaborado pela autora.

Entretanto, o simulador veicular de autoescola é utilizado por usuários que representam os 5% feminino e os 95% masculino, conforme identificado na presente pesquisa. Assim, as recomendações ergonômicas deverão ser determinadas para que estas atendam às posturas confortáveis tanto para o MHD feminino (Quadro 36) quanto masculino (Quadro 38). Para isso, os resultados obtidos nas análises ergonômicas foram cruzados para que o alcance dos pés, o campo de visão, o alcance das mãos ao volante e os ajustes do banco permaneçam na zona de

conforto tanto para os usuários com as medidas equivalentes ao percentil 5% de estatura feminino quanto o percentil 95% de estatura masculino (Quadro 39).

Figura 144 - Ajustes na distância do volante, dos pedais, no encosto e do apoio de cabeça.



Fonte: Elaborado pela autora.

Assim, foram realizadas as análises ergonômicas nos produtos, estação de trabalho e no simulador veicular, em que as etapas estabelecidas para a análise ergonômica como: a descrição da tarefa, a avaliação da atividade, o diagnóstico dos parâmetros antropométricos dinâmicos e as recomendações ergonômicas para o PDP sejam alcançados. Para avaliar os resultados obtidos pelas análises ergonômicas virtuais, foram realizadas as análises dos dados obtidos pela análise ergonômica dos produtos físicos, descritos no item 5.3 da presente pesquisa.

Quadro 39 - Recomendações ergonômicas (simulador veicular) para usuários desde os 5% de altura feminino aos 95% de altura masculino.

Variáveis Antropométricas	Variáveis para o projeto	Recomendações Ergonômicas (parâmetros para o projeto)
Articulações do tornozelo, joelho, lombar, ombro, cotovelo e punho	Ajuste para altura do assento do banco	10 cm
	Ajuste para inclinação do banco	Não houve alteração
	Ajuste para a distância do banco aos pedais	Ajuste de 7 cm além do mínimo
	Ajuste para distância do volante ao encosto do banco	Ajuste de 5 cm além do mínimo e 5 cm além do máximo. (Ajuste total de 10 cm)
	Ajuste para a inclinação do volante	Não houve alteração
Lombar e cervical	Ajuste da altura do encosto para a cabeça	Ajuste de 6 cm
Campo de visão, articulação do pescoço - Flexão do pescoço	Ajuste para altura do espaldar do banco	Ajuste de 4 cm

Fonte: Elaborado pela autora.

5.4 Análise ergonômica utilizando os produtos em ambiente físico

Conforme descrito na fundamentação teórica da presente pesquisa, autores como Tilley e Dreyfuss (2005), Lida (2005); Guimarães (2002); K. Jung *et al.* (2009); G. De Magistris *et al.* (2013), Gómez-Bull *et al.* (2015) e Vidal (2002) apresentam em seus trabalhos a realização da análise ergonômica como uma etapa fundamental para verificação do comportamento postural do usuário enquanto a realização da tarefa. Sendo assim, os autores descrevem a importância de etapas pré-definidas para realização das análises ergonômicas e, dentre estas etapas, está a realização da análise ergonômica pelo método da observação direta (sem instrumentos de registro) e observação indireta (com uso de instrumentos de registro por meio de imagens obtidas por máquinas fotográficas ou de vídeo).

Fundamentado nestes autores e para a certificação dos dados obtidos pelas análises em ambiente virtual, foi realizada a análise ergonômica dos produtos com os participantes da pesquisa em que os mesmos realizaram a tarefa prescrita. Estas foram efetuadas com os produtos existentes em seu ambiente físico e a análise foi realizada pela autora da presente pesquisa utilizando a técnica da observação direta e indireta. A seguir, na Figura 145 são apresentadas as imagens fotográficas da

tarefa realizada pelo participante feminino e na Figura 146 as imagens da tarefa realizada pelo participante masculino na estação de trabalho.

Figura 145 - Imagens fotográficas da tarefa na estação de trabalho pelo participante feminino.



Fonte: Elaborado pela autora.

A tarefa inclui as funções de escrever no teclado, manipular o *mouse*, ligar e desligar a unidade central de processamento (CPU), observar a tela do monitor, movimentar as pernas embaixo da mesa de trabalho e realizar os movimentos de alcances máximos sobre a mesa de trabalho em toda a sua superfície. A duração da tarefa, para cada participante, foi de aproximadamente 7 minutos. Após a realização da tarefa na estação de trabalho pelos participantes da pesquisa, foi aplicada uma

entrevista semiestruturada (Apêndice B) e os participantes relatam questões sobre os alcances e o conforto percebido durante o uso do produto.

Figura 146 - Imagens fotográficas da tarefa na estação de trabalho pelo participante masculino.



Fonte: Elaborado pela autora.

O segundo produto a ser analisado foi o simulador veicular presente em uma autoescola na cidade de Porto Alegre - RS. Os mesmos participantes realizaram a simulação da tarefa prescrita no item 3.2.3 da presente pesquisa com uma duração

de 6 minutos aproximadamente. As imagens da tarefa são apresentadas na Figura 147 para o participante feminino e na Figura 148 para o participante masculino.

Figura 147 - Imagens fotográficas da tarefa no simulador veicular pelo participante feminino.

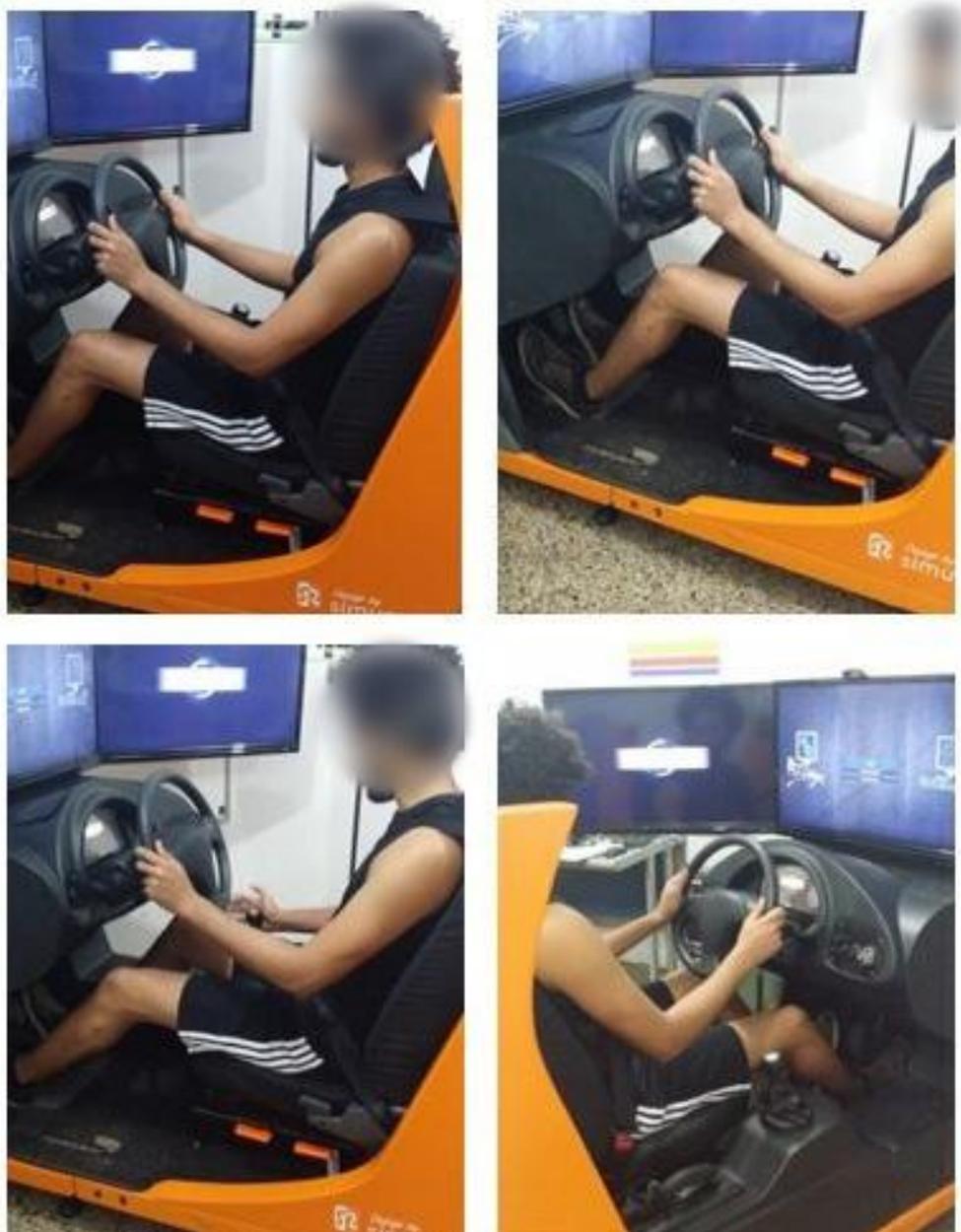


Fonte: Elaborado pela autora.

Assim como na estação de trabalho, os movimentos corporais durante a tarefa foram observados e registrados por fotografias pela autora da presente pesquisa. A observação foi realizada conforme a mesma estrutura de objetivos descrita para a estação de trabalho, porém o alcance dos pés foi observado em relação aos pedais e não ao chão como na estação de trabalho. A tarefa incluiu as funções de realizar a

simulação de condução do automóvel, como: campo de visão, ajustes do banco do motorista e alcances dos periféricos (pedais, alavanca de câmbio e freio de estacionamento e volante).

Figura 148 - Imagens fotográficas da tarefa no simulador veicular pelo participante masculino.



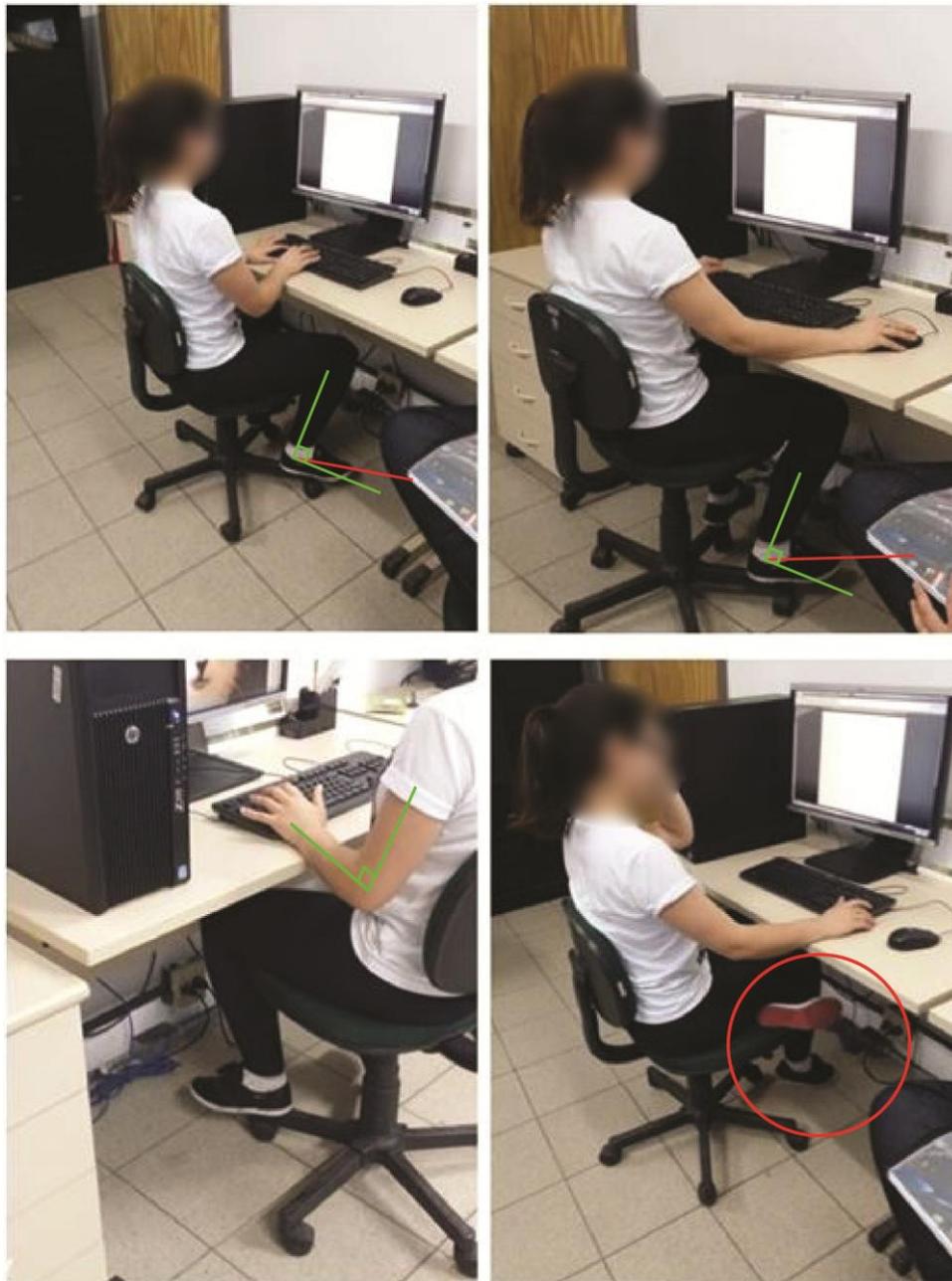
Fonte: Elaborado pela autora.

Após a realização da tarefa pelos participantes da pesquisa, utilizando o simulador veicular, foi aplicada uma entrevista semiestruturada (Apêndice B) com os participantes da pesquisa com o objetivo de verificar questões sobre os alcances e o conforto percebido durante o uso do produto.

5.4.1 Análise dos dados referentes à análise ergonômica dos produtos físicos por meio de observação direta, fotografias e entrevista semiestruturada

Neste item, os dados referentes ao desenvolvimento da etapa de análise ergonômica física são analisados e descritos, conforme os dados obtidos pela observação direta, por imagens fotográficas e entrevista semiestruturada. A imagem desta análise é apresentada na Figura 149.

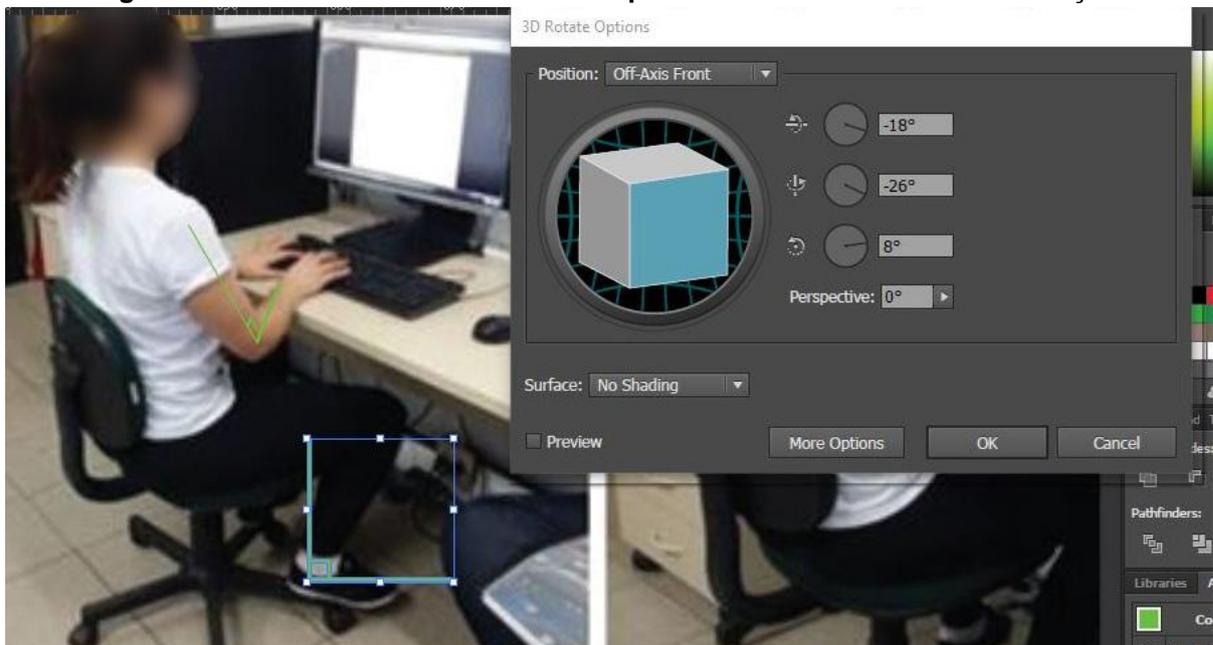
Figura 149- Análise Ergonômica da tarefa realizada pelo participante feminino na estação de trabalho.



Fonte: Elaborado pela autora.

Para auxiliar na análise por meio da observação das imagens fotográficas, foi utilizado o *software* Adobe Illustrator®, em que foi possível editar e criar imagens vetoriais. Por meio da ferramenta 3D Rotate (Fig. 150), foram realizadas distorções do vetor conforme a perspectiva apresentada para verificar a angulação nas articulações do corpo durante o desempenho da tarefa. Para isso, foi utilizado o ângulo de 90° como referência na articulação, na cor verde, e o vetor em vermelho indicando a posição na articulação exercida pelo participante em determinada postura.

Figura 150 - Uso da ferramenta 3D Rotate para auxiliar na análise da observação.



Fonte: Elaborado pela autora.

Durante o desempenho da estação de trabalho pelo participante feminino, a autora da presente pesquisa realiza perguntas (Apêndice B) com o objetivo de identificar se os participantes sentem algum tipo de desconforto nos músculos ou nas articulações, em relação à postura e aos alcances dos produtos e de seus componentes ao realizarem as tarefas.

As perguntas e as respostas são descritas no Quadro 40. A estrutura de objetivos bem como a análise realizada pela autora da presente pesquisa é descrita no Quadro 41, referente ao participante feminino em que realiza a tarefa na estação de trabalho.

Quadro 40 - Análise por meio da observação (estação de trabalho; participante feminino).

Estrutura de objetivos	Resultado na análise
Observar os alcances dos pés no chão	A participante não coloca os pés no chão e coloca os pés sobre a base da cadeira
Observar os alcances dos braços e os esforço exercido pelos participantes durante a realização da tarefa	A participante não consegue alcançar todo o tampo da mesa; realiza esforço para alcançar as extremidades do tampo
Observar o ângulo formado na articulação do tornozelo (ângulo entre o comprimento do pé e o a tíbia)	Foi observado que o ângulo formado é menor que 90°
Observar o ângulo formado na articulação do joelho (ângulo entre o comprimento da tíbia e do fêmur)	Foi observado que o ângulo da articulação do joelho é menor que 90°
Observar o ângulo formado no quadril (ângulo entre o comprimento do fêmur e da região lombar na coluna vertebral)	Foi observado que aparentemente a coluna vertebral está bem apoiada no encosto da cadeira e está em uma angulação correta
Observar a coluna vertebral (lombar e cervical)	Foi observado que a coluna vertebral está em uma postura correta
Observar o ângulo formado na articulação do ombro	Foi observado que o ombro não está ultrapassando o plano transversal
Observar o ângulo formado na articulação do cotovelo (ângulo entre o comprimento do úmero e do rádio)	Foi observado que o ângulo do cotovelo está aproximadamente em 90°, entretanto o cotovelo está abaixo da linha do tampo da mesa.
Observar a angulação da cervical e do campo de visão	Foi observado que a tela do monitor está dentro da zona de conforto para campo de visão da participante, pois a participante mantém a direção da cabeça para frente, com uma angulação pequena da cabeça para baixo.

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 41 - Entrevista semiestruturada sobre a análise de uso da estação de trabalho.

Perguntas	Respostas
Você consegue alcançar e manusear o <i>mouse</i> e o teclado com facilidade? Sente algum desconforto no uso?	A participante alegou sentir facilidade para alcançar e utilizar os produtos.
Você senti que está em uma postura confortável em relação à altura da cadeira e do tampo da mesa? Você consegue alcançar os pés no chão e sentir uma postura confortável?	A participante alegou que não consegue apoiar todo o pé no chão, e para isso, coloca os pés sobre a base da cadeira. Afirmou que se ajusta a cadeira para a altura mínima em relação ao chão, o tampo da mesa fica muito alto. A participante relata que após uns minutos senti desconforto na postura e principalmente no calcanhar.
Você senti algum desconforto no pescoço durante a tarefa?	A participante não alegou desconforto.
Você alcança as extremidades do tampo da mesa com facilidade?	A participante alegou realizar esforço para alcançar as extremidades da mesa, sentindo desconforto na região lombar e no ombro.
Você liga e desliga no botão da CPD com facilidade?	A participante alegou facilidade para alcançar o botão
Você senti algum desconforto na coluna cervical?	A participante alega sentir a necessidade de trocar de posição para relaxar a postura na região lombar.

Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme a observação direta e indireta realizada e, as respostas da participante em relação ao uso da estação de trabalho, foi constatado que para as medidas antropométricas da participante, a altura da mesa era muito alta em relação aos alcances dos braços e o alcance dos pés no chão. Quando a participante ajustou a altura da cadeira para um melhor alcance dos pés, o tampo da mesa ficou muito alto, o que poderia acarretar em desconforto nas articulações do punho, cotovelo e ombro. Para corrigir esta postura, a participante aumentou a altura no ajuste da cadeira e, assim, melhorou a postura nas articulações dos membros superiores. Porém, não alcançou os pés no chão. A solução encontrada pela participante foi deixar os pés sobre a base da cadeira. Entretanto, a participante relatou sentir desconforto no tornozelo depois de alguns minutos com o pés sobre a base da cadeira. A recomendação para o desenvolvimento do projeto desta estação de trabalho foi que, tanto a mesa como a cadeira, devem ter ajustes de altura. Em relação aos alcances da participante sobre as extremidades do tampo da mesa, esta deveria ter uma medida de comprimento menor para que a participante não exerça esforço para conseguir alcançar objetos na extremidade.

Após a realização da tarefa pelo participante feminino, foi realizada a tarefa pelo participante masculino. No Quadro 42, é descrita a análise realizada pela autora da presente pesquisa, segundo a mesma estrutura de objetivos definida para a análise da tarefa pelo participante feminino. As imagens fotográficas desta análise ergonômica são apresentadas na Figura 151.

Quadro 42 - Análise por meio da observação (estação de trabalho; participante masculino).

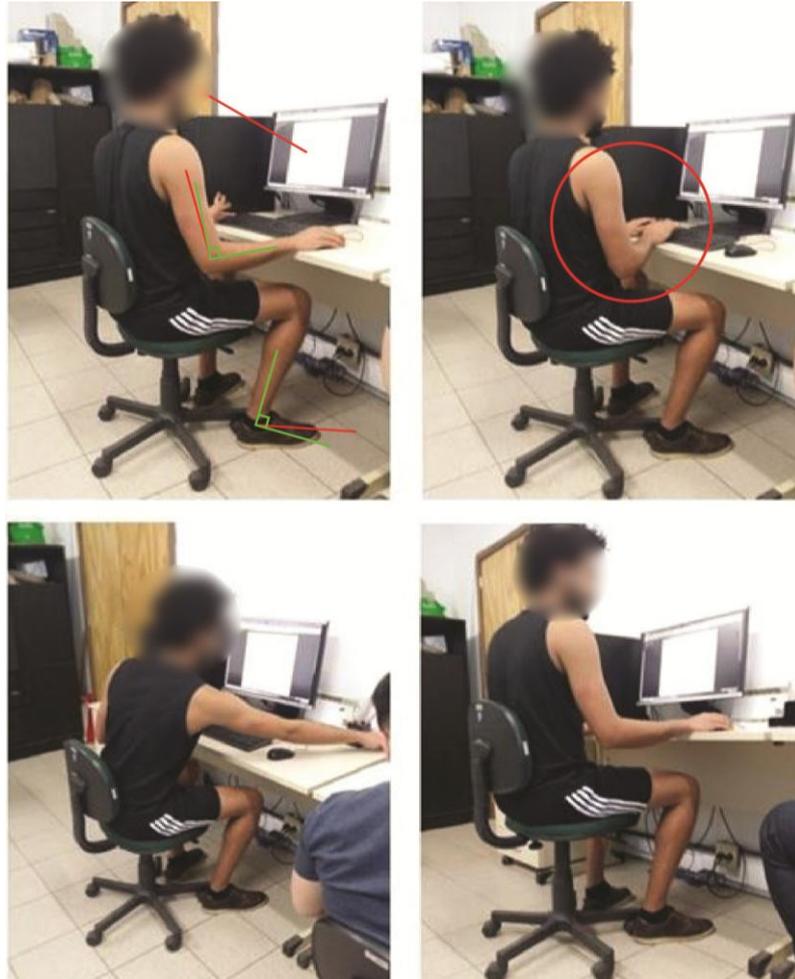
Estrutura de objetivos	Resultado na análise
Observar os alcances dos pés no chão.	O participante alcança os pés no chão.
Observar os alcances dos braços e os esforço exercido pelos participantes durante a realização da tarefa.	Foi observado que o participante alcança as extremidades do tampo da mesa com facilidade.
Observar o ângulo formado na articulação do calcanhar (ângulo entre o comprimento do pé e da tíbia).	Foi observado que o ângulo formado na articulação do calcanhar é um pouco menor que 90°.
Observar o ângulo formado na articulação do joelho (ângulo entre o comprimento da tíbia e do fêmur).	Foi observado que o ângulo é um pouco menor que 90°.
Observar o ângulo formado no quadril	O quadril aparentemente estava bem apoiado.
Observar a coluna vertebral (lombar e cervical).	Foi observado que aparentemente o encosto da cadeira era baixo, deixando sem apoio a parte da curva torácica do participante.
Observar o ângulo formado na articulação do ombro	Foi observado que o ombro não está ultrapassando o plano transversal.

Quadro 42 - Continuação.

Estrutura de objetivos	Resultado na análise
Observar o ângulo formado na articulação do cotovelo (ângulo entre o comprimento do úmero e do rádio).	Foi observado que quando o participante escreve no teclado, o ângulo formado na articulação do cotovelo é pouco menor que 90°.
Observar a angulação da cervical e do campo de visão.	Foi observado que a tela do monitor está muito baixa em relação ao campo de visão.

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 151 - Análise Ergonômica da tarefa realizada pelo participante masculino na estação de trabalho.



Fonte: Elaborado pela autora.

Assim como na realização da tarefa na estação de trabalho pelo participante feminino, as mesmas perguntas foram realizadas durante a execução da tarefa pelo participante masculino. As perguntas e as respostas são descritas no Quadro 43. Segundo as observações direta e indireta realizadas e as respostas do participante em relação ao uso da estação de trabalho, foi constatado que, para o ajuste de altura máximo da cadeira, o mesmo permanecia em uma posição de conforto nos

pés (completamente apoiados no chão), na articulação do tornozelo e do joelho, o que foi confirmado pela análise das imagens fotográficas em que as articulações encontravam-se em uma posição, aproximadamente, de 90°. A altura do monitor e do encosto da cadeira precisaria ser ajustada.

Foi observado que o monitor estava fora da zona de conforto para o campo de visão e na articulação da cervical, o que foi confirmado pelo relato do participante bem como a altura do encosto da cadeira poderia ter um ajuste para aumentar a área de apoio na região das costas.

Quadro 43 - Entrevista semiestruturada sobre a análise de uso da estação de trabalho (participante masculino).

Perguntas	Respostas
Você consegue alcançar e manusear o <i>mouse</i> e o teclado com facilidade? Sente algum desconforto no uso?	O participante alegou sentir pouco desconforto ao manusear o teclado e no punho.
Você senti que está em uma postura confortável em relação a altura da cadeira e do tampo da mesa? Você consegue alcançar os pés no chão e sentir uma postura confortável?	O participante relatou que ajusta o banco para a altura máxima para que sinta uma posição de conforto nos pés e joelhos. Alegou que senti a falta de apoio em todas as costas.
Você senti algum desconforto no pescoço durante a tarefa?	O participante alegou desconforto.
Você alcança as extremidades do tampo da mesa com facilidade?	O participante alegou realizar os alcances com facilidade.
Você liga e desliga no botão da CPD com facilidade?	O participante alegou facilidade para alcançar o botão
Você senti algum desconforto na cervical?	O participante afirma sentir desconforto na cervical e após alguns minutos de trabalho.

Fonte: Elaborado pela autora.

A análise ergonômica em relação à tarefa realizada pelo participante feminino, no simulador veicular de autoescola, foi descrita no Quadro 44 e as imagens fotográficas desta análise ergonômica é apresentada na Figura 152.

Figura 152- Análise Ergonômica da tarefa realizada pelo participante feminino no simulador.



Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 44 - Análise por meio da observação (simulador veicular; participante feminino).

Estrutura de objetivos	Resultado na análise
Observar os alcances dos pés nos pedais.	Foi observado que a participante, mesmo com o ajuste do banco no mais próximo dos pedais, tem dificuldade de acessar até o final do pedal.
Observar os alcances dos braços e os esforço exercido pelos participantes durante a realização da tarefa.	A participante não exerce esforço extenuante para alcançar os braços no volante.
Observar o ângulo formado na articulação do calcanhar (ângulo entre o comprimento do pé e a tibia).	Foi observado que o ângulo formado na articulação do calcanhar é bem maior que 90°.
Observar o ângulo formado na articulação do joelho (ângulo entre o comprimento da tibia e do fêmur).	Foi observado que o ângulo formado na articulação do joelho é bem maior que 90°, e que a perna fica numa posição quase que estendida.
Observar o ângulo formado no quadril	O quadril aparentemente estava bem apoiado.
Observar a coluna vertebral (lombar e cervical).	A coluna vertebral aparentemente estava bem apoiada no encosto do banco.
Observar o ângulo formado na articulação do cotovelo (ângulo entre o comprimento do úmero e do rádio).	Foi observado que o ângulo formado na articulação do cotovelo é menor que 90°.

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 45 - Entrevista semiestruturada sobre a análise de uso do simulador veicular (participante feminino).

Perguntas	Respostas
Você consegue alcançar e manusear o volante com facilidade? Sente algum desconforto no uso?	A participante alegou sentir um pouco de desconforto nos braços e disse que achava que o volante estava muito perto de seu corpo.
Você consegue alcançar a e manusear a caixa de câmbio com facilidade? Sente algum desconforto?	A participante respondeu que alcançava com facilidade e não alegou desconforto.
Você consegue enxergar no espelho retrovisor esquerdo e direito com facilidade? Senti algum desconforto durante a tarefa?	A participante respondeu que os espelhos estavam em seu campo de visão, mas sentia pouco de desconforto ao enxergar no espelho retrovisor direito.
Você consegue alcançar e utilizar os pedais de direção, freio e embreagem com facilidade? Senti algum desconforto durante a tarefa?	A participante relatou dificuldade em alcançar os pedais até o final, principalmente o da embreagem. Diz que senti um desconforto e esforço nas pernas.
Você senti algum desconforto ao apoiar a coluna vertebral no encosto do banco?	A participante não alegou desconforto na coluna vertebral.

Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme observado nas imagens fotográficas e confirmado pelas respostas da participante, os pedais estavam muito distantes em relação ao banco. Mesmo a participante ajustando o banco mais próximo dos pedais foi percebido o esforço exercido para que a participante consiga realizar a troca da marcha ao pressionar o pedal da embreagem. A mesma alegou que o volante poderia estar um pouco mais distante de seu corpo porque sentia um pouco de desconforto nos braços. Na imagem da Figura 152, pode ser observado que o ângulo na articulação do cotovelo era menor que 90°. Foi desenhada pela autora da pesquisa, nestas imagens

fotográficas, uma circunferência em vermelho para destacar o alcance dos pedais pela participante e o ângulo de 90° em verde e, em vermelho, o ângulo que estava sendo efetuado.

A análise ergonômica em relação à tarefa realizada pelo participante masculino, no simulador veicular de autoescola, é descrita no Quadro 46 e as imagens fotográficas desta análise ergonômica é apresentada na Figura 153. As perguntas da entrevista semiestruturada, conforme Apêndice B, e as respostas pelo participante masculino são descritas no Quadro 47.

Quadro 46- Resultados da análise por meio da observação do simulador veicular.

Estrutura de objetivos	Resultado na análise
Observar os alcances dos pés no chão	É observado que o participante alcança os pedais com facilidade.
Observar os alcances dos braços e os esforço exercido pelos participantes durante a realização da tarefa	É observado que o participante não exerce esforço extenuante para alcançar os braços no volante.
Observar o ângulo formado na articulação do calcanhar	É observado que a articulação do calcanhar está em uma angulação em torno de 90°.
Observar o ângulo formado na articulação do joelho (ângulo entre o comprimento da tíbia e do fêmur)	É observado que o ângulo formado na articulação do joelho é um maior que 90°.
Observar o ângulo formado no quadril	O quadril aparentemente está bem apoiado.
Observar a coluna vertebral (lombar e cervical)	A coluna vertebral aparentemente está bem apoiada no encosto do banco.
Observar o ângulo formado na articulação do ombro	É observado que o ombro não está ultrapassando o plano transversal.
Observar o ângulo formado na articulação do cotovelo (ângulo entre o comprimento do úmero e do rádio)	É observado que o ângulo formado na articulação do cotovelo é maior que 90°.
Observar a angulação da cervical e do campo de visão	É observado que o campo de visão está dentro da zona de conforto.

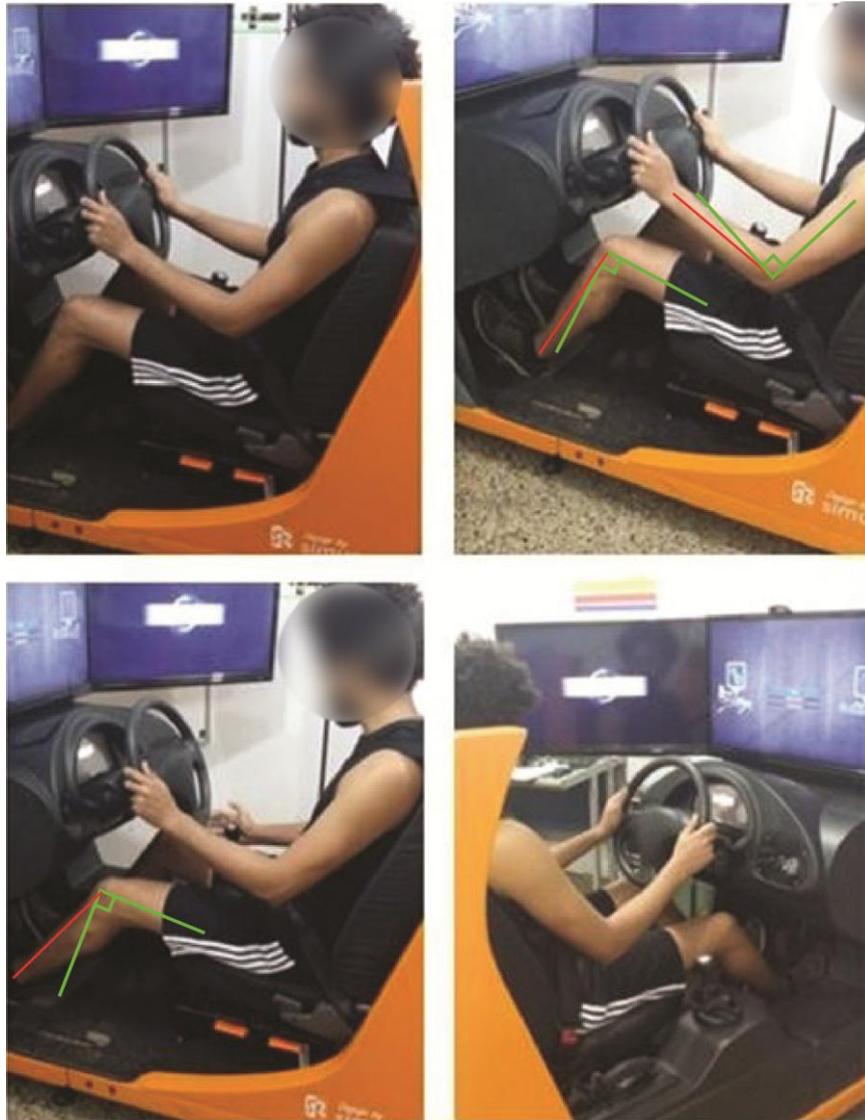
Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 47 - Entrevista semiestruturada sobre a análise de uso do simulador veicular.

Perguntas	Respostas
Você consegue alcançar e manusear o volante com facilidade? Sente algum desconforto no uso?	O participante alegou alcançar e manusear com facilidade e conforto.
Você consegue alcançar a e manusear a caixa de câmbio com facilidade? Sente algum desconforto?	O participante alegou alcançar e manusear com facilidade e conforto.
Você consegue enxergar nos espelhos retrovisor esquerdo e direito com facilidade? Senti algum desconforto durante a tarefa?	O participante respondeu que os espelhos estavam em seu campo de visão e não sentia desconforto.
Você consegue alcançar e utilizar os pedais de direção, freio e embreagem com facilidade? Senti algum desconforto durante a tarefa?	O participante relatou facilidade em alcançar os pedais até o final. Não sentiu desconforto.
Você senti algum desconforto ao apoiar a coluna vertebral no encosto do banco?	O participante não alegou desconforto na coluna vertebral.

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 153 - Análise Ergonômica da tarefa realizada pelo participante masculino no simulador veicular.



Fonte: Elaborado pela autora.

A análise ergonômica do uso do simulador veicular na autoescola pelo participante masculino apresentou resultados satisfatórios em relação ao dimensionamento dos pedais, banco, volante e campo de visão do painel e dos espelhos retrovisor esquerdo e direito. O participante antes de iniciar a tarefa, ajustou o banco, empurrando o assento na distância máxima em relação aos pedais, conforme ficava mais confortável para ele. Segundo a análise nas imagens fotográficas (Fig. 151), foi observado que o participante estava em uma postura com as articulações do joelho e do cotovelo um pouco maior que 90° , o que não representa grande desconforto, segundo a base teórica que afirma que o ângulo de

conforto para a articulação do joelho é de 110° a 130° e a articulação do cotovelo é de 90° a 110° . Foi observado e confirmado com as respostas da entrevista que o participante alcança os pedais com facilidade e realiza a tarefa sem sentir desconforto em nenhuma região do corpo.

O MHD desenvolvido foi analisado conforme seu uso pela autora da presente pesquisa e os resultados foram descritos segundo os critérios de qualidade estabelecidos por Lipton (2007), como: Eficácia, Eficiência, Tolerância aos erros e Fácil de aprender (Apêndice A). O objetivo desta análise é avaliar o uso do MHD - desde a aplicação dos parâmetros estáticos no modelo, a realização da análise ergonômica virtual e a obtenção dos parâmetros antropométricos dinâmicos.

O MHD desenvolvido é uma ferramenta útil para o processo de projeto de produto porque permite a análise ergonômica em meio virtual e possibilita a obtenção dos parâmetros antropométricos dinâmicos. A aplicação dos parâmetros antropométricos estáticos é efetuada no MHD com facilidade. Ao pressionar o botão esquerdo com o *mouse* na reta que representa o esqueleto no membro desejado, aparece na tela do computador ao lado direito um campo designado para inserir as medidas do membro selecionado e a rotação desejada nos eixos x, y e z. O uso das cores em verde e vermelho, contidas nos *landmarks* no MHD, auxilia na identificação visual do conforto na postura durante a realização da tarefa pelo MHD. Estas cores são programadas, desta forma é possível inserir o valor do ângulo de conforto desejado para cada articulação bem como os limites das ADM.

Segundo estas análises, pode-se afirmar que o MHD desenvolvido na presente pesquisa é uma ferramenta eficaz, pois os produtos 3D analisados tem a capacidade de cumprir com a tarefa prescrita; É uma ferramenta eficiente, pois os produtos 3D tem a capacidade de cumprir com a tarefa com economia de tempo e esforço, pois não é necessária a construção de protótipos físicos durante as etapas do desenvolvimento do projeto; É tolerante a erros, pois o uso do MHD Paramétrico para as análises ergonômicas do produto auxilia os projetistas ou designers a evitar ou contornar possíveis erros de dimensionamento no projeto; e o MHD é fácil de aprender, pois seu funcionamento é respaldado no conhecimento prévio dos usuários de *software* de modelagem de produtos 3D.

5.5 Discussão

Neste item, são descritos e discutidos os resultados da pesquisa a partir do desenvolvimento das etapas de investigação, intervenção, verificação e análise dos dados da pesquisa. Na etapa de investigação, foi abordado o tema de processo de desenvolvimento de produtos ergonômicos e os assuntos que contemplam este tema envolvem os métodos para realização das análises ergonômicas. Foram efetuadas as análises no MHD desenvolvido na presente pesquisa conforme os princípios de usabilidade de Lipton (2007).

Para que um determinado produto seja ergonômico, este deve contemplar os principais requisitos que compreendem a ergonomia física como o conforto, a segurança e a eficácia. Para isso, no processo de PDP estes requisitos são hierarquizados ainda nas etapas iniciais de projeto. Para que estes produtos contemplem os requisitos ergonômicos, são realizadas análises ergonômicas por meio de análises do uso dos produtos, que têm como objetivo auxiliar na verificação do dimensionamento correto do produto por meio dos parâmetros antropométricos estáticos e dinâmicos dos usuários (IIDA, 2005; HASHIM; DAWAL, 2012).

As análises ergonômicas em meio virtual com uso de MHD facilitam o processo de análise, possibilitando a avaliação tanto nas etapas iniciais de projeto quanto nas etapas finais de detalhamento e definição da solução final do produto. O uso do MHD no PDP pode eliminar a produção de protótipos físicos durante as etapas do projeto, minimizando os custos, o tempo e os possíveis erros que podem ocorrer no dimensionamento do produto (SANTOS *et al.*, 2009; IIDA, 2005 e BLANCHONETTE, 2010). Estas afirmações foram demonstradas através dos resultados obtidos na presente pesquisa durante a etapa de verificação e análise dos dados do MHD em que foi aplicada a análise ergonômica do produto em meio virtual e, assim, foram evidenciadas as etapas de atuação do MHD na análise ergonômica.

Por exemplo, nas análises ergonômicas virtuais da estação de trabalho e do simulador veicular, estes foram modelados em 3D e, na etapa de projeto informacional, foram definidos dentre as informações necessárias para o desenvolvimento do produto, o público-alvo (os usuários que irão utilizar estes produtos). A definição dos usuários foi de extrema importância para determinar os parâmetros antropométricos estáticos que foram aplicados no MHD para as

realizações das tarefas assim como os requisitos de projeto segundo as necessidades dos usuários.

Para que estes produtos atendam aos requisitos ergonômicos de projeto, o usuário deve executar as tarefas com os ângulos de conforto nas articulações do corpo dentro do recomendado pela base teórica. Para isso, o MHD, representando estes usuários antropometricamente, realizou as tarefas prescritas e as recomendações ergonômicas foram elaboradas e aplicadas no PDP.

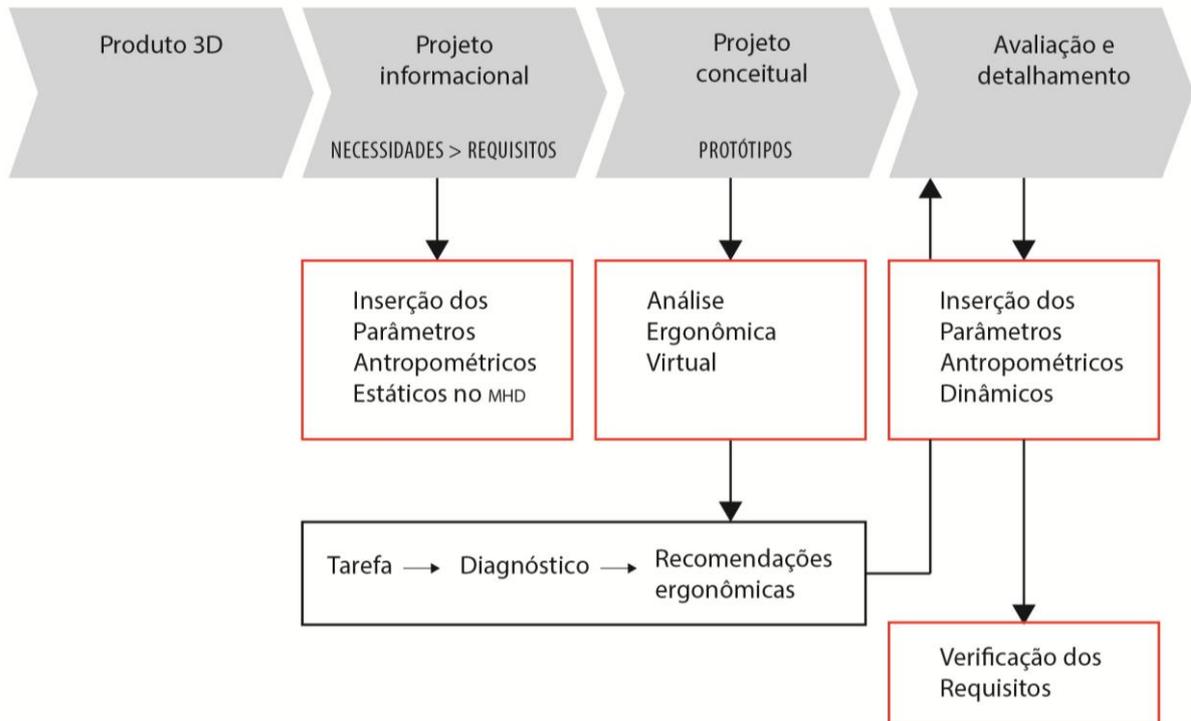
Na etapa de verificação, as recomendações ergonômicas para a estação de trabalho e para o simulador veicular foram elaboradas a partir das análises ergonômicas com o MHD representando a altura mínima e a máxima do usuário, para que todos os usuários dentro desta faixa de medidas possam utilizar estes produtos com conforto e segurança. Isso foi possível a partir da análise da tarefa, foram avaliadas a postura dos usuários, os ângulos de conforto e os alcances, verificados na etapa definida como diagnóstico e as recomendações ergonômicas foram definidas e aplicadas na etapa de avaliação e detalhamento do desenvolvimento do produto.

Sendo assim, são apresentados graficamente (Fig. 154) os resultados obtidos na presente pesquisa, que exemplifica a aplicação do MHD na análise ergonômica virtual nas etapas do PDP. Conforme a Figura 154, foi definido o produto a ser desenvolvido (estação de trabalho e o simulador veicular) e, na etapa de projeto informacional, foram delimitados os requisitos de projeto bem como o público-alvo para a determinação e aplicação dos parâmetros antropométricos estáticos (valores das medidas obtidas do participante feminino e do participante masculino, os quais representam a gama de usuários que utilizam o produto) e foram realizadas as análises ergonômicas virtuais (podem ser realizadas desde a fase inicial de desenvolvimento do produto).

Foram aplicadas as etapas da análise ergonômica como a prescrição da Tarefa, análise desta tarefa (Atividade), o Diagnóstico e as Recomendações Ergonômicas. Após as análises ergonômicas, os parâmetros para o projeto foram aplicados nas etapas de avaliação e detalhamento em que os requisitos ergonômicos foram verificados.

As recomendações ergonômicas abrangem os parâmetros de projeto, como a altura do tampo da mesa, a altura do monitor, ajustes na altura do assento da cadeira e ajustes nas medidas do comprimento e da largura do tampo da mesa. Foi recomendado o uso de elementos de apoio para os pés e a elevação da altura do monitor sobre o tampo da mesa na estação de trabalho.

Figura 154 - Resultados apresentados graficamente da análise ergonômica.



Fonte: Elaborado pela autora.

Nas análises ergonômicas realizadas com o simulador veicular, as recomendações ergonômicas abrangem os ajustes na distância do banco, da altura do assento, na altura do encosto do banco assim como ajustes na altura do encosto de cabeça. Foram recomendados ajustes na distância do volante em relação ao encosto do banco. Os resultados apresentados demonstram que foi possível obter os parâmetros antropométricos dinâmicos durante o uso do produto por meio do MHD desenvolvido na presente pesquisa de forma fácil e eficaz.

As recomendações ergonômicas obtidas na presente pesquisa foram possíveis sem a necessidade de construção de protótipos físicos, com economia de tempo e custo para o desenvolvimento de projeto. Foi possível identificar as questões de dimensionamento do produto durante as etapas do PDP e o quanto o uso do MHD

nas análises ergonômicas virtuais pode auxiliar esse processo, de acordo com as afirmações de Santos *et al.* (2009), Lida (2005) e Blanchonette (2010).

O desenvolvimento das etapas das análises ergonômicas dos produtos na presente pesquisa foi efetuado conforme a recomendação de importantes autores desta área incluindo Tilley e Dreyfuss (2005), Lida (2005), Jung *et al.* (2009), Magistris *et al.* (2013) e Gómez-Bull *et al.* (2015) que estabelecem a necessidade da prescrição da tarefa, a análise de como esta tarefa está sendo realizada, o diagnóstico em que é analisada a postura do usuário no produto e seus alcances, e as recomendações ergonômicas que são determinadas a partir da verificação dos ângulos de conforto, ADM e das zonas de alcances dos usuários para definição dos parâmetros para o projeto.

Estas análises foram possíveis porque a partir dos critérios estabelecidos para a construção do MHD foram possíveis reproduzir os movimentos deste o mais próximo dos movimentos reais do corpo humano, a customização das variáveis antropométricas do corpo humano e a identificação visual de zonas de conforto angular nas articulações do corpo no MHD durante a realização do uso do produto. Esses critérios foram fundamentados a partir das recomendações apontadas por Krüger e Nguye (2015), Gómez-Bull *et al.* (2015), Sisay (2015), Schmidt *et al.* (2014) e Helin *et al.* (2012).

Durante as análises ergonômicas realizadas na etapa de verificação, foi evidenciada a diferença nos valores e nos movimentos dos alcances do braço com o corpo parado (só o braço se movimenta) e do alcance do braço com o movimento da cintura escapular e da coluna vertebral. Estes resultados são reforçados com as afirmações de Lida (2005), Panero e Zelnik (2002) e Tilley e Dreyfuss (2005), os quais relatam em seus trabalhos a diferença que há nos valores das medidas antropométricas dinâmicas através do movimento de partes separadas do corpo, mantendo o resto do corpo estático, e da necessidade de obtenção das medidas antropométricas dinâmicas ao executar o movimento do MHD com as partes do corpo conjugadas.

Estes movimentos conjugados foram definidos e aplicados no MHD, conforme o recomendado por Thompson e Floyd (2002), em que aborda questões sobre os movimentos e os grupos musculares exigidos em cada movimento efetuado.

Para verificação da funcionalidade e da confiabilidade dos parâmetros obtidos pelo MHD desenvolvido na presente pesquisa foram construídos modelos dos produtos existentes em escala real, nos quais foram utilizados por dois participantes da pesquisa em que representam um usuário com 1,56 cm de altura e um usuário com 1,88 cm de altura. Os participantes realizaram a tarefa prescrita e seus movimentos foram capturados por sistemas com câmeras de infravermelho, que por meio da programação de um algoritmo, foram reconstruídos os movimentos no espaço em três dimensões. Por meio deste sistema, foram obtidos os parâmetros antropométricos dinâmicos para comparação aos parâmetros obtidos pelo MHD. Estes testes foram realizados com base nas recomendações de Tilley e Dreyfuss (2005) e Jung *et al.* (2009) que descrevem a necessidade de testar os resultados obtidos por MHD virtuais com os resultados obtidos pelas análises em produtos e usuários em ambiente real. Baek e Lee (2012) e Koo *et al.* (2015) reforçam estas recomendações em seus estudos em que desenvolvem um sistema virtual para realização da análise ergonômica e afirmam a necessidade de realizar testes em produtos e usuários reais para testar os MHD virtuais desenvolvidos.

Os produtos estação de trabalho e simulador veicular de autoescola foram apresentados como exemplos de aplicações do MHD para análise ergonômica virtual. Entretanto, o MHD pode ser utilizado para o desenvolvimento e análise de qualquer produto, tanto para um produto que seja utilizado por um único usuário quanto por uma gama de usuário. Uma vez que, as variáveis antropométricas do MHD são totalmente customizáveis.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O tema da presente pesquisa é de extrema relevância para o design, engenharia e arquitetura, pois são áreas de conhecimento que trabalham com o desenvolvimento de projetos. Especificamente, o design utiliza o conhecimento proveniente da ergonomia para desenvolver produtos que atendam aos requisitos ergonômicos de projeto como conforto, segurança e eficácia. Para isso, os produtos devem ser desenvolvidos conforme as características antropométricas dos usuários, o que é necessário obter não apenas os parâmetros antropométricos estáticos, mas também, os dinâmicos.

No entanto, como constatado neste trabalho por meio da pesquisa exploratória em bibliografias especializadas, há uma carência de fonte de dados sobre os parâmetros antropométricos dinâmicos, porque estes são obtidos por meio de análises de uso do produto pelo usuário. Portanto, os parâmetros antropométricos dinâmicos não são encontrados em tabelas como os parâmetros antropométricos estáticos. Sendo assim, o tema da pesquisa foi delimitado e a lacuna de pesquisa nesta área foi identificada.

Conforme os resultados da investigação, foi evidenciada a necessidade da realização das análises ergonômicas em ambiente virtual utilizando modelo humano digital (MHD) para auxiliar ou até mesmo proporcionar a obtenção dos parâmetros antropométricos dinâmicos. Para tanto, o desenvolvimento de um MHD deve contemplar alguns requisitos como a customização das variáveis antropométricas, permitir a movimentação, conforme o movimento real do corpo humano, requerendo o conhecimento das áreas da biomecânica e cinesiologia para identificação de parâmetros como os limites e as amplitudes de movimento (ADM) nas articulações. Assim, o MHD deve possibilitar a identificação de ângulos de conforto para auxiliar na análise da postura enquanto a realização da tarefa prescrita.

O objetivo geral da presente pesquisa foi proposto conforme a identificação do problema de pesquisa e da verificação da hipótese em que os parâmetros antropométricos dinâmicos podem ser obtidos durante o processo de projeto por meio de uma análise ergonômica realizada, com auxílio de um MHD Paramétrico e articulado, em ambiente virtual, visando atender aos requisitos ergonômicos do usuário. O problema de pesquisa foi respondido na medida em que a hipótese foi

verificada por meio da realização das análises ergonômicas virtuais dos produtos: estação de trabalho e simulador veicular de autoescola. Estas análises foram realizadas segundo a elaboração das etapas de análise ergonômica como a prescrição da Tarefa, a Atividade, o Diagnóstico e as Recomendações Ergonômicas para o projeto.

O MHD desenvolvido na presente pesquisa foi aplicado nas análises ergonômicas virtuais e suas funcionalidades foram verificadas e analisadas pela autora da presente pesquisa a fim de comprovar se era possível obter os parâmetros antropométricos dinâmicos durante o uso do produto. Para que fosse possível avaliar a postura confortável e adequada ao utilizar o produto, os valores dos ângulos de conforto e os limites das amplitudes de movimento em cada articulação do corpo foram avaliados segundo os parâmetros de referência selecionados e descritos na base teórica da presente pesquisa.

Os resultados obtidos nestas análises ocorreram, principalmente, na Etapa de Diagnóstico em que foram avaliadas as posturas e, na Etapa Recomendações Ergonômicas, em que foram obtidos os parâmetros antropométricos dinâmicos e os parâmetros de projeto para aplicação no PDP. Desta maneira, este processo auxilia para que o uso do MHD possibilite que os produtos analisados possam atender aos requisitos ergonômicos como conforto, segurança e eficácia.

A estação de trabalho e o simulador veicular de autoescola foram utilizados neste trabalho como exemplos para a aplicação do MHD nas análises ergonômicas virtuais propostas na presente pesquisa. Entretanto, o MHD pode ser utilizado para qualquer projeto de produto. Os parâmetros relacionados aos movimentos do corpo humano, como as ADM e os valores dos ângulos de conforto são totalmente programáveis no MHD, o que permite a personalização e maior precisão nos valores das medidas obtidas, conforme as particularidades de cada usuário.

Segundo a base teórica da presente pesquisa, os ângulos de conforto das articulações mudam em relação ao eixo de gravidade do corpo. Portanto, para a postura em pé, foram inseridos determinados valores e para a postura sentada, outros valores. Os *landmarks* alocados sobre o corpo humano nos pontos anatômicos auxiliam nas medições das variáveis antropométricas, principalmente, na visualização da zona de conforto. Para facilitar o processo de análise

ergonômica, foram desenvolvidos dois MHD femininos e dois MHD masculinos, ambos com os parâmetros de referência para a posição em pé e para a posição sentado.

Os resultados obtidos, referentes à funcionalidade do uso do MHD na etapa de intervenção, foram bastante aceitáveis e confiáveis na medida em que os valores da medida do erro relativo (inferior a 2%) e do desvio padrão do erro relativo (inferior a 3%) entre as variáveis antropométricas do MHD e da captura de movimento foram inferiores que 3%. Portanto, uma variação muito pequena entre os valores.

Estes resultados demonstraram que os parâmetros antropométricos obtidos pelo MHD são compatíveis aos parâmetros obtidos pela captura de movimento (parâmetros utilizados como referência). Algumas pequenas diferenças nos valores angulares das variáveis antropométricas entre os dois sistemas analisados podem ter sido causadas por diversos fatores: a possível diferença da localização dos *landmarks* nos pontos anatômicos, a possível diferença dimensional dos modelos físicos construídos e do modelo 3D dos produtos e a diferença na postura entre o sistema da captura de movimento e pelo MHD. Uma vez que, a postura do MHD no produto 3D foi determinada de maneira visual pela autora da pesquisa ao comparar a imagem da postura registrada pela captura de movimento.

Portanto, algumas diferenças nos valores angulares ocorreram possivelmente devido a estes fatores, o que não invalida os valores dos parâmetros antropométricos obtidos pelo MHD, pois a grande maioria dos valores comparados entre os diferentes sistemas se mostraram semelhantes com diferenças inferiores a 2°.

Na etapa de verificação da pesquisa, os resultados obtidos pela análise ergonômica virtual se mostraram semelhantes às análises realizadas em ambiente físico com os participantes da pesquisa. Os resultados da entrevista semiestruturada e da observação realizada pela autora da pesquisa, com uso de registros fotográficos, foram confirmados com os resultados obtidos na análise ergonômica virtual. O uso do MHD nas análises ergonômicas virtuais (etapa de verificação) para obtenção dos parâmetros antropométricos dinâmicos e dos parâmetros de projeto para aplicação no PDP se demonstrou fundamental para auxiliar no desenvolvimento de projetos ergonômicos com bastante eficiência e confiabilidade.

Quanto à aplicação da metodologia proposta, delineada utilizando o processo de pesquisa qualitativa de acordo com Flick (2009), esta se mostrou bastante adequada na medida em que atingiu os resultados esperados bem como a realização dos objetivos específicos descritos na presente pesquisa. Algumas dificuldades foram encontradas durante o processo de modelagem do MHD e da verificação de sua funcionalidade. Entretanto, as questões relacionadas à modelagem e desenvolvimento do MHD foram contornadas no decorrer do trabalho. Estas questões foram decorrentes da customização, da construção do esqueleto e das articulações, deformações na pele quando o MHD se movimentava, a demarcação dos grupos musculares utilizados e a intensidade destes para cada movimento, bem como as questões de aplicação das ADM e das cores nos *landmarks*.

A realização da Etapa de Verificação e das análises dos dados foi essencial para validação do MHD desenvolvido na presente pesquisa, da verificação de suas funcionalidades e do processo de análise ergonômica proposto para obtenção dos parâmetros antropométricos dinâmicos e da aplicação dos parâmetros de projeto no PDP.

Portanto, o desenvolvimento do MHD na presente pesquisa traz grandes contribuições à área do design e demais campos que, de certa forma, se apropriam do conhecimento gerado. As contribuições são acadêmicas e sociais, também de relevância no contexto produtivo, industrial, que pode aplicar o conhecimento no desenvolvimento de produtos confortáveis e seguros, trazendo benefícios diretos aos usuários.

6.1 Sugestões para trabalhos futuros

Este trabalho de caráter inovador desenvolve um MHD a partir da utilização de *softwares* livres e de código aberto, possibilitando que outros pesquisadores possam interferir com o desenvolvimento de funcionalidades e dar continuidade da pesquisa.

Neste item, são apresentadas sugestões para futuros trabalhos de pesquisa no contexto de análises ergonômicas, utilizando o MHD desenvolvido na presente pesquisa para auxiliar no PDP:

- Aplicar o MHD no PDP, desde as etapas iniciais de projeto às etapas de detalhamento e avaliação, nas análises ergonômicas para auxiliar o desenvolvimento de produtos ergonômicos;
- Avaliar questões ergonômicas em ambientes contendo estações de trabalho, ambientes industriais ou produtos em geral, tanto para uma gama de usuários como para produtos personalizados;
- Acrescentar funcionalidades no MHD como a qualidade de mensurar questões de forças e cargas para auxiliar nas análises ergonômicas dos produtos;
- Desenvolver modelos de MHD customizáveis para uma faixa etária de 0 a 2 anos e outro MHD de 2 a 10 anos;
- Aplicar testes de animação do MHD utilizando a captura de movimento para realização das análises ergonômicas.

REFERÊNCIA

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 9050 – Acessibilidade a Edificações, Mobiliário, Espaços e Equipamentos Urbanos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. Disponível em: <<http://pessoacomdeficiencia.gov.br>>. Acesso em: 10 mai. 2013.

ALECRIM, Emerson. Software livre, código aberto e software gratuito: as diferenças. In: Info Wester. Disponível em: <<http://www.infowester.com/freexopen.php>> Acesso em: 23 de ago. 2013, 14:22.

Andreoni, G; Santambrogio, G. C; Rabuffetti, M; Pedotti, A. Method for the analysis of posture and interface pressure of car drivers. *Applied Ergonomics*, v. 33, p. 511–522, 2012.

AMADIO, A.C.; BARBANTI V.J. (Orgs.). **A biodinâmica do movimento humano e suas relações interdisciplinares**. São Paulo: Estação Liberdade, p.45-70. 2000.

BACK. N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; SILVA, J. C. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri: Manole, 2008.

BALL, Roger; SHU, Chang; XI, Pencheng; RIOUX, Marc; LUXIMON, Yan; MOLENBROEK, Johan. A comparison between Chinese and Caucasian head shapes. *Applied Ergonomics*, v. 41, p. 832–839, 2010.

BANKOFF, A. **Morfologia e Cinesiologia aplicada ao movimento Humano**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.

BAEK S-Y.; LEE K. Parametric human body shape modeling framework for human-centered product design. *Computer-Aided Design*, v. 44, p. 56 – 67, 2012.

BAXTER, M. R. **Projeto de Produto: Guia Prático para o Design de Novos Produtos**. 2. Ed. São Paulo: Editora Blücher, 2005.

BERSCH, R. **Design de um serviço de tecnologia assistiva em escolas públicas**. Porto Alegre: UFRGS, 2009. (Dissertação de mestrado apresentada no programa de Pós-Graduação em Design – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, para obtenção do título de mestre em Design).

BLANCHONETTE, P. **Jack Human Modelling Tool**: A Review. Tech. Rep. DSTO-TR-2364, Defense Science and Technology Organization Victoria (Australia) Air Operations Division, Fishermans Bend, Victoria, Australia, 2010, document ADA 518132.

BRASIL. Ministério da Saúde. Conselho Nacional de Saúde. Resolução n. 196, de 10 de outubro de 1996. **Diretrizes e normas regulamentadoras sobre pesquisa envolvendo seres humanos**. Brasília: CNS, 1996.

BRENDLER, C. **Método para levantamento de parâmetros antropométricos utilizando um digitalizador 3D de baixo custo**. UFRGS, Porto Alegre, 2013, p.148. (Dissertação de Mestrado em Design– PgDesign da Universidade Federal do Rio Grande do Sul).

BRENDLER, C.; MÜLLER, M.; SILVA, A.; TEIXEIRA, F. **Digitalização 3D utilizando kinect e sistemas cad e cam para confecção de órtese de membro inferior**. In: 11º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, 2014, Gramado. Anais do 11º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, 2014. p. 2479.

BORGES, F.; SOUZA, G.; FERNADES, J.; FREIRE, L.; REIS, L. **SOFTWARES LIVRES: OS BENEFÍCIOS PARA A ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA**. (2011) Disponível em <www.periodicos.letras.ufmg.br>. Consultado em [23/08/2016].

CAMPOS, Augusto. O que é software livre. BR-Linux. Florianópolis, março de 2006. Disponível em <<http://br-linux.org/linux/faq-softwarelivre>>. Consultado em [22/08/2016].

CELANI, G.; CANCHERINI, L. Digitalização tridimensional de objetos: um estudo de caso. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE IBERO AMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL – SIGRADI, 13., 2009, São Paulo, **Anais...** São Paulo, 2009, p.86-100.

CLARK, R.; PUA, Y.; FORTIN, K.; RITCHIE, C.; WEBSTER K., DENEHY, L.; BRYANT A. Validity of the Microsoft Kinect for assessment of postural control. *Gait & Posture*, v. 36, p. 372–377, 2012.

CLARKSON, J. Human capability and product design. In: SCHIFFERSTEIN, H.; HEKKERT, P. (Org.). **Product Experience**. Oxford: Elsevier, 2008.

CHEN, L; WEI, H; FERRYMAN, J. A survey of human motion analysis using depth imagery. **Pattern Recognition Letters**, v. 34, p. 1995–2006, 2013.

COX, C.F. (1984) 'An investigation of the dynamic anthropometry of the seated workplace', MSc. dissertation, University College London.

D'APUZZO, N. OPTICAL 3-D MEASUREMENT TECHNIQUES, 9., 2009, Vienna. **Anais eletrônicos...** Vienna, Austria, 2009. Disponível em: <http://www.hometrica.ch/publ/2009_optical3d.pdf>, Acesso em: 06 jun. 2012.

DIGIOVINE, C.; HOBSON, D.; COOPER, R. Clinical practice of rehabilitation engineering. In: COOPER, R., OHNABE, H., HOBSON, D. (Org.). **An introduction to rehabilitation engineering**. Boca Raton: USA CRC Press, 2007.

DUL, J.; WEERDMEEESTER, B. **Ergonomia Prática**. 3 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2012.

DUTTA, T. Evaluation of the Kinect sensor for 3-D kinematic measurement in the workplace. **Applied ergonomics**, v. 43, n. 4, p. 645-649, 2012.

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.

FILIPE, V.; FERNANDES, F.; FERNANDES, H.; SOUZA, A.; PAREDES, H.; BARROSO, J. Blind navigation support system based on Microsoft Kinect. **Procedia Computer Science**, v. 14, p. 94-101, 2012.

FLICK, U. **Introdução à pesquisa qualitativa**. 3 ed. São Paulo: Artmed, 2009.

FLOYD, R. T. **Manual de cinesiologia estrutural**. 16 ed. Barueri, SP: Manole, 2011.

FONSECA, L.; LIMA, C. **Paralisia cerebral**: neurologia, ortopedia, reabilitação. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

FOURIE, Z; DAMSTRA, J; GERRITS, P. O.; REN. Y. Evaluation of anthropometric accuracy and reliability using different three-dimensional scanning systems. **Forensic Science International**, v.. 207, n.1, p. 127–134, 2011.

GÓMEZ-BULL, G., HERNÁNDEZ-ARELLANO, J.; IBARRA-MEJÍA G. A proposed methodology for task analysis in ergonomic evaluations. **Procedia Manufacturing**, v. 3, p. 4756 – 4760, 2015.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1987.

GOMES FILHO. **Ergonomia do objeto**: sistema técnico de leitura ergonômica. 2.ed. São Paulo: Escrituras, 2010.

GONTIJO, L. A.; SCHOENARDIE, R. P.; TEIXEIRA, C. S.; MERINO, G. S. A. D.; MERINO, E. A. D. **Antropometria: necessidade de constantes investigações para a efetiva contribuição na área da Ergonomia**. In: EFDeportes.com, Revista Digital. Buenos Aires, Ano 15, Nº 149, Outubro de 2010. Disponível em: <http://www.efdeportes.com>. Acesso em 10 de agosto de 2012.

GONZALEZ, J.; RIVEIRO, B.; FERNANDEZ, V.; SÁNCHEZ, M.; ARIAS, P. Metrological evaluation of Microsoft Kinect and Asus Xtion sensors. **Measurement**, v. 46, p. 1800–1806, 2013.

KROEMER, K. H. E.; GRANDJEAN, E. **Manual de ergonomia**: adaptando o trabalho ao homem. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

GRAJEWSKI, D.; GÓRSKI, P.; ZAWADZKI, P.; HAMROL, A. Application of Virtual Reality Techniques in Design of Ergonomic Manufacturing Workplaces. **Procedia Computer Science**, v. 25, p. 289 – 301, 2013.

GREEN, W.; JORDAN, P. **Human factors in product design**: current practice and future trends. New York: CRC Press, 1999.

GUIMARÃES, L. B. M. **Ergonomia de Produto** - antropometria e fisiologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2000.

GUIMARÃES, L.; BIASOLLI, P. Levantamento antropométrico: o Brasil ainda precisa ter o seu? In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ERGONOMIA E USABILIDADE DE INTERFACES HUMANO-TECNOLOGIA, 2., 2002, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2002. 1 CD-ROM.

HAN, H.; NAM, Y.; CHOI, K. Comparative analysis of 3D body scan measurements and manual measurements of size Korea adult females. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 40, n. 5, p. 530-540, 2010.

HERSH, M. The Design and Evaluation of Assistive Technology Products and Devices Part 1: Design. In: STONE H.; BLOUIN, M. (Org.). **International Encyclopedia of rehabilitation**, 2010.

HERSH, M.; JOHNSON, M. On modelling assistive technology systems part 1: modelling framework. **Technology and Disability**, v. 30, n.3, p. 251-270, 2008.

HELIN, K.; VIITANIEMI, J.; AROMAA, S.; MONTONEN, J.; EVILÄ T.; S.-P. LEINO; MÄÄTÄ T. Digital Human Model Based Participatory Design Method to Improve Work Tasks and Workplaces. *Computer Science*, v. 4651/2007, p. 847 - 855, 2007.

HOBSON, D.; MOLENBROEK, J. Anthropometry and design for the disabled: Experiences with seating design for the cerebral palsy population. **Applied Ergonomics**, v. 21, n.1, p. 43-54, 1990.

HONGLUN, H; SHOUQIAN, S; YUNHE, P. Research on virtual human in ergonomic simulation. **Computers & Industrial Engineering**, v. 53, p. 350–356, 2007.

HYPPONEN H. **Handbook on inclusive design for telematics applications**. Helsinki: National Research and Development Centre for Welfare and Health 1999.

Hinz, B; Seidel, H; Hofmann, J; Menzel, G. The significance of using anthropometric parameters and postures of European drivers as a database for finite-element models when calculating spinal forces during whole-body vibration exposure. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 38, p. 816–843, 2008.

IBGE – Censo Demográfico. **Resultados Preliminares da Amostra**. Disponível em: <<http://www.deficientefisico.com/resultados-do-censo-2010-feito-pelo-ibge-sobre-pessoas-com-deficiencia/>>, Acesso em: 12 jul. 2012.

INT- Instituto Nacional de Tecnologia. **Pesquisa antropométrica e biomecânica dos operadores da indústria de transformação, RJ. (Medidas para postos de Trabalho)**. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Tecnologia, v.1 e 2, p. 128, 1988.

INT - Instituto Nacional de Tecnologia. **Pesquisa antropométrica e biomecânica dos operadores da indústria de transformação, RJ. (Medidas para postos de Trabalho)**. Rio de Janeiro: INT, 2015. Disponível em: < www.int.gov.br/>. Acesso em: 20 Mar. 2015.

IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

JOHNSTONE, D. **An introduction to disability studies**. 2. ed. London: David Fulton Publishers, 2001.

JONES, P.; RIOUX, M. Three-dimensional surface anthropometry: applications to the human body. **Optics and Lasers in Engineering**, v. 28, n. 2, p. 89-117, 1997.

JUNG K.; KWON O.; YOU H. Development of a digital human model generation method for ergonomic design in virtual environment. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 39, p. 744 – 748, 2009.

KAPANDJI, A. I. **Fisiologia Articular**. Esquemas comentados de mecânica Humana. V.1. Ombro, 2. Cotovelo, 3. Prono-supinação, 4. Punho, 5. Mão. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; Madrid (Espanha): Editorial Médica Panamericana, 2011.

KOO B.-Y., PARK E.-J., CHOI D.-K., KIM J. J, CHOI M.-H. Example-based statistical framework for parametric modeling of human body shapes. **Computers in Industry**, v. 73, p. 23–38, 2015.

KOUCHI, M.; MOCHIMARU, M. Errors in landmarking and the evaluation of the accuracy of traditional and 3D anthropometry. **Applied Ergonomics**, v. 42, n. 3, p. 518-527, 2011.

KUMAR, S. **Biomechanics In Ergonomics**. Taylor & Francis, Second Edition, London, 2007.

Kuo, C.-F; Chu, C.-H. An online ergonomic evaluator for 3D product design. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 38, p.816–843, 2008.

LADEIRA, W.; DALMARCO, G.; NIQUE, W. **Internacionalização da produção via integração produtiva: Uma perspectiva brasileira na América Latina**. V Encontro de Estudos em Estratégia. Porto Alegre, 2011.

LÄMKULL D.; HANSON L.; ÖRTENGREN R. The influence of virtual human model appearance on visual ergonomics posture evaluation. **Applied Ergonomics**, v. 38, n. 6, p. 713 - 722, 2007.

LEE, H; HONG, K. Optimal brassiere wire based on the 3D anthropometric measurements of under breast curve. **Applied Ergonomics**, v. 38, n. 3, p. 377-384, 2007.

LI, Z; CHANG, C.; DEMPSEY, P. G.; CAI, X. Refraction effect analysis of using a hand-held laser scanner with glass support for 3D anthropometric measurement of the hand: A theoretical study. **Measurement**, v. 41, n. 8, p. 842-850, 2008.

LIN, Y.; WANG, M. Constructing 3D human model from front and side images. **Expert Systems with Applications**, v. 39, n. 5, p. 5012-5018, 2012.

LIPTON, R. **The practical guide to information design**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2007.

LÖBACH, B. **Design industrial: Bases para a configuração dos produtos industriais**. São Paulo: Blücher, 2000.

LU, J.; WANG, M. J. Automated anthropometric data collection using 3D whole body scanners. **Expert Systems with Applications**, v. 35, n. 1-2, p. 407–414, 2008.

LU, J.; WANG, M.; MOLLARD, R. The effect of arm posture on the scan-derived measurements. **Applied Ergonomics**, v. 41, n. 2, p. 236-241, 2010.

LUXIMON, Y.; BALL, R.; JUSTICE, L. The 3D Chinese head and face modeling. **Computer-Aided Design**, v. 44, p. 40–47, 2012.

MAAL, T.; PLOOIJ, J.; ETTEMA, A.; BERGÉ, S. Registration of 3-Dimensional Facial Photographs for Clinical Use. **J Oral Maxillofac Surg**, v. 68 p. 2391-2401, 2010.

MAGISTRIS, G.; MICAELLI, A.; EVRARDA, P.; ANDRIOT, C.; SAVIN J.; GAUDEZB, C.; MARSOT, J. Dynamic control of DHM for ergonomic assessments. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 43, p. 170 -180, 2013.

MARQUES, A. P. **Manual de goniometria**. 2ª ed. Barueri, SP: Manole, 2003.

MARSHALL, R.; CASE, K.; OLIVER, R.; GYI, D.; PORTER, J. A task based 'design for all' support tool. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 18, n. 3, p. 297-303, 2002.

MCKEOWN, C. **Office ergonomics: practical applications** M. Boca Raton (EUA): Taylor & Francis, 2008.

MOLENBROEK, J. Anthropometry of elderly people in the Netherlands; research and applications. **Applied ergonomics**, v. 18, n. 3, p. 187-199, 1987.

MORAES, J. C. T. B. Instrumentação para análise da biodinâmica do movimento humano. In: **A biodinâmica do movimento humano e suas relações interdisciplinares**. São Paulo: Estação Liberdade, p. 15-44, 2000.

MORAES, A.; MONT'ALVÃO, C. **Ergonomia: conceitos e aplicações**. Rio de Janeiro: 2AB, 1998

MORENO, A.; SÁNCHEZ, A.; MARTÍNEZ, E.; VÉLEZ, J. Three-dimensional facial surface modeling applied to recognition. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 22, p. 233–244, 2009.

NAKANO, Y. Globalização, competitividade e novas regras de comércio mundial. **Revista de Economia Política**, v. 14, n. 94, p. 56, 1994.

NORDIN M.; FRANKEL V. **Biomecânica básica do sistema musculoesquelético**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2014.

NORTON, K; OLDS, T. **Antropométrica: um livro sobre medidas corporais para o esporte e cursos da área da saúde**. Porto Alegre: Artmed, 2005.

NORTON, J.; DONALDSON, N.; DEKKER, L. 3D whole body scanning to determine mass properties of legs. **Journal of biomechanics**, v. 35, n. 1, p. 81-86, 2002.

NORKIN, C. C; WHITE, D. J. **Medida do movimento Articular: Manual da Goniometria**. 2. ed., Porto Alegre, Ed. Artes Médicas, 1997.

NOWAK, E. The role of anthropometry in design of work and life environments of the disabled population. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 17, n. 2, p. 113-121, 1996.

OLIVEIRA, J. L. A. C. **Digital Human Models** - Conceito, aplicabilidade e tecnologias. Rio de Janeiro: PUC-Rio, 2013. p. 120. (Dissertação de mestrado em Design da PUC-Rio).

OZSOY, U.; DEMIREL, B.; YILDIRIM, F.; TOSUN, O.; SARIKCIOGLU, L. Method selection in craniofacial measurements: Advantages and disadvantages of 3D digitization method. **Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery**, v. 37, p. 285 - 290, 2009.

PAHL G, BEITZ W, WALLACE K, BLESSING L, BAUERT F. **Engineering design a systematic approach**. Berlin: Springer, 1996.

PANERO, J.; ZELNIK, M. **Dimensionamento humano para espaços interiores: Um livro de consulta e referência para projetos**. México: G. Gill, 2002.

PASCHOARELLI, L. **O posto de trabalho carteira escolar como objeto de desenvolvimento da educação infantil: uma contribuição do design e da ergonomia**. Bauru: UNESP, 1997. 121p. (Dissertação de Mestrado em Desenho Industrial da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da Universidade Estadual Paulista, Campus Bauru).

PEQUINI, S. **Ergonomia aplicada ao design de produtos: um estudo de caso sobre o design de bicicletas**. São Paulo: USP, 2005. (Tese de doutorado apresentada à Faculdade de Arquitetura e urbanismo da Universidade de São Paulo, Departamento de Tecnologia).

PETROSKI, E. (Org.). **Antropometria: técnicas e padronização**. Porto Alegre: Palotti, 1999.

PRODANOV, C.; FREITAS, E. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. Novo Hamburgo: Feevale, 2009.

QIN, S., YANG L., ZHANG P., LI Y. A New Data Visualisation Methodology for Evaluating Product Design with Digital Human Models Integrated with Scanned Body and Captured Motion. in: **Proceedings of the 6th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery**, Tianjin, China, 2009.

RADOMSKI, M. V.; LATHAM, C. A. T. **Terapia Ocupacional para Disfunção Física**. São Paulo: Santos, 2013.

- ROCHA, E. **Reabilitação de pessoas com deficiência: intervenção em discussão**. São Paulo: Roca, 2006.
- ROOZENBURG N.; EKELS J. **Product design: fundamental and methods**. Chichester: Wiley, 1995.
- ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F.; AMARAL, D.; TOLEDO, J.; SILVA, S.; ALLIPRANDINI, D.; SCALICE, R. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2009.
- SACCO I. C. N., TANAKA C. **Cinesiologia e biomecânica dos complexos articulares**. Rio Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.
- SANTOS, V.; CANDELORO, R. **Trabalhos acadêmicos: uma orientação para a pesquisa e normas técnicas**. Porto Alegre: Age, 2006.
- SANTOS, V.; ZAMBERLAN, M. C.; PAVARD, B.. **Confiabilidade Humana e Projeto Ergonômico de Centros de Controle de Processos de Alto Risco**. Rio de Janeiro: Synergia, 2009.
- SANGELKAR, S.; COWEN, N.; MCADAMS, D. User activity–product function association based design rules for universal products. **Design Studies**, v. 33, n. 1, p. 85 - 110, 2012.
- SCHMIDT S.; AMERELLER, M.; FRANZ M.;KAISER R.; SCHWIRTZ A. A literature review on optimum and preferred joint angles in automotive sitting posture. **Applied Ergonomics**, v. 45, p. 247 - 260, 2014.
- SCHOENARDIE, R.; TEIXEIRA, C.; MERINO, E. Design e Antropometria: diferenciação estratégica. **Projética**, v. 2, n. 2, p. 31-42, 2011.
- SELL, I. **Projeto do trabalho humano: melhorando as condições de trabalho**. Florianópolis: UFSC, 2002.
- Seitz, T; Balzulat, J; Bubb, H. Anthropometry and measurement of posture and motion. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 25, p. 447-453, 2000.
- SILVA, F.; DUARTE, L.; ROLDO, L.; KINDLEIN, W. A Digitalização Tridimensional Móvel e sua aplicação no Design de Produto. **Design & Tecnologia**, v.1, n.1, p. 60-65, 2010.

SILVA, F. **Usinagem de Espumas de Poliuretano e Digitalização Tridimensional para Fabricação de Assentos Personalizados para Pessoas com Deficiência.**

Porto Alegre: UFRGS, 2011. 192p. (Tese de Doutorado em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Materiais – PPGE3M da Universidade Federal do Rio Grande do Sul).

SIMMONS, Karla Peavy. **Body measurement techniques: a comparison of three-dimensional body scanning and physical anthropometric methods.** Raleigh: NCSU, 2001. (Tese de Doutorado. North Carolina State University).

SISAY A.; YAMAURA H., Effects of multiple working positions on user comfort: A study on multi-position ergonomic computer workstation. **Procedia Manufacturing**, v. 3,p. 4792 – 4799, 2015.

STEINFELD, E. Modeling spatial interaction through full-scale modeling. **International journal of industrial ergonomics**, v. 33, n. 3, p. 265-278, 2004.

PHEASANT, Stephen. **Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and the Design of Work.** Philadelphia: Taylor & Francis Inc., 2003.

THOMPSON, C, W; FLOYD, R. T. **Manual de cinesiologia estrutural.** São Paulo: Manole, 2002.

TILLEY, A. R.; DREYFUSS, H. Associates. **As medidas do homem e da mulher - fatores humanos em design.** Editora Bookman, 2005.

TOMMASELLI, A.; SILVA J.; HASEGAWA J.; GALO M.; DAL POZ, A. Fotogrametria: aplicações a curta distância. In: MENEGUETE, M; ALVES, N. (Org.). **FCT.** Presidente Prudente, 1999, v. 40.

TOMKINSON, G.; SHAW, L.; Quantification of the postural and technical errors in asymptomatic adults using direct 3D whole body scan measurements of standing posture. **Gait & Posture**, v. 3, p. 172–177, 2013.

TONG, J; ZHOU, J; LIU, L; PAN, Z; YAN, H. Scanning 3d full human bodies using kinects. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 18, n. 4, p. 643-650, 2012.

ULRICH K.; EPPINGER S. **Product design and development**. New York: McGraw-Hill Higher Education, 5^o Ed. 2012.

WANG, M.; WU, W.; LIN, K.; YANG, S.; LU, J. Automated anthropometric data collection from three-dimensional digital human models. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 32, n. 1-2, p. 109-115, 2007.

WANG, M.; WU, F.; MA, M.; CHANG, R. A new user-centered design approach: A hair washing assistive device design for users with shoulder mobility restriction. **Applied Ergonomics**, v. 40, n. 5, p. 878-886, 2009.

WHITING, W. C.; ZERNICKE, R. F. **Biomecânica funcional e das lesões musculoesqueléticas**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009, 312p.

WU F. - G.; MA M. - Y.; CHANG R. - H. A new user-centered design approach: A hair washing assistive device design for users with shoulder mobility restriction. **Applied Ergonomics**, v. 40, p. 878 – 886, 2009.

VEZZETTI, E; MARCOLIN, F. 3D human face description: landmarks measures and geometrical features. **Image and Vision Computing**, v. 30, n. 10, p. 698-712, 2012.

VIDAL, Mário. **Ergonomia na Empresa: Útil, Prática e Aplicada**. Rio de Janeiro: ECV,2002.

YANG J., KIMA J. H., ABDEL-MALEK K., MARLER T., BECK S., KOPP. G. R. A new digital human environment and assessment of vehicle interior design. **Computer-Aided Design**, v. 39, p. 548–558, 2007.

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.

APÊNDICE A

O roteiro que estrutura a observação do uso do Modelo Humano Digital Paramétrico pela autora da presente pesquisa é baseado nos princípios de usabilidade de Lipton (2007). Estes princípios são utilizados para auxiliar no desenvolvimento de produtos ou sistemas visando à facilidade de uso. São 5 os princípios de usabilidade conforme Lipton (2007):

- Eficaz: que o produto ou sistema tenha capacidade de cumprir com a tarefa;
- Eficiente: que o produto ou sistema tenha capacidade de cumprir com a tarefa com economia de tempo e esforço;
- Tolerante a erros: que o uso do produto ou sistema ajude os usuários a evitar ou contornar erros;
- Fácil de aprender: que o produto ou sistema seja fundamentado no conhecimento prévio dos usuários.

- 1) O MHD desenvolvido na presente pesquisa é uma ferramenta útil para o processo de projeto de produto?
- 2) Foi possível inserir os parâmetros estáticos no MHD desenvolvido na presente pesquisa com facilidade?
- 3) Foi possível obter os parâmetros antropométricos dinâmicos a partir da análise ergonômica realizada utilizando o MHD?
- 4) Você teve alguma dificuldade em operar o MHD desenvolvido na presente pesquisa, se sim, quais?
- 5) A ferramenta – MHD Paramétrico – contribuiu para o projeto de produto?
- 6) Foi fácil ou prazeroso utilizar o modelo?
- 7) As ferramentas de uso do modelo ajudaram a evitar erros ou contornar erros de uso?
- 8) O uso de cores no MHD facilitou a identificação dos parâmetros de projeto?

O objetivo desta observação é analisar o uso do MHD - desde a aplicação dos parâmetros estáticos no modelo, a realização da análise ergonômica e a obtenção dos parâmetros antropométricos dinâmicos – conforme os critérios de qualidade estabelecidos por Lipton (2007) como: Eficácia, Eficiência, Tolerância aos erros e Fácil de aprender.

APÊNDICE B

O roteiro que estrutura a observação sistemática e as questões que compõem a entrevista semiestruturada seguem os princípios de Rudio (2013), em que afirma que se deve limitar e definir com precisão o que se deseja observar. A observação é realizada pela autora da presente pesquisa e ocorre nos ambientes em que os participantes da pesquisa realizam a tarefa determinada para o uso dos produtos, estação de trabalho e do simulador veicular de autoescola. Os dois participantes realizam a mesma tarefa, que deve ser realizada em aproximadamente 7 minutos. Enquanto realizam a tarefa, a autora observa os alcances das mãos e dos pés dos participantes ao realizarem as ações pré-definidas e descritas no item 3.2.3 bem como a postura da coluna vertebral dos participantes.

Assim como a observação, as questões da entrevista semiestruturada são realizadas pela autora da presente pesquisa durante a tarefa realizada pelos participantes nos produtos estação de trabalho e simulador veicular. O objetivo é identificar se os participantes ao realizarem as tarefas definidas na presente pesquisa sentem algum tipo de desconforto músculo articular em relação à distância dos produtos e de seus componentes. As questões sobre a análise do uso da estação de trabalho são:

- O mouse, o teclado, a altura da mesa, a tela do computador, a distância do tampo da mesa e o botão de ligar e desligar a CPU do computador estão a dentro do alcance dos braços? Os participantes sentem algum desconforto muscular ou na coluna vertebral ao exercer as tarefas determinadas, e algum desconforto ao utilizar a cadeira da estação de trabalho?

As questões sobre a análise do uso do simulador veicular de autoescola são:

- O volante, o caixa de câmbio, o painel, os vidros retrovisores estão dentro do alcance dos braços? Os pedais estão dentro do alcance das pernas? Os participantes sentem algum desconforto muscular ou na coluna vertebral ao exercer as tarefas determinadas?

APÊNDICE C



TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está convidado(a) a participar, como voluntário(a), da pesquisa do Programa de Pós Graduação em Design da UFRGS (PgDesign) intitulada "*Modelo Humano Digital customizável para análise ergonômica virtual no projeto de produto*". A pesquisa está sendo desenvolvida pela Doutoranda Profª. Me. Clariana Fischer Brendler sob a orientação do Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira. Você, participante da pesquisa, será convidado por meio de uma carta por via e-mail.

Justifica-se a realização desta pesquisa considerando a necessidade de desenvolver um modelo humano digital customizável que possibilite a obtenção dos parâmetros antropométricos dinâmicos, obtidos a partir da análise do movimento do usuário ao exercer a função de determinado produto. Estes parâmetros antropométricos dinâmicos são inseridos no processo de projeto para o desenvolvimento de produtos seguros, confortáveis e eficazes. O modelo humano digital desenvolvido na presente pesquisa pretende auxiliar tanto o projetista quanto o usuário do produto. O modelo humano digital será desenvolvido através de softwares com códigos livres e gratuitos o que beneficia profissionais e alunos de graduação a utilizarem o modelo humano digital para realização das análises ergonômicas para o desenvolvimento de projetos. O eixo temático ergonomia, design e tecnologia figura entre os principais eventos nacionais da área do design (e.g., P&D Design, Ergodesign e Usihc), o que demonstra a relevância da interseção entre esses campos de conhecimento.

O **objetivo desta pesquisa** é desenvolver um modelo humano digital customizável que contenha os parâmetros antropométricos estáticos e os parâmetros relacionados ao movimento do corpo para ser utilizado na análise ergonômica virtual de forma a obter os parâmetros antropométricos dinâmicos.

A **participação** de você como participante da presente pesquisa, será nas etapas de coletas de dados, das quais consistem em três etapas:

- obtenção das medidas antropométricas;
- simulação do uso dos produtos existentes (estação de trabalho e um simulador veicular de autoescola);
- simulação do uso dos produtos por meio de protótipos.

A primeira etapa, consiste na obtenção das medidas antropométricas dos participantes, por meio de instrumentos de medição como fitas métricas e é realizada pela autora da presente pesquisa. O tempo estimado para a sua participação como voluntário nesta etapa da pesquisa de coleta dos parâmetros antropométricos está estimada em 20 minutos aproximadamente.

A segunda etapa, é a participação na simulação do uso dos produtos existentes e, durante esta simulação, é aplicada a técnica da observação pela autora da presente pesquisa e uma entrevista semiestruturada pela autora da presente pesquisa objetivando respostas sobre questões específicas relacionadas ao conforto e a os alcances da realização das tarefas prescritas para o uso do produto e um registro fotográfico dos movimentos realizados pelos



TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

participantes durante a execução da tarefa prescrita pela autora da presente pesquisa. O tempo estimado para a sua participação como voluntário nesta etapa da pesquisa é de 7 minutos aproximadamente para cada produto (estação de trabalho e o simulador veicular).

A terceira etapa, consiste na participação da simulação dos uso de protótipos dos mesmos produtos da etapa anterior, realizada em laboratório equipado com câmeras de captura de movimento. O tempo estimado para a sua participação como voluntário nesta etapa da pesquisa é de aproximadamente 10 minutos para colocação dos pontos anatômicos para a captura de movimento pelas sensores das câmeras de infravermelho, e para a simulação do uso dos protótipos de aproximadamente 7 minutos para cada protótipo (estação de trabalho e o simulador veicular).

A coleta de dados objetiva analisar e verificar o desempenho do modelo humano digital desenvolvido na presente pesquisa para auxiliar em análises ergonômicas em ambiente virtual. A entrevista será registrada por escrito, sendo posteriormente descrita em um relatório que fará parte desta pesquisa (Os nomes dos participantes bem como as imagens dos rostos não serão divulgados). As entrevistas e os registros por fotos serão realizados paralelamente durante a realização das simulações dos produtos.

Sobre os riscos possíveis que possam ocorrer aos participantes da pesquisa, durante os procedimentos, é possível que possa ser ocasionado algum desconforto ou cansaço no participante, durante a etapa de coleta das medidas antropométricas ou durante as etapas de simulação dos produtos.

O objetivo desta pesquisa é manter ao mínimo os riscos possíveis provenientes de sua participação. Para tal propósito, estão previstas as seguintes medidas por parte do pesquisador:

- Se caso for ocasionado algum desconforto ou cansaço no participante, o mesmo poderá parar a sua participação em qualquer momento para descansar, (na coleta das medidas antropométricas e durante as simulações dos produtos);
- Não haverá custos de participação em nenhuma etapa da pesquisa;
- Assegura-se o sigilo acerca da identidade e das imagens do participante;
- As informações obtidas por sua participação servirão exclusivamente para fins de pesquisa com publicação em relatório e artigos relacionados, sendo armazenadas por cinco anos e, posteriormente, destruídas;
- A participação da pesquisa é facultativa, podendo-se retirar o consentimento ou desistir da atividade quando desejado;
- O participante recebe uma via do termo de consentimento assinado como garantia legal.

O deslocamento para a realização das etapas da pesquisa serão as seguintes:

- Para a realização da etapa no laboratório VID, você, participante, poderá se deslocar caminhando, pelo fato de ser aluno do programa de pós-graduação em Design da UFRGS (inserido na escola de Engenharia) e o laboratório VID se encontra no mesmo prédio;



TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

- A autoescola se localiza ao lado do prédio da escola de Engenharia da UFRGS, portanto você, participante, irá caminhando juntamente com a autora da presente pesquisa;

- O laboratório Lapex se localiza no campus da UFRGS da Faculdade de Educação Física, Fisioterapia e Dança. Desta forma, você, participante da pesquisa irá de carro juntamente com a autora da presente pesquisa.

Você, participante da presente pesquisa, tem o **benefício** de contribuir diretamente para o desenvolvimento do modelo humano digital customizável o que irá auxiliar indiretamente no desenvolvimento de produtos mais confortáveis, seguros e eficazes, na melhoria da qualidade de vida dos usuários de produtos e no ensino nas áreas de graduação desenvolvem projetos ergonômicos de produtos como por exemplo as área da Arquitetura, Engenharias e Design.

Lembrando que a sua recusa não resultará em nenhum prejuízo em relação ao pesquisador responsável e sua instituição.

Qualquer dúvida, você pode entrar em contato com os pesquisadores responsáveis e com o Comitê de Ética na Pesquisa (CEP/UFRGS) através dos contatos:

- Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira: email (fabioigt@ufrgs.br) e telefone (51) 33084258;
- Prof^o.Ms. Clariana Fischer Brendler: e-mail (clariana.brendler@ufrgs.br) e telefone (51) 33084258;
- CEP/UFRGS: e-mail (etica@propesq.ufrgs.br) e telefone (51) 3307-3738.

Eu, _____, abaixo assinado (a), concordo em participar de forma voluntária da atividade que integra a pesquisa *Modelo Humano Digital customizável para análise ergonômica virtual no projeto de produto*. Fui devidamente informado(a) e esclarecido(a) pelo pesquisador Clariana Fischer Brendler sobre esta atividade, assim como, os benefícios da minha participação. Foi me garantido o direito de retirar meu consentimento a qualquer momento.

Local e data: _____

Voluntário –

Clariana Fischer Brendler / Pesquisadora / Doutoranda do PGDesign-UFRGS

APÊNDICE D



Modelo de convite encaminhado via e-mail para os participantes da pesquisa

Prezado (a),

Solicito a sua participação na pesquisa de doutorado intitulada "*Modelo Humano Digital customizável para análise ergonômica virtual no projeto de produto*". Essa pesquisa está sendo desenvolvida por mim, Clariana Fischer Brendler, no Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS, sob orientação do Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira e coorientação da prof^a. Dr^a. Gabriela Zubaran de Azevedo Pizzato.

Sua participação consiste em três etapas:

- Na primeira etapa, irei coletar as suas medidas antropométricas. Ou seja, a medida da estatura, medida dos braços, pernas, tronco, mãos, pés e da cabeça. Este procedimento será efetuado por mim e utilizarei instrumentos manuais de medição como trenas e fitas métricas. O tempo estimado para conclusão da coleta das medidas é de aproximadamente 20 minutos. Para a coleta de algumas medidas, é necessário permanecer na postura em pé e outras na postura sentado. Para a vestimenta, o ideal é que você, participante da pesquisa, utilize uma roupa justa ao corpo, ou uma bermuda e regata, para que a vestimenta não interfira nos valores das medidas que serão coletadas. Esta etapa será realizada no laboratório Virtual design da UFRGS, que se encontra na Escola de Engenharia da UFRGS.

- Na segunda etapa, sua participação consiste em realizar uma simulação da tarefa do uso de dois produtos, são eles: uma estação de trabalho e um simulador veicular de autoescola. Essa simulação é baseada em movimentos de uso dos produtos como sentar na cadeira, ligar e desligar o monitor, realizar alcances sobre o tampo da mesa e escrever no teclado. No simulador veicular, a tarefa consiste em simular que está dirigindo o carro, como passar as marchas, acelerar frear, olhar no retrovisor. O tempo estimado para cada simulação é de aproximadamente 5 minutos. Enquanto a realização da tarefa nos produtos, será realizado uma entrevista semiestruturada por mim, com questões sobre o conforto percebido durante o uso dos produtos e os

alcances da realização das tarefas e um registro fotográfico dos movimentos realizados pelo participante durante a execução da tarefa. Para a simulação da tarefa realizada na estação de trabalho, esta etapa será realizada no laboratório Virtual Design da UFRGS, que se encontra na Escola da Engenharia da UFRGS e, para a simulação do equipamento de simulação veicular, esta etapa será realizada na autoescola que se encontra ao lado do prédio da Engenharia da UFRGS.

- Na terceira etapa, você, participante da pesquisa, realizará a mesma simulação executada anteriormente na estação de trabalho e no simulador veicular de autoescola, entretanto, utilizando protótipos desses produtos. Nesta etapa, serão inseridos pontos refletivos nos pontos anatômicos do seu corpo para que realize uma captura de movimento por meio de câmeras de infravermelho, existentes no laboratório. Esta análise deverá ter uma duração de aproximadamente 30 minutos, desde a etapa de colocação dos pontos anatômicos até as simulações realizadas em ambos os produtos, na estação de trabalho e no simulador veicular de auto escola, respectivamente. Esta etapa será realizada no laboratório da Esef (Educação física da UFRGS). Para a vestimenta, o ideal é que você, participante da pesquisa, utilize uma roupa justa ao corpo, ou uma bermuda e regata, para que a vestimenta não interfira nos valores das medidas que serão coletadas.

Você, participante da pesquisa, será levado de automóvel para a Esef por mim, pesquisadora deste trabalho de tese de doutorado.

Com a sua ajuda poderei avaliar o modelo humano customizável desenvolvido na pesquisa para que este auxilie no desenvolvimento de produtos confortáveis, seguros e eficazes.

Confirmado o seu desejo de participar da pesquisa, poderemos agendar um local e horário de encontro para que assinemos o termo de consentimento. Você receberá uma via desse termo como garantia legal. Lembrando que a sua participação é facultativa e a sua recusa não resultará em nenhum prejuízo em relação ao pesquisador responsável e sua instituição.

Obrigada por sua atenção.

APÊNDICE E



TERMO DE ANUÊNCIA

O Laboratório de Pesquisa do Exercício (Lapex) da Faculdade de Educação Física, Fisioterapia e Dança da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) está ciente e autoriza a participação da pesquisadora, Prof^a. Me. Clariana Fischer Brendler, responsável pelo projeto de pesquisa de doutorado da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, intitulado de "*Modelo Humano Digital customizável para análise ergonômica virtual no projeto de produto*", e coordenado pelo pesquisador Dr. Fábio Gonçalves Teixeira.

O objetivo desta pesquisa é desenvolver um modelo humano digital customizável que contenha os parâmetros antropométricos estáticos e os parâmetros relacionados ao movimento do corpo para ser utilizado na análise ergonômica virtual de forma a obter os parâmetros antropométricos dinâmicos. A pesquisadora irá utilizar o espaço do laboratório assim como os equipamentos disponíveis como as câmeras de captura para análise do movimento para realização das simulações e testes em protótipos de dois produtos, estação de trabalho e um simulador veicular de autoescola. O objetivo desta análise é verificar questões de conforto e acessibilidade de alcances referentes aos produtos e verificação do desempenho do modelo humano digital desenvolvido na presente pesquisa. O Laboratório de Pesquisa do Exercício - Lapex tem o benefício de contribuir para o desenvolvimento do modelo humano digital customizável o que irá auxiliar indiretamente no desenvolvimento de produtos mais confortáveis, seguros e eficazes, na melhoria da qualidade de vida dos usuários de produtos e no ensino nas áreas de graduação em que desenvolvem projetos ergonômicos de produtos como, por exemplo, as áreas da Arquitetura, Engenharias e Design.

Porto Alegre, 05 de outubro de 2016.

Pesquisador - Clariana Fischer Brendler/Doutoranda do PgDesign/UFRGS.

Responsável pelo setor de Biomecânica/UFRGS.



TERMO DE ANUÊNCIA

O centro de Formação de Condutores CFC - Touring está ciente e autoriza a participação da pesquisadora, Profª. Me. Clariana Fischer Brendler, responsável pelo projeto de pesquisa de doutorado da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, intitulado de "*Modelo Humano Digital customizável para análise ergonômica virtual no projeto de produto*", e coordenado pelo(a) pesquisador(a) Dr. Fábio Gonçalves Teixeira.

O objetivo desta pesquisa é desenvolver um modelo humano digital customizável que contenha os parâmetros antropométricos estáticos e os parâmetros relacionados ao movimento do corpo para ser utilizado na análise ergonômica virtual de forma a obter os parâmetros antropométricos dinâmicos.

A pesquisadora irá coletar as medidas do simulador veicular presente na referida CFC, para fins de desenvolvimento do modelo 3D. Após, irá realizar simulações e testes de uso do simulador para fins de observar questões de conforto e acessibilidade de alcances referentes aos pedais e direção do simulador veicular. Será realizado um registro de fotos do simulador. O tempo estimado para a coleta de dados é de 10 minutos, aproximadamente, e para as simulações de uso do equipamento, 15 minutos aproximadamente.

É importante ressaltar que o nome do CFC não será divulgado.

O CFC - Touring tem o benefício de contribuir diretamente para o desenvolvimento do modelo humano digital customizável o que irá auxiliar indiretamente no desenvolvimento de produtos mais confortáveis, seguros e eficazes, na melhoria da qualidade de vida dos usuários de produtos e no ensino

nas áreas de graduação em que desenvolvem projetos ergonômicos de produtos como, por exemplo, as área da Arquitetura, Engenharias e Design.

Estão previstas as seguintes medidas por parte da pesquisadora:

- Não haverá custos de participação;
- Assegura-se o sigilo acerca da identidade da instituição;
- As informações obtidas por sua participação servirão exclusivamente para fins de pesquisa com publicação em relatório e artigos relacionados, sendo armazenadas por cinco anos e, posteriormente, destruídas;
- O participante recebe uma via do termo de consentimento assinado como garantia legal.

Porto Alegre, 07 de outubro de 2016.

Pesquisador - Clariana Fischer Brendler/Doutorado do PgDesign/UFRGS

Responsável pelo setor / CFC - Touring.

APÊNDICE F - Algoritmo utilizado e desenvolvido no software Scilab®

```

function [maior_menor_angulo, angulo_medio, comprimentos]=medidas(vx1, vy1,
vz1,
vx2, vy2, vz2, vx3, vy3, vz3, vx4, vy4, vz4)
clc
//definindo contadores para o comprimento medio dos membros
//bm e o comprimento medio do vetor/membro "b" assim como cm e o
comprimento
medio do vetor/membro "c".
//Elas tem valor inicial de zero para que nao interfira no somatorio dos
componentes do vetor
//pe e o produto escalar entre os dois membros/vetores
//n e o numero de dimensoes do vetor
//os dois vetores com os comprimentos dos dois membros sao dispostos lado a
lado
na matriz "R"
//as variaveis seguidas de "maior" e "menor" sao definidas para contagem e
comparacao a fim de encontrar os maiores e menores valores dentro dos
vetores de
comprimentos e angulos
bm=0, cm=0, pe=0;
b_maior=0, c_maior=0, b_menor=10000, c_menor=10000;
a_maior=0; a_menor=10000;
n=length(vx1);
//Vetores de comprimentos dos membros "b" e "c"
b=sqrt((vx2-vx1).^2+(vy2-vy1).^2+(vz2-vz1).^2);
c=sqrt((vx4-vx3).^2+(vy4-vy3).^2+(vz4-vz3).^2);
//Comprimentos médios dos membros
for i=1:1:n
bm=bm+b(i);
cm=cm+c(i);
end
bm=bm/n;
cm=cm/n;
//maior e menor dimensao dos membros:
for i=1:1:n
if abs(b(i))>abs(b_maior)
b_maior=abs(b(i));
end
if abs(c(i))>abs(c_maior)
c_maior=abs(c(i));
end
if abs(b(i))<abs(b_menor)
b_menor=abs(b(i));
end
if abs(c(i))<abs(c_menor)
c_menor=abs(c(i));
end
end
//vetor com valores maior, medio e menor do membro
comprimentos=[b_maior,c_maior;bm,cm;b_menor,c_menor]
//Produto escalar
for i=1:1:n
d(i)=(vx2(i)-vx1(i))*(vx4(i)-vx3(i))+(vy2(i)-vy1(i))*(vy4(i)-vy3(i))+

```

```

(vz2(i)-vz1(i))*(vz4(i)-vz3(i));
end
for i=1:1:n
pe=pe+d(i);
end
pe=pe/n;
//Angulo medio entre os dois membros
am=(acos(pe/(bm*cm))*180)/%pi;
while abs(am)>360
am=abs(am)-360
end
angulo_medio=[am,abs(180-am)];
//vetor de angulos entre os dois membros
for i=1:1:n
va(i)=(acos(d(i)/(b(i)*c(i)))*180)/%pi;
end
for i=1:1:n
if abs(va(i))>abs(a_maior)
a_maior=abs(va(i));
end
if abs(va(i))<abs(a_menor)
a_menor=abs(va(i));
end
end
maior_menor_angulo=[a_menor,abs(180-a_menor);a_maior,abs(180-
a_maior)];
endfunction

```

APÊNDICE G – Dados convertidos (vetores e ângulos)

Figura 155 - resultados dos parâmetros (vetores e ângulos) para o participante feminino.

Frame 0			Frame 400			Frame 676			Frame 960			Frame 1156		
	Pé direito	Tibia direita	Tibia Direita	Femur Direito	Tibia Esquerda	Femur Esquerdo	Pé esquerdo	Tibia esquerda	Femur Direito	Tibia Direita	Tibia esquerda	Femur Esquerdo	Pé esquerdo	Tibia esquerda
	Hálux – Calcâneo	Maleolo – Joelho	Maleolo – Joelho	Joelho – Trocanter	Maleolo – Joelho	Joelho – Trocanter	Hálux – Calcâneo	Maleolo – Joelho	Joelho – Trocanter	Maleolo – Joelho	Maleolo – Joelho	Joelho – Trocanter	Hálux – Calcâneo	Maleolo – Joelho
Menor comprimento (mm)	169.93528	324.06635	324.06635	412.07402	319.05329	371.01752	184.09508	318.57338	412.07402	324.06635	324.06635	371.01752	184.09508	318.57338
Comprimento Médio (mm)	169.93528	324.06635	324.06635	412.07402	319.05329	371.01752	184.09508	318.57338	412.07402	324.06635	324.06635	371.01752	184.09508	318.57338
Menor ângulo (graus)	73.461814	79.099422	79.099422	79.099422	78.718262	75.674741	75.674741	75.674741	79.099422	79.099422	79.099422	79.099422	75.674741	75.674741
Menor ângulo (graus)	73.461814	79.099422	79.099422	79.099422	78.718262	75.674741	75.674741	75.674741	79.099422	79.099422	79.099422	79.099422	75.674741	75.674741
Menor comprimento (mm)	171.3155	325.01692	325.01692	410.44975	317.67279	342.55948	183.22118	317.67279	410.44975	325.01692	325.01692	342.55948	183.22118	317.67279
Comprimento Médio (mm)	171.98787	325.26714	325.26714	411.07614	318.04202	343.02213	183.50753	318.04202	411.07614	325.26714	325.26714	343.02213	183.50753	318.04202
Menor ângulo (graus)	75.219184	85.611425	85.611425	85.611425	74.713536	69.784335	69.784335	69.784335	85.611425	85.611425	85.611425	85.611425	69.784335	69.784335
Menor ângulo (graus)	75.337846	85.788891	85.788891	85.788891	74.855592	69.942448	69.942448	69.942448	85.788891	85.788891	85.788891	85.788891	69.942448	69.942448
Menor comprimento (mm)	170.41714	321.19932	321.19932	394.89112	323.34192	363.4914	184.2634	323.34192	394.89112	321.19932	321.19932	363.4914	184.2634	323.34192
Comprimento Médio (mm)	170.55276	321.78474	321.78474	395.31079	323.53321	363.68571	184.77275	323.53321	395.31079	321.78474	321.78474	363.68571	184.77275	323.53321
Menor ângulo (graus)	70.416559	85.314603	85.314603	85.314603	71.697238	71.697238	71.697238	71.697238	85.314603	85.314603	85.314603	85.314603	71.697238	71.697238
Menor ângulo (graus)	70.960956	78.433523	78.433523	78.433523	85.418492	71.781096	71.781096	71.781096	78.433523	78.433523	78.433523	78.433523	71.781096	71.781096
Menor comprimento (mm)	171.0497	323.71901	323.71901	396.96977	317.05678	342.96793	183.87224	316.26887	396.96977	323.71901	323.71901	342.96793	183.87224	316.26887
Comprimento Médio (mm)	171.6405	323.71901	323.71901	397.16988	316.70222	343.32387	184.00808	316.70222	397.16988	323.71901	323.71901	343.32387	184.00808	316.70222
Menor ângulo (graus)	-75	84.397784	84.397784	84.397784	78.756721	78.756721	78.756721	78.756721	84.397784	84.397784	84.397784	84.397784	78.756721	78.756721
Menor ângulo (graus)	74.120098	84.530478	84.530478	84.530478	78.928939	-12735	-12735	-12735	84.530478	84.530478	84.530478	84.530478	-12735	-12735
Menor comprimento (mm)	171.65372	321.47939	321.47939	397.58521	316.389	343.29288	183.97826	316.389	397.58521	321.47939	321.47939	343.29288	183.97826	316.389
Comprimento Médio (mm)	172.18586	321.71922	321.71922	397.96638	316.83052	343.64005	184.13099	316.83052	397.96638	321.71922	321.71922	343.64005	184.13099	316.83052
Menor ângulo (graus)	73.578168	83.569259	83.569259	83.569259	79.030078	71.891934	71.891934	71.891934	83.569259	83.569259	83.569259	83.569259	71.891934	71.891934
Menor ângulo (graus)	74.197389	83.814855	83.814855	83.814855	79.245242	72.112256	72.112256	72.112256	83.814855	83.814855	83.814855	83.814855	72.112256	72.112256

Figura 156 - Continuação

Frame 0	Frame 0				Frame 0			
	Úlna esquerda Epicôndilo – Estiloide	Úmero esquerdo Acrómio – Epicôndilo	Mão esquerda Metacarpo – Estiloide	Úlna esquerda Estiloide – Epicôndilo	Úlna direita Epicôndilo – Estiloide	Úmero direito Acrómio – Epicôndilo	Mão direita Metacarpo – Estiloide	Úlna direita Epicôndilo – Estiloide
Menor comprimento (mm)	203.74739	292.12497	75.013332	203.74739	205.73041	283219	81.07404	205.73041
Comprimento Médio (mm)	203.74739	292.12497	75.013332	203.74739	205.73041	283219	81.07404	205.73041
Maior comprimento (mm)	203.74739	292.12497	75.013332	203.74739	205.73041	283219	81.07404	205.73041
Menor ângulo (graus)	128.26436		153.74494		128.94882		158.14842	
Maior ângulo (graus)	128.26436		153.74494		128.94882		158.14842	
Frame 400								
	Úlna esquerda Epicôndilo – Estiloide	Úmero esquerdo Acrómio – Epicôndilo	Mão esquerda Metacarpo – Estiloide	Úlna esquerda Estiloide – Epicôndilo	Úlna direita Epicôndilo – Estiloide	Úmero direito Acrómio – Epicôndilo	Mão direita Metacarpo – Estiloide	Úlna direita Epicôndilo – Estiloide
Menor comprimento (mm)	208.85641	257.23141	82.87943	208.85641	195.97449	273.71518	90.93954	195.97449
Comprimento Médio (mm)	209.27776	257.76909	83.545364	209.27776	197258	274.14128	91.176948	197.258
Maior comprimento (mm)	209.95714	258.32925	83.749627	209.95714	197.82315	274.7326	91.416629	197.82315
Menor ângulo (graus)	165.22584		161.67036		71.287428		154.65496	
Maior ângulo (graus)	166.01754		163.54085		72.004446		155.67788	
Frame 676								
	Úlna esquerda Epicôndilo – Estiloide	Úmero esquerdo Acrómio – Epicôndilo	Mão esquerda Metacarpo – Estiloide	Úlna esquerda Estiloide – Epicôndilo	Úlna direita Epicôndilo – Estiloide	Úmero direito Acrómio – Epicôndilo	Mão direita Metacarpo – Estiloide	Úlna direita Epicôndilo – Estiloide
Menor comprimento (mm)	208.85	257.23141	85.469293	208.85	213.32839	249.59567	85.708809	213.32839
Comprimento Médio (mm)	209.27776	257.76909	85.551128	209.27776	214.04738	250.05955	86.553012	214.04738
Maior comprimento (mm)	209.95714	258.32925	85.621259	209.95714	214.78827	250.44161	87.372765	214.78827
Menor ângulo (graus)	165.22584		152.38313		161.50893		151.74336	
Maior ângulo (graus)	166.01754		153.32458		162.11325		154.9128	
Frame 960								
	Úlna esquerda Epicôndilo – Estiloide	Úmero esquerdo Acrómio – Epicôndilo	Mão esquerda Metacarpo – Estiloide	Úlna esquerda Estiloide – Epicôndilo	Úlna direita Epicôndilo – Estiloide	Úmero direito Acrómio – Epicôndilo	Mão direita Metacarpo – Estiloide	Úlna direita Epicôndilo – Estiloide
Menor comprimento (mm)	198.21453	286.52051	87.487142	198.21453	211.28654	256.97471	78.549348	211.28654
Comprimento Médio (mm)	199.2081	287.08001	87.919166	199.2081	213.51697	258.55618	79.9784	213.51697
Maior comprimento (mm)	200.13995	287.46652	88.464682	200.13995	214.40382	259.89421	80.962954	214.40382
Menor ângulo (graus)	68.971682		152.94546		164.51704		148.02963	
Maior ângulo (graus)	69.341399		154.18764		165.12788		152.0673	
Frame 1156								
	Úlna esquerda Epicôndilo – Estiloide	Úmero esquerdo Acrómio – Epicôndilo	Mão esquerda Metacarpo – Estiloide	Úlna esquerda Estiloide – Epicôndilo	Úlna direita Epicôndilo – Estiloide	Úmero direito Acrómio – Epicôndilo	Mão direita Metacarpo – Estiloide	Úlna direita Epicôndilo – Estiloide
Menor comprimento (mm)	207.16419	266.7227	77.807455	207.16419	196.26767	271.07379	91.793246	196.26767
Comprimento Médio (mm)	207.63285	267.92869	78.386279	207.63285	196.97919	271.66053	92.561669	196.97919
Maior comprimento (mm)	208.47542	270.41635	79.22752	208.47542	197.75237	271.99632	93.107465	197.75237
Menor ângulo (graus)	161.39897		157.83064		68.362971		158.01768	
Maior ângulo (graus)	164.66834		159.65587		69.28023		159.07464	

Figura 157 - Continuação

Frame 0		Frame 0			Frame 0			Frame 0			Frame 0		
Tórax	Crânio	Lombar	Torácica	Femur direito	Lombar	Femur esquerdo	Lombar	Úmero esquerdo	Cervical	Úmero direito	Cervical	Cervical	
T6 - C7	C7 - Cabeça atrás	Sacro - L3	L3 - T12	Joelho - Trocânter	Sacro - L3	Joelho - Trocânter	Sacro - L3	Acrômio - Epicôndilo	T6 - C7	Acrômio - Epicôndilo	T6 - C7	T6 - C7	
Menor comprimento (mm)	145.38913	142.27438	103.07764	412.07402	49.396356	366.77786	49.396356	292.12497	145.38913	283219	145.38913	145.38913	
Comprimento Médio (mm)	145.38913	142.27438	103.07764	412.07402	49.396356	366.77786	49.396356	292.12497	145.38913	283219	145.38913	145.38913	
Menor ângulo (graus)	129.35522	165.52346		101.006		76.198787		34.818155		41.627354			
Menor ângulo (graus)	129.35522	165.52346		101.006		76.198787		34.818155		41.627354			
Frame 400													
Tórax	Crânio	Lombar	Torácica	Femur direito	Lombar	Femur esquerdo	Lombar	Úmero esquerdo	Cervical	Úmero direito	Cervical	Cervical	
T6 - C7	C7 - Cabeça atrás	Sacro - L3	L3 - T12	Joelho - Trocânter	Sacro - L3	Joelho - Trocânter	Sacro - L3	Acrômio - Epicôndilo	T6 - C7	Acrômio - Epicôndilo	T6 - C7	T6 - C7	
Menor comprimento (mm)	139.33413	119.1008	111.99107	410.44975	60.61353	342.55948	60.61353	257.23141	139.33413	273.71518	139.33413	139.33413	
Comprimento Médio (mm)	139.63456	119.46585	112.3957	411.07614	61.078865	343.02213	61.078865	257.76909	139.63456	274.14128	139.63456	139.63456	
Menor ângulo (graus)	110.03853	162.7464		95.62234		85.027583		94.704677		34.219612		140.13208	
Menor ângulo (graus)	110.93753	164.70592		94.275244		86.182255		95.511209		34.979708			
Frame 676													
Tórax	Crânio	Lombar	Torácica	Femur direito	Lombar	Femur esquerdo	Lombar	Úmero esquerdo	Cervical	Úmero direito	Cervical	Cervical	
T6 - C7	C7 - Cabeça atrás	Sacro - L3	L3 - T12	Joelho - Trocânter	Sacro - L3	Joelho - Trocânter	Sacro - L3	Acrômio - Epicôndilo	T6 - C7	Acrômio - Epicôndilo	T6 - C7	T6 - C7	
Menor comprimento (mm)	143.12931	118.48207	110.29506	394.89112	60.22458	363.4914	60.22458	281.62564	143.12931	249.59567	143.12931	143.12931	
Comprimento Médio (mm)	143.59638	119.0305	110.34032	395.31079	60.636919	363.68571	60.636919	282.34421	143.59638	250.05955	143.59638	143.59638	
Menor ângulo (graus)	91.886111	119.57006		396.00253		364.28148		282.99293		250.44161		144.18391	
Menor ângulo (graus)	92.635702	160.42221		97.360114		88.712176		31.170523		109.25899		110.05495	
Frame 960													
Tórax	Crânio	Lombar	Torácica	Femur direito	Lombar	Femur esquerdo	Lombar	Úmero esquerdo	Cervical	Úmero direito	Cervical	Cervical	
T6 - C7	C7 - Cabeça atrás	Sacro - L3	L3 - T12	Joelho - Trocânter	Sacro - L3	Joelho - Trocânter	Sacro - L3	Acrômio - Epicôndilo	T6 - C7	Acrômio - Epicôndilo	T6 - C7	T6 - C7	
Menor comprimento (mm)	223.31592	136.67845	104.82843	396.96977	58.906706	343.66554	58.906706	286.52051	140.44572	256.97471	140.44572	140.44572	
Comprimento Médio (mm)	224.32366	139.39209	105.66559	397.16988	59.437927	343.32387	59.437927	287.08001	141.04997	258.55618	141.04997	141.04997	
Menor ângulo (graus)	112.17641	142.63941		397.33361		343.66554		287.46652		259.89421		141.77094	
Menor ângulo (graus)	113.54613	159.49888		78.795668		84.941524		31.887542		95.746751		110.05495	
Frame 1156													
Tórax	Crânio	Lombar	Torácica	Femur direito	Lombar	Femur esquerdo	Lombar	Úmero esquerdo	Cervical	Úmero direito	Cervical	Cervical	
T6 - C7	C7 - Cabeça atrás	Sacro - L3	L3 - T12	Joelho - Trocânter	Sacro - L3	Joelho - Trocânter	Sacro - L3	Acrômio - Epicôndilo	T6 - C7	Acrômio - Epicôndilo	T6 - C7	T6 - C7	
Menor comprimento (mm)	136.32681	131.56367	107.31729	397.58521	59.422218	343.82699	59.422218	266.7227	136.32681	271.07379	136.32681	136.32681	
Comprimento Médio (mm)	136.82137	132.71189	107.53422	397.96638	59.777381	343.64005	59.777381	267.92869	136.82137	271.66053	136.82137	136.82137	
Menor ângulo (graus)	116.24898	133.76846		398.28758		343.82699		270.41635		271.99632		137.3754	
Menor ângulo (graus)	117.65385	159.29413		78.252583		82.781712		89.675495		37.660898		38.45095	
Frame 1156													
Tórax	Crânio	Lombar	Torácica	Femur direito	Lombar	Femur esquerdo	Lombar	Úmero esquerdo	Cervical	Úmero direito	Cervical	Cervical	
T6 - C7	C7 - Cabeça atrás	Sacro - L3	L3 - T12	Joelho - Trocânter	Sacro - L3	Joelho - Trocânter	Sacro - L3	Acrômio - Epicôndilo	T6 - C7	Acrômio - Epicôndilo	T6 - C7	T6 - C7	
Menor comprimento (mm)	136.32681	131.56367	107.31729	397.58521	59.422218	343.82699	59.422218	266.7227	136.32681	271.07379	136.32681	136.32681	
Comprimento Médio (mm)	136.82137	132.71189	107.53422	397.96638	59.777381	343.64005	59.777381	267.92869	136.82137	271.66053	136.82137	136.82137	
Menor ângulo (graus)	116.24898	133.76846		398.28758		343.82699		270.41635		271.99632		137.3754	
Menor ângulo (graus)	117.65385	159.29413		78.252583		82.781712		89.675495		37.660898		38.45095	

Figura 158 - Continuação.

Frame 0		Frame 0				Frame 0			
	Pé direito	Tíbia direita	Tíbia Direita	Femur Direito	Tibia Esquerda	Femur Esquerdo	Pé esquerdo	Tibia esquerda	
	<i>Hálux - Calcâneo</i>	<i>Maleolo - Joelho</i>	<i>Maleolo - Joelho</i>	<i>Joelho - Trocanter</i>	<i>Maleolo - Joelho</i>	<i>Joelho - Trocanter</i>	<i>Hálux - Calcâneo</i>	<i>Maleolo - Joelho</i>	
Menor comprimento (mm)	164.98788	346.01879	346.01879	441.99208	343.5826	403.49226	173.69801	343.5826	
Comprimento Médio (mm)									
Menor comprimento (mm)									
Menor ângulo (graus)	118.80826		132.06092			134.26228		113.5731	
Menor ângulo (graus)									
Frame 296		Frame 296				Frame 296			
	Pé direito	Tíbia direita	Tíbia Direita	Femur Direito	Tibia Esquerda	Femur Esquerdo	Pé esquerdo	Tibia esquerda	
	<i>Hálux - Calcâneo</i>	<i>Maleolo - Joelho</i>	<i>Maleolo - Joelho</i>	<i>Joelho - Trocanter</i>	<i>Maleolo - Joelho</i>	<i>Joelho - Trocanter</i>	<i>Hálux - Calcâneo</i>	<i>Maleolo - Joelho</i>	
Menor comprimento (mm)	162.60689	347.74416	347.74416	442.94695	340.83574	398.4382	175.4195	340.83574	
Comprimento Médio (mm)	163.9001	348.45633	348.52495	443.67731	342.70559	400.71293	177.19227	342.70559	
Menor comprimento (mm)	164.71491	349.52968	348.95558	444.60994	344.36899	403.39187	178.17407	344.36899	
Menor ângulo (graus)	63.61207		134.7542			136.62524		74.573904	
Menor ângulo (graus)	65.53443		135.12984			142.29154		98.244035	
Frame 380		Frame 380				Frame 380			
	Pé direito	Tíbia direita	Tíbia Direita	Femur Direito	Tibia Esquerda	Femur Esquerdo	Pé esquerdo	Tibia esquerda	
	<i>Hálux - Calcâneo</i>	<i>Maleolo - Joelho</i>	<i>Maleolo - Joelho</i>	<i>Joelho - Trocanter</i>	<i>Maleolo - Joelho</i>	<i>Joelho - Trocanter</i>	<i>Hálux - Calcâneo</i>	<i>Maleolo - Joelho</i>	
Menor comprimento (mm)	162.8312	347.74416	347.74416	443.36667	340.45998	405.91994	176.43412	340.45998	
Comprimento Médio (mm)	164.23931	348.46431	348.46431	443.90783	341.36874	407.278	178.62054	341.36874	
Menor comprimento (mm)	164.46884	348.97564	348.97564	444.53234	342.09063	408.05147	179.69697	342.09063	
Menor ângulo (graus)	64.302068		134.93413			145.18568		111.4974	
Menor ângulo (graus)	65.080721		135.42452			147.91003		119.5994	
Frame 860		Frame 860				Frame 860			
	Pé direito	Tíbia direita	Tíbia Direita	Femur Direito	Tibia Esquerda	Femur Esquerdo	Pé esquerdo	Tibia esquerda	
	<i>Hálux - Calcâneo</i>	<i>Maleolo - Joelho</i>	<i>Maleolo - Joelho</i>	<i>Joelho - Trocanter</i>	<i>Maleolo - Joelho</i>	<i>Joelho - Trocanter</i>	<i>Hálux - Calcâneo</i>	<i>Maleolo - Joelho</i>	
Menor comprimento (mm)	162.85576	347.49676	354.13274	449.93333	340.13233	397.76878	176.63522	340.13233	
Comprimento Médio (mm)	164.62954	350.1275	350.1275	447.37776	341.25173	400.67345	177.92896	341.25173	
Menor comprimento (mm)	166.70033	354.13274	347.49676	445.14043	342.26306	405.2234	179.24285	342.26306	
Menor ângulo (graus)	62.10313		133.78902			146.11567		118.6136	
Menor ângulo (graus)	69.544419		145.8301			147.77662		114.44262	

Figura 159 - Continuação.

Frame 0	Frame 0				Frame 0			
	Ulna esquerda Epicôndilo – Estilóide	Umerno esquerdo Acrómio – Epicôndilo	Mão esquerda Metacarpo – Estilóide	Ulna esquerda Estilóide – Epicôndilo	Ulna direita Epicôndilo – Estilóide	Umerno direito Acrómio – Epicôndilo	Mão direita Metacarpo – Estilóide	Ulna direita Epicôndilo – Estilóide
Menor comprimento (mm)	216.66795	284.98421	66.513157	216.66795	214.64855	275.03273	80.975305	214.64855
Comprimento Médio (mm)								
Maior comprimento (mm)								
Menor ângulo (graus)								
Maior ângulo (graus)		136.24495		117.33704		159.44245		141.13243
Frame 296	Frame 296				Frame 296			
Menor comprimento (mm)	216.15504	284.24461	67.21607	216.15504	214.1915	275.07272	81.221918	214.1915
Comprimento Médio (mm)	216.93369	285.25193	67.602255	216.93369	214.84686	275.69126	81.335964	214.84686
Maior comprimento (mm)	217.81185	285.83912	68.622154	217.81185	215.95138	276.3078	82.030482	215.95138
Menor ângulo (graus)	136.19635		115.27294		158.58875		137.18948	
Maior ângulo (graus)	136.87526		116.74694		159.25606		138.08182	
Frame 380	Frame 380				Frame 380			
Menor comprimento (mm)	216.0324	283.6794	66.490601	216.0324	214.5973	274.78901	80.430094	214.5973
Comprimento Médio (mm)	217.04799	284.85187	67.183604	217.04799	214.9686	275.52593	80.954204	214.9686
Maior comprimento (mm)	217.67866	285.79188	67.94851	217.67866	215.92591	276.16843	81.84131	215.92591
Menor ângulo (graus)	135.45625		115.06554		158.59569		137.49993	
Maior ângulo (graus)	136.72439		116.68412		159.55667		138.60513	
Frame 860	Frame 860				Frame 860			
Menor comprimento (mm)	214.30352	284.24989	69.267597	214.30352	215.59685	275.22536	82.152298	215.59685
Comprimento Médio (mm)	215.35392	285.01072	70.144157	215.35392	216.99807	276.30681	83.069985	216.99807

Figura 160 - Continuação.

Frame 0		Frame 0		Frame 0		Frame 0		Frame 0			
Tórax	Crânio	Lombar	Torácica	Femur direito	Lombar	Femur esquerdo	Lombar	Umero esquerdo	Cervical	Umero direito	Cervical
T6 - C7	C7 - Cabeça atrás	Sacro - L3	L3 - T12	Joelho - Trocânter	Sacro - L3	Joelho - Trocânter	Sacro - L3	Acrómio - Epicôndilo	T6 - C7	Acrómio - Epicôndilo	T6 - C7
Menor comprimento (mm)	155.96474	63.647467	118.05507	441.99208	63.647467	403.49226	63.647467	284.98421	139.27311	275.03273	139.27311
Comprimento Médio (mm)											
Menor comprimento (mm)											
Menor ângulo (graus)											
Menor ângulo (graus)	135.73756		172.46365	109.7951		113.0522		116.99486		122.93009	
Frame 296		Frame 296		Frame 296		Frame 296		Frame 296		Frame 296	
Tórax	Crânio	Lombar	Torácica	Femur direito	Lombar	Femur esquerdo	Lombar	Umero esquerdo	Cervical	Umero direito	Cervical
T6 - C7	C7 - Cabeça atrás	Sacro - L3	L3 - T12	Joelho - Trocânter	Sacro - L3	Joelho - Trocânter	Sacro - L3	Acrómio - Epicôndilo	T6 - C7	Acrómio - Epicôndilo	T6 - C7
Menor comprimento (mm)	143.92706	65.764732	119.04201	442.94695	65.764732	398.4382	65.764732	284.24461	137.8695	275.07272	137.8695
Comprimento Médio (mm)	145.17634	65.915077	119.99184	443.67731	65.915077	400.71293	65.915077	285.25193	138.52852	275.69126	138.52852
Menor comprimento (mm)	146.69015	66.098411	120.07081	444.60994	66.098411	403.39187	66.098411	285.83912	139.03237	276.3078	139.03237
Menor ângulo (graus)	128.65589	169.44359	171.60905	69.298045	65.053369	66.879891	65.053369	116.78378	123.0893	124.30775	123.0893
Menor ângulo (graus)	130.43331			70.431541				117.64824			
Frame 380		Frame 380		Frame 380		Frame 380		Frame 380		Frame 380	
Tórax	Crânio	Lombar	Torácica	Femur direito	Lombar	Femur esquerdo	Lombar	Umero esquerdo	Cervical	Umero direito	Cervical
T6 - C7	C7 - Cabeça atrás	Sacro - L3	L3 - T12	Joelho - Trocânter	Sacro - L3	Joelho - Trocânter	Sacro - L3	Acrómio - Epicôndilo	T6 - C7	Acrómio - Epicôndilo	T6 - C7
Menor comprimento (mm)	146.1985	65.764732	119.06721	443.36667	65.764732	405.91994	65.764732	283.6794	137.42271	274.78901	137.42271
Comprimento Médio (mm)	147.37354	66.162881	119.68099	443.90783	66.162881	407.278	66.162881	284.85187	138.20178	275.52593	138.20178
Menor comprimento (mm)	147.99324	66.910388	120.12077	444.53234	66.910388	408.05147	66.910388	285.79188	138.88844	276.16843	138.88844
Menor ângulo (graus)	129.36489	169.17683	170.7103	69.70533	62.853064	64.358099	62.853064	116.58754	122.5479	124.11503	122.5479
Menor ângulo (graus)	130.63781			70.472375				117.40916			
Frame 860		Frame 860		Frame 860		Frame 860		Frame 860		Frame 860	
Tórax	Crânio	Lombar	Torácica	Femur direito	Lombar	Femur esquerdo	Lombar	Umero esquerdo	Cervical	Umero direito	Cervical
T6 - C7	C7 - Cabeça atrás	Sacro - L3	L3 - T12	Joelho - Trocânter	Sacro - L3	Joelho - Trocânter	Sacro - L3	Acrómio - Epicôndilo	T6 - C7	Acrómio - Epicôndilo	T6 - C7
Menor comprimento (mm)	149.70972	63.63961	119.105	445.14043	63.63961	397.76878	63.63961	284.24989	138.23531	275.22536	138.23531
Comprimento Médio (mm)	151.10553	64.903668	120.12479	447.37776	64.903668	400.67345	64.903668	285.01072	139.08995	276.30681	139.08995

Figura 161 - resultados dos parâmetros (estação de trabalho) para o participante masculino.

Frame 0		Frame 0					
	Pé direito	Tibia direita	Femur Direita	Tibia Esquerda	Femur Esquerdo	Pé esquerdo	Tibia esquerda
(d.1),(d.2),(d.3)	Hálux – Calcâneo	Maleolo – Joelho	Maleolo – Trocanter	Maleolo – Joelho	Maleolo – Trocanter	Hálux – Calcâneo	Maleolo – Joelho
Menor comprimento (mm)	198.36834	446.22192	447.5567	449.53754	426.25579	201.45471	449.53754
Comprimento Médio (mm)	198.36834	446.22192	447.5567	449.53754	426.25579	201.45471	449.53754
Maior comprimento (mm)	198.36834	446.22192	447.5567	449.53754	426.25579	201.45471	449.53754
Menor ângulo (graus)	96.060225		81.427751				92.686048
Maior ângulo (graus)	96.060225		81.427751				92.686048
Frame 572		Frame 572					
	Pé direito	Tibia direita	Femur Direita	Tibia Esquerda	Femur Esquerdo	Pé esquerdo	Tibia esquerda
	Hálux – Calcâneo	Maleolo – Joelho	Maleolo – Trocanter	Maleolo – Joelho	Maleolo – Trocanter	Hálux – Calcâneo	Maleolo – Joelho
Menor comprimento (mm)	197.26885	446.39332	444.58295	448.10825	425.50911	200.05499	448.10825
Comprimento Médio (mm)	199.01245	446.52455	445.45196	449.81294	426.12631	200.9171	449.81294
Maior comprimento (mm)	199.78238	446.57586	446.80756	450.4864	427.25753	201.64821	450.4864
Menor ângulo (graus)	96.020608		81.438389				92.435932
Maior ângulo (graus)	96.401644		81.710181				92.87247
Frame 812		Frame 812					
	Pé direito	Tibia direita	Femur Direita	Tibia Esquerda	Femur Esquerdo	Pé esquerdo	Tibia esquerda
	Hálux – Calcâneo	Maleolo – Joelho	Maleolo – Trocanter	Maleolo – Joelho	Maleolo – Trocanter	Hálux – Calcâneo	Maleolo – Joelho
Menor comprimento (mm)	196.70791	446.11546	444.43785	449.03452	421.84476	201.4423	449.03452
Comprimento Médio (mm)	196764	446.73194	445.07827	449.65149	423.07799	201.75061	449.65149
Maior comprimento (mm)	197.26885	447.40809	446.10873	450.12332	424.32299	202.12125	450.12332
Menor ângulo (graus)	96.17549		80.576321				91.112791
Maior ângulo (graus)	96.487363		80.910602				91.547795
Frame 1252		Frame 1252					
	Pé direito	Tibia direita	Femur Direita	Tibia Esquerda	Femur Esquerdo	Pé esquerdo	Tibia esquerda
	Hálux – Calcâneo	Maleolo – Joelho	Maleolo – Trocanter	Maleolo – Joelho	Maleolo – Trocanter	Hálux – Calcâneo	Maleolo – Joelho
Menor comprimento (mm)	198.95226	446.59266	446.47172	449.00111	428.84146	201.62589	449.00111
Comprimento Médio (mm)	199.08551	446.60444	447.26499	449.40453	429.90512	201.79043	449.33054
Maior comprimento (mm)	199.5119	446.61169	447.69298	449.98778	430.47532	202.29928	449.98778
Menor ângulo (graus)	96.327274		81.680646				90.956619
Maior ângulo (graus)	96.399023		81.837452				91.257228

Figura 162 - Continuação

Frame 0		Frame 0						
	Úlna esquerda	Úmero esquerdo	Mão esquerda	Úlna esquerda	Úlna direita	Úmero direito	Mão direita	Úlna direita
(d.1),(d.2),(d.3)	<i>Epicôndilo – Estiloide</i>	<i>Acrômio – Epicôndilo</i>	<i>Metacarpo – Estiloide</i>	<i>Estiloide</i>	<i>Epicôndilo</i>	<i>Acrômio – Epicôndilo</i>	<i>Metacarpo – Estiloide</i>	<i>Epicôndilo</i>
Menor comprimento (mm)	308.37964	370.66697	104.3312	308.37964	291.95548	355.92274	102.28392	291.7019
Comprimento Médio (mm)	308.37964	370.66697	104.3312	308.37964	291.95548	355.92274	102.28392	291.7019
Maior comprimento (mm)	308.37964	370.66697	104.3312	308.37964	291.95548	355.92274	102.28392	291.7019
Menor ângulo (graus)	106.00989		144.37127		112.05727		148.99702	
Maior ângulo (graus)	106.00989		144.37127		112.05727		148.99702	
Frame 572		Frame 572						
	Úlna esquerda	Úmero esquerdo	Mão esquerda	Úlna esquerda	Úlna direita	Úmero direito	Mão direita	Úlna direita
(d.1),(d.2),(d.3)	<i>Epicôndilo – Estiloide</i>	<i>Acrômio – Epicôndilo</i>	<i>Metacarpo – Estiloide</i>	<i>Estiloide</i>	<i>Epicôndilo</i>	<i>Acrômio – Epicôndilo</i>	<i>Metacarpo – Estiloide</i>	<i>Epicôndilo</i>
Menor comprimento (mm)	307.15143	369.36161	103.52777	307.15143	294.9322	324.07869	97.18539	294.9322
Comprimento Médio (mm)	308.24361	370.14185	104.26546	308.24361	296.19286	326.05206	100.81457	296.19286
Maior comprimento (mm)	309.14236	370.89352	104.90948	309.14236	297.23223	329.30685	103.88936	297.23223
Menor ângulo (graus)	107.98058		143.52258		149.53075		153.31134	
Maior ângulo (graus)	109.37267		144.88069		152.44591		156.85476	
Frame 812		Frame 812						
	Úlna esquerda	Úmero esquerdo	Mão esquerda	Úlna esquerda	Úlna direita	Úmero direito	Mão direita	Úlna direita
(d.1),(d.2),(d.3)	<i>Epicôndilo – Estiloide</i>	<i>Acrômio – Epicôndilo</i>	<i>Metacarpo – Estiloide</i>	<i>Estiloide</i>	<i>Epicôndilo</i>	<i>Acrômio – Epicôndilo</i>	<i>Metacarpo – Estiloide</i>	<i>Epicôndilo</i>
Menor comprimento (mm)	295.49619	331.80265	96.337947	295.49619	287.34126	349.96286	103.4698	287.34126
Comprimento Médio (mm)	297.12967	333.99855	98.686429	297.12967	288.01063	350.90305	104.54382	288.01063
Maior comprimento (mm)	299.44783	342.07163	100.82162	299.44783	288.92387	352.33791	106.49413	288.92387
Menor ângulo (graus)	27.408078		144.02338		59.01807		152.37722	
Maior ângulo (graus)	40.006518		153.25365		60.114024		154.89294	
Frame 1252		Frame 1252						
	Úlna esquerda	Úmero esquerdo	Mão esquerda	Úlna esquerda	Úlna direita	Úmero direito	Mão direita	Úlna direita
(d.1),(d.2),(d.3)	<i>Epicôndilo – Estiloide</i>	<i>Acrômio – Epicôndilo</i>	<i>Metacarpo – Estiloide</i>	<i>Estiloide</i>	<i>Epicôndilo</i>	<i>Acrômio – Epicôndilo</i>	<i>Metacarpo – Estiloide</i>	<i>Epicôndilo</i>
Menor comprimento (mm)	303.54242	367.25604	100.86625	303.54242	294.12072	327.88108	94.265582	294.12072
Comprimento Médio (mm)	304.53739	368.17501	101.53217	304.53739	295.65216	332.32717	95.47712	295.65216
Maior comprimento (mm)	305.63213	369.30475	102.31813	305.63213	298.19624	339.63068	97.989795	298.19624
Menor ângulo (graus)	107777		137.87732		129.07205		149.89957	
Maior ângulo (graus)	109.67614		139.24844		150.23705		158.43692	

Figura 163 - Continuação

	Tórax	Crânio	Lombar	Torácica	Femur direito	Lombar	Femur esquerdo	Lombar	Úmero esquerdo	Cervical	Úmero direito	Cervical
Menor comprimento (mm)	T6 - C7	C7 - Cabeça atrás	Sacro - L3	L3 - T12	Joelho - Trocânter	Sacro - L3	Joelho - Trocânter	Sacro - L3	Joelho - Trocânter	T6 - C7	Acrômio - Epicôndilo	T6 - C7
Comprimento Médio (mm)	203.35683	156.2306	89.409172	87.988636	444.58295	89.409172	425.50911	89.409172	369.36161	203.35683	324.07869	203.35683
Maior comprimento (mm)	204.17936	157.52277	91.529662	89.665098	445.45196	91.529662	426.12631	91.529662	370.14185	204.17936	326.05206	204.17936
Menor ângulo (graus)	205.29735	161.00621	92.46621	90.824006	446.80756	92.46621	427.25753	92.46621	370.89352	205.29735	329.30685	205.29735
Maior ângulo (graus)	143.51935	145.89539	166.11202	84.551267	85.228435	84.551267	85.228435	85.228435	32.377219	83.660903	83.660903	83.660903
			169.71386	86.00686	86.2269194	86.00686	86.2269194	86.2269194	34.4334	90.69954	90.69954	90.69954
Frame 812												
	Tórax	Crânio	Lombar	Torácica	Femur direito	Lombar	Femur esquerdo	Lombar	Úmero esquerdo	Cervical	Úmero direito	Cervical
Menor comprimento (mm)	T6 - C7	C7 - Cabeça atrás	Sacro - L3	L3 - T12	Joelho - Trocânter	Sacro - L3	Joelho - Trocânter	Sacro - L3	Joelho - Trocânter	T6 - C7	Acrômio - Epicôndilo	T6 - C7
Comprimento Médio (mm)	202.47716	135	89.671623	88.983144	444.43785	89.671623	421.84476	89.671623	331.80265	202.47716	349.96286	202.47716
Maior comprimento (mm)	204.84457	136.49954	92.135693	90.631576	445.07827	92.135693	423.07799	92.135693	333.99855	204.84457	350.90305	204.84457
Menor ângulo (graus)	208.35067	139.1474	93.557469	91.972822	446.10873	93.557469	424.32299	93.557469	342.07163	208.35067	352.33791	208.35067
Maior ângulo (graus)	126.45168	145.89539	163.59396	84.583186	87.457758	84.583186	87.457758	87.457758	89.255553	35.87081	35.87081	35.87081
	132.65634	132.65634	166.0254	86.288604	90.024813	86.288604	90.024813	90.024813	97.088357	36.71758	36.71758	36.71758
Frame 1252												
	Tórax	Crânio	Lombar	Torácica	Femur direito	Lombar	Femur esquerdo	Lombar	Úmero esquerdo	Cervical	Úmero direito	Cervical
Menor comprimento (mm)	T6 - C7	C7 - Cabeça atrás	Sacro - L3	L3 - T12	Joelho - Trocânter	Sacro - L3	Joelho - Trocânter	Sacro - L3	Joelho - Trocânter	T6 - C7	Acrômio - Epicôndilo	T6 - C7
Comprimento Médio (mm)	208.13697	154.79987	83.964278	84.118963	446.47172	83.964278	426.04812	83.964278	367.25604	208.13697	327.88108	208.13697
Maior comprimento (mm)	210.10753	158.29089	85.690519	85.438385	447.94399	85.690519	428.44131	85.690519	368.17501	210.10753	332.32717	210.10753
Menor ângulo (graus)	211.42847	164.13714	87.344147	86.37708	449.80663	87.344147	430.59145	87.344147	369.30475	211.42847	339.63068	211.42847
Maior ângulo (graus)	146.86057	146.86057	164.76285	87.98522	82.13127	87.98522	82.13127	82.13127	34.316476	96.315225	96.315225	96.315225
	150.72278	150.72278	167.81634	90.007378	83.680281	90.007378	83.680281	83.680281	36.39544	105.02659	105.02659	105.02659
Frame 0												
	Tórax	Crânio	Lombar	Torácica	Femur direito	Lombar	Femur esquerdo	Lombar	Úmero esquerdo	Cervical	Úmero direito	Cervical
Menor comprimento (mm)	T6 - C7	C7 - Cabeça atrás	Sacro - L3	L3 - T12	Joelho - Trocânter	Sacro - L3	Joelho - Trocânter	Sacro - L3	Joelho - Trocânter	T6 - C7	Acrômio - Epicôndilo	T6 - C7
Comprimento Médio (mm)	204.24005	160.77935	96.591925	83.120395	460.70598	96.591925	438.99317	96.591925	340.85334	204.24005	338.34007	204.24005
Maior comprimento (mm)	204.24005	160.77935	96.591925	83.120395	460.70598	96.591925	438.99317	96.591925	340.85334	204.24005	338.34007	204.24005
Menor ângulo (graus)	145.40981	145.40981	171.23517	83.120395	460.70598	96.591925	438.99317	96.591925	340.85334	204.24005	338.34007	204.24005
Maior ângulo (graus)	145.40981	145.40981	171.23517	92.528245	92.528245	92.528245	92.941533	92.941533	78.464033	72.921642	72.921642	72.921642
				92.528245	92.528245	92.528245	92.941533	92.941533	78.464033	72.921642	72.921642	72.921642

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 164 - Resultados dos parâmetros (simulador veicular) para o participante masculino.

Frame 0										
	Pé direito	Tibia direita	Tibia Direita	Femur Direito	Tibia Direito	Tibia Esquerda	Femur Esquerdo	Pé esquerdo	Tibia esquerda	
	Hálux – Calcâneo	Maleolo – Joelho	Maleolo – Joelho	Joelho – Trocanter	Maleolo – Trocanter	Maleolo – Joelho	Joelho – Trocanter	Hálux – Calcâneo	Maleolo – Joelho	
Menor comprimento (mm)	196.54516	458.48228	458.48228	460.70598	461.47264	438.99317	193.36494	461.47264		
Comprimento Médio (mm)	196.54516	458.48228	458.48228	460.70598	461.47264	438.99317	193.36494	461.47264		
Maior comprimento (mm)	196.54516	458.48228	458.48228	460.70598	461.47264	438.99317	193.36494	461.47264		
Menor ângulo (graus)	106.58999		123.16327			129.96344		104.71295		
Maior ângulo (graus)	106.58999		123.16327			129.96344		104.71295		
Frame 372										
	Pé direito	Tibia direita	Tibia Direita	Femur Direito	Tibia Direito	Tibia Esquerda	Femur Esquerdo	Pé esquerdo	Tibia esquerda	
	Hálux – Calcâneo	Maleolo – Joelho	Maleolo – Joelho	Joelho – Trocanter	Maleolo – Trocanter	Maleolo – Joelho	Joelho – Trocanter	Hálux – Calcâneo	Maleolo – Joelho	
Menor comprimento (mm)	194.5302	457.69531	457.69531	457.62321	461.31768	439.51564	192.5487	461.31768		
Comprimento Médio (mm)	194.89418	457.81136	457.81136	458.47188	461.60309	440.39141	193.0338	461.60309		
Maior comprimento (mm)	195.53516	457.97161	457.97161	459.01743	461.73694	441.25956	194.13913	461.73694		
Menor ângulo (graus)	106.7354		123.26218			130.50104		103.44913		
Maior ângulo (graus)	107.09795		123.47112			130.64965		103.90763		
Frame 672										
	Pé direito	Tibia direita	Tibia Direita	Femur Direito	Tibia Direito	Tibia Esquerda	Femur Esquerdo	Pé esquerdo	Tibia esquerda	
	Hálux – Calcâneo	Maleolo – Joelho	Maleolo – Joelho	Joelho – Trocanter	Maleolo – Trocanter	Maleolo – Joelho	Joelho – Trocanter	Hálux – Calcâneo	Maleolo – Joelho	
Menor comprimento (mm)	194.57389	457.84386	457.84386	458.82785	461.88418	439.45193	192.28364	461.88418		
Comprimento Médio (mm)	195.10436	458.2385	458.2385	459.46064	462.3035	439.87736	193.38761	462.3035		
Maior comprimento (mm)	195.26905	458503	458,503	460.22277	463.03672	440.1761	194.58931	463.03672		
Menor ângulo (graus)	105.71676		123.6708			130.6989		101.88693		
Maior ângulo (graus)	106.20963		123.96715			130.33052		102.3939		

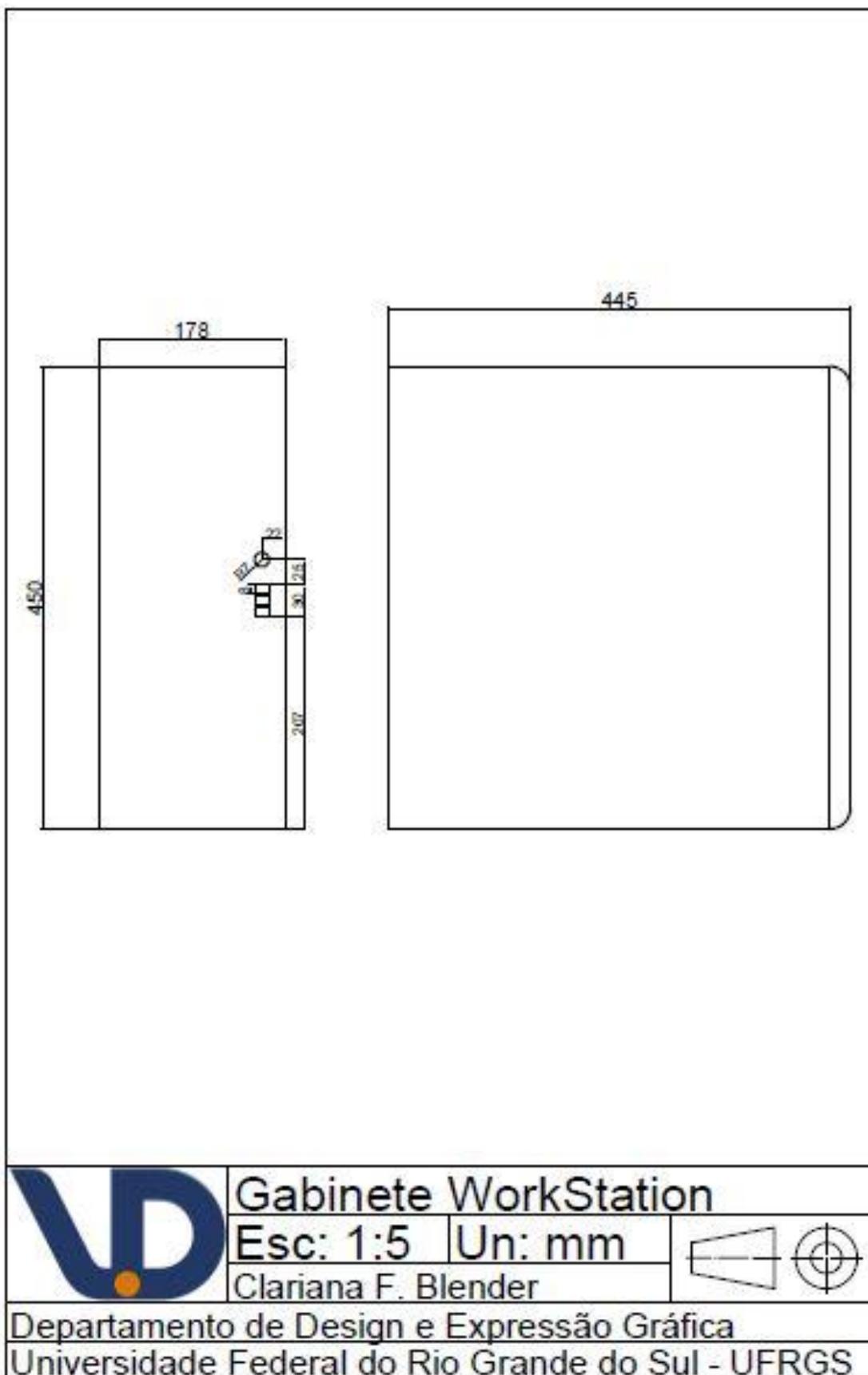
Figura 165 - Continuação

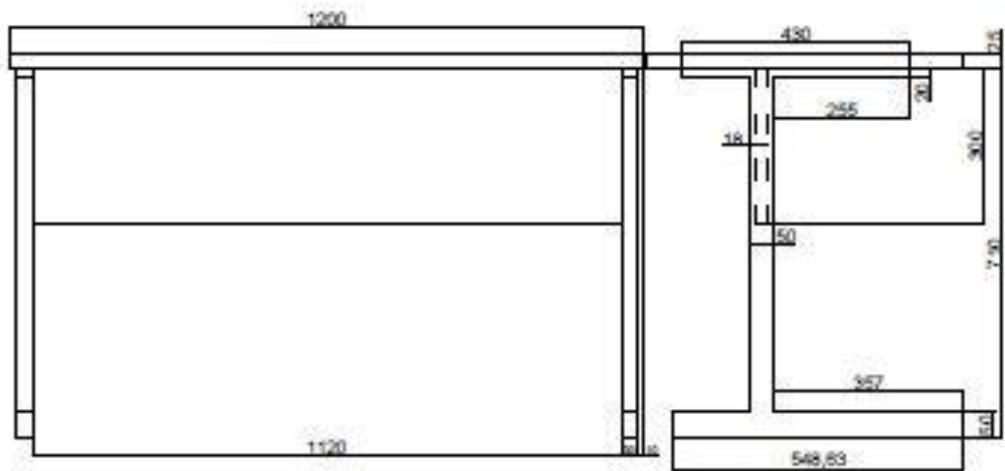
Frame 0		Frame 0						
	Úlna esquerda	Úmero esquerdo	Mão esquerda	Úlna esquerda	Úlna direita	Úmero direito	Mão direita	Úlna direita
	<i>Epicôndilo – Estiloide</i>	<i>Acrômio – Epicôndilo</i>	<i>Metacarpo – Estiloide</i>	<i>Estiloide</i>	<i>Epicôndilo</i>	<i>Acrômio – Epicôndilo</i>	<i>Metacarpo – Estiloide</i>	<i>Epicôndilo</i>
Menor comprimento (mm)	302.17379	340.85334	93.605555	302.17379	302.1953	338.34007	94.026592	302.1953
Comprimento Médio (mm)	302.17379	340.85334	93.605555	302.17379	302.1953	338.34007	94.026592	302.1953
Maior comprimento (mm)	302.17379	340.85334	93.605555	302.17379	302.1953	338.34007	94.026592	302.1953
Menor ângulo (graus)	147.6611		134.10848		141.23736			139.68205
Maior ângulo (graus)	147.6611		134.10848		141.23736			139.68205
Frame 372		Frame 372						
	Úlna esquerda	Úmero esquerdo	Mão esquerda	Úlna esquerda	Úlna direita	Úmero direito	Mão direita	Úlna direita
	<i>Epicôndilo – Estiloide</i>	<i>Acrômio – Epicôndilo</i>	<i>Metacarpo – Estiloide</i>	<i>Estiloide</i>	<i>Epicôndilo</i>	<i>Acrômio – Epicôndilo</i>	<i>Metacarpo – Estiloide</i>	<i>Epicôndilo</i>
Menor comprimento (mm)	299.91666	348.6101	89.587946	299.91666	302.12249	324.44568	96.23409	302.12249
Comprimento Médio (mm)	301.05366	349.28628	90.629003	301.05366	303.14428	325.53934	97.084673	303.14428
Maior comprimento (mm)	302.00993	350.64512	91.547802	302.00993	304.04934	326.47971	97.80593	304.04934
Menor ângulo (graus)	149.89499		126.70853		143.55248			140.10083
Maior ângulo (graus)	150.95737		128.31768		144.29991			141.24165
Frame 672		Frame 672						
	Úlna esquerda	Úmero esquerdo	Mão esquerda	Úlna esquerda	Úlna direita	Úmero direito	Mão direita	Úlna direita
	<i>Epicôndilo – Estiloide</i>	<i>Acrômio – Epicôndilo</i>	<i>Metacarpo – Estiloide</i>	<i>Estiloide</i>	<i>Epicôndilo</i>	<i>Acrômio – Epicôndilo</i>	<i>Metacarpo – Estiloide</i>	<i>Epicôndilo</i>
Menor comprimento (mm)	302.40701	329.78023	93.781661	302.40701	302.53264	348.83234	90.022219	302.53264
Comprimento Médio (mm)	303.32901	330.91502	94.714174	303.32901	305.12912	349.67612	91.959324	305.12912
Maior comprimento (mm)	303.91282	331.46644	95.63995	303.91282	312.96326	350.80479	93.701654	312.96326
Menor ângulo (graus)	149.18177		135.81305		139.05896			124.99945
Maior ângulo (graus)	149.55376		137.37961		140.03488			138.09519

Figura 166 - Continuação

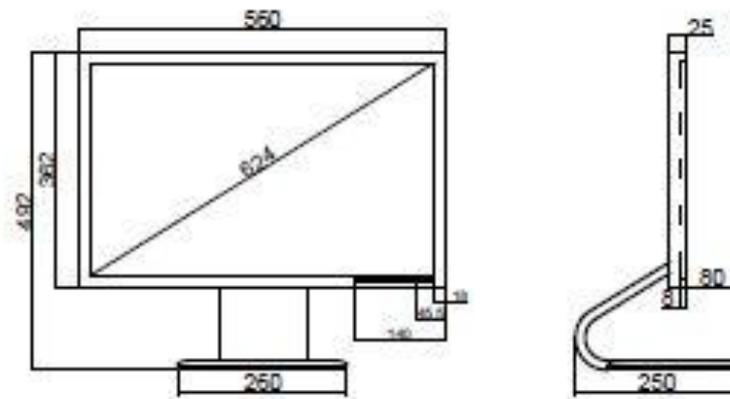
Frame 0		Frame 0					Frame 0					Frame 372					Frame 672				
	Tórax T6 - C7	Crânio C7 - Cabeça atrás	Lombar L3 - L3	Torácica L3 - T12	Femur direito Joelho - Trocater	Lombar Sacro - L3	Femur esquerdo Joelho - Trocater	Lombar Sacro - L3	Úmero direito Acrómio - Epicôndilo	Cervical T6 - C7	Úmero esquerdo Acrómio - Epicôndilo	Cervical T6 - C7	Úmero direito Acrómio - Epicôndilo	Cervical T6 - C7	Úmero esquerdo Acrómio - Epicôndilo	Cervical T6 - C7	Úmero direito Acrómio - Epicôndilo	Cervical T6 - C7	Úmero esquerdo Acrómio - Epicôndilo	Cervical T6 - C7	
Menor comprimento (mm)	204.24005	160.77935	96.591925	83.120395	460.70598	96.591925	438.99317	96.591925	340.85334	204.24005	340.85334	204.24005	338.34007	204.24005	340.85334	204.24005	338.34007	204.24005	340.85334	204.24005	
Comprimento Médio (mm)	204.24005	160.77935	96.591925	83.120395	460.70598	96.591925	438.99317	96.591925	340.85334	204.24005	340.85334	204.24005	338.34007	204.24005	340.85334	204.24005	338.34007	204.24005	340.85334	204.24005	
Maior comprimento (mm)	204.24005	160.77935	96.591925	83.120395	460.70598	96.591925	438.99317	96.591925	340.85334	204.24005	340.85334	204.24005	338.34007	204.24005	340.85334	204.24005	338.34007	204.24005	340.85334	204.24005	
Menor ângulo (graus)	145.40981	145.40981	171.23517	171.23517	92.528245	92.528245	92.941533	92.941533	78.464033	78.464033	78.464033	78.464033	72.921642	72.921642	78.464033	78.464033	72.921642	72.921642	78.464033	78.464033	
Maior ângulo (graus)	145.40981	145.40981	171.23517	171.23517	92.528245	92.528245	92.941533	92.941533	78.464033	78.464033	78.464033	78.464033	72.921642	72.921642	78.464033	78.464033	72.921642	72.921642	78.464033	78.464033	
Frame 372																					
Menor comprimento (mm)	203.3347	147.31259	99.644368	84.439327	457.62321	98.661036	439.51564	98.661036	348.6101	203.3347	348.6101	203.3347	324.44568	203.3347	348.6101	203.3347	324.44568	203.3347	348.6101	203.3347	
Comprimento Médio (mm)	205.1711	149.31921	99.438864	84.615433	458.47188	99.438864	440.39141	99.438864	349.28628	205.1711	349.28628	205.1711	325.53934	205.1711	349.28628	205.1711	325.53934	205.1711	349.28628	205.1711	
Maior comprimento (mm)	206.40252	151.35059	98.661036	84.439327	459.01743	99.644368	441.25956	99.644368	350.64512	206.40252	350.64512	206.40252	326.47971	206.40252	350.64512	206.40252	326.47971	206.40252	350.64512	206.40252	
Menor ângulo (graus)	137.64358	137.64358	173.04447	173.04447	90.699049	90.699049	94.705091	94.705091	113.59558	89.491301	113.59558	89.491301	89.491301	89.491301	113.59558	89.491301	89.491301	113.59558	89.491301	113.59558	
Maior ângulo (graus)	138.73298	138.73298	174.19572	174.19572	91.224358	91.224358	95.282895	95.282895	115.01446	90.279134	115.01446	90.279134	90.279134	90.279134	115.01446	90.279134	90.279134	115.01446	90.279134	115.01446	
Frame 672																					
Menor comprimento (mm)	203.42566	152.44015	98.863542	83.384651	458.82785	98.863542	439.45193	98.863542	329.78023	203.42566	329.78023	203.42566	348.83234	203.42566	329.78023	203.42566	348.83234	203.42566	329.78023	203.42566	
Comprimento Médio (mm)	204.16345	153.16158	99.730237	84.107409	459.46064	99.730237	439.87736	99.730237	330.91502	204.16345	330.91502	204.16345	349.67612	204.16345	330.91502	204.16345	349.67612	204.16345	330.91502	204.16345	
Maior comprimento (mm)	204.79014	154.51214	99.869915	84.480767	460.22277	99.869915	440.1761	99.869915	331.46644	204.79014	331.46644	204.79014	350.80479	204.79014	331.46644	204.79014	350.80479	204.79014	331.46644	204.79014	
Menor ângulo (graus)	139.16658	139.16658	170.64557	170.64557	90.104821	90.104821	95.523019	95.523019	94.674115	124.41012	94.674115	124.41012	124.41012	124.41012	94.674115	124.41012	124.41012	94.674115	124.41012	124.41012	
Maior ângulo (graus)	140.19638	140.19638	171.38717	171.38717	90.56335	90.56335	96.033358	96.033358	95.684271	125.40336	95.684271	125.40336	125.40336	125.40336	95.684271	125.40336	125.40336	95.684271	125.40336	125.40336	

Fonte: Elaborado pela autora.

APÊNDICE H - Desenhos Técnicos



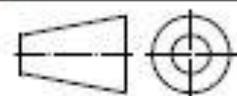
	Mesa WorkStation		
	Esc: 1:10	Un: mm	
Clariana F. Blender			
Departamento de Design e Expressão Gráfica			
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS			



Monitor WorkStation

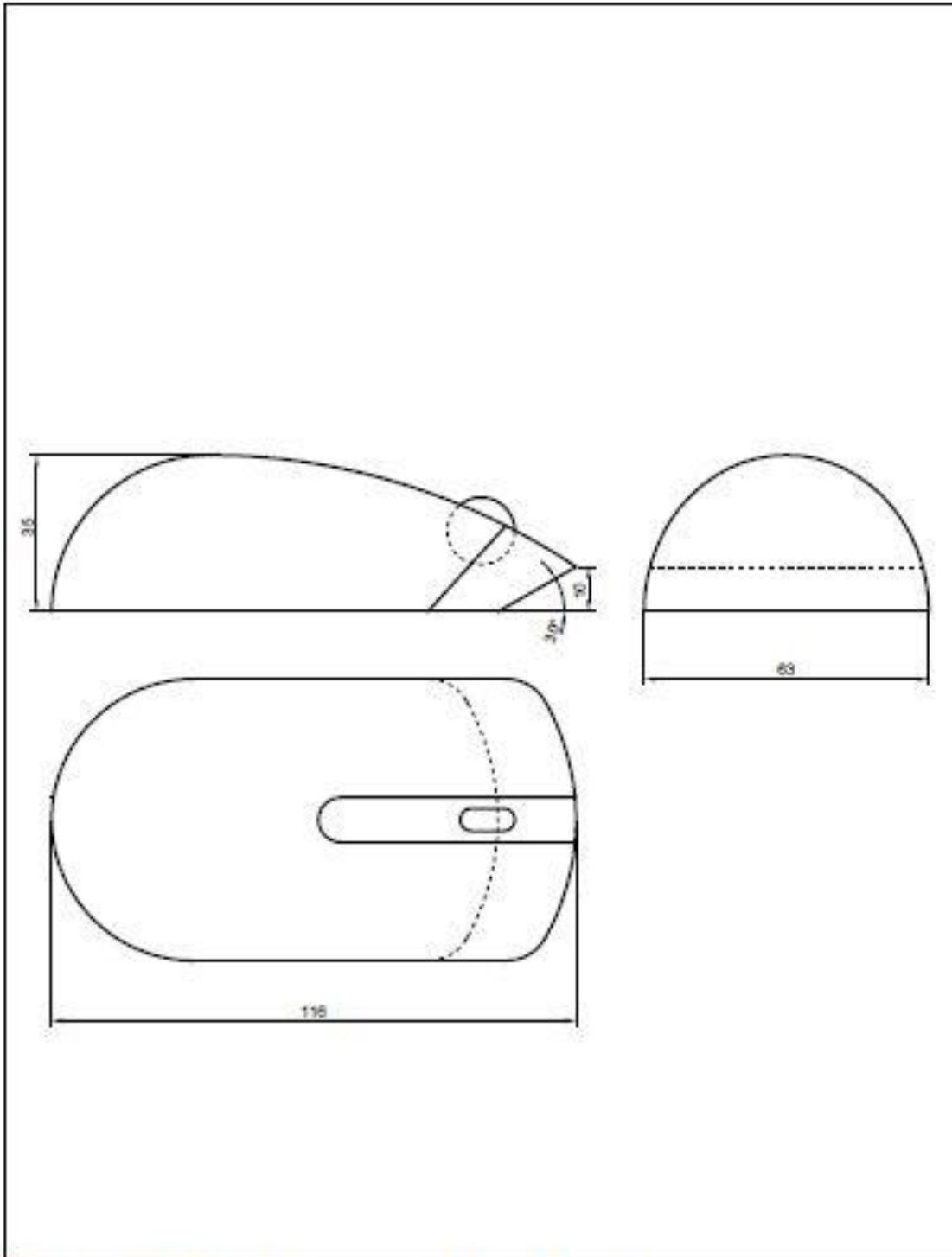
Esc: 1:4 Un: mm

Clariana F. Blender



Departamento de Design e Expressão Gráfica

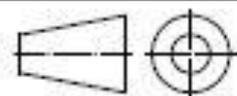
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS



Mouse WorkStation

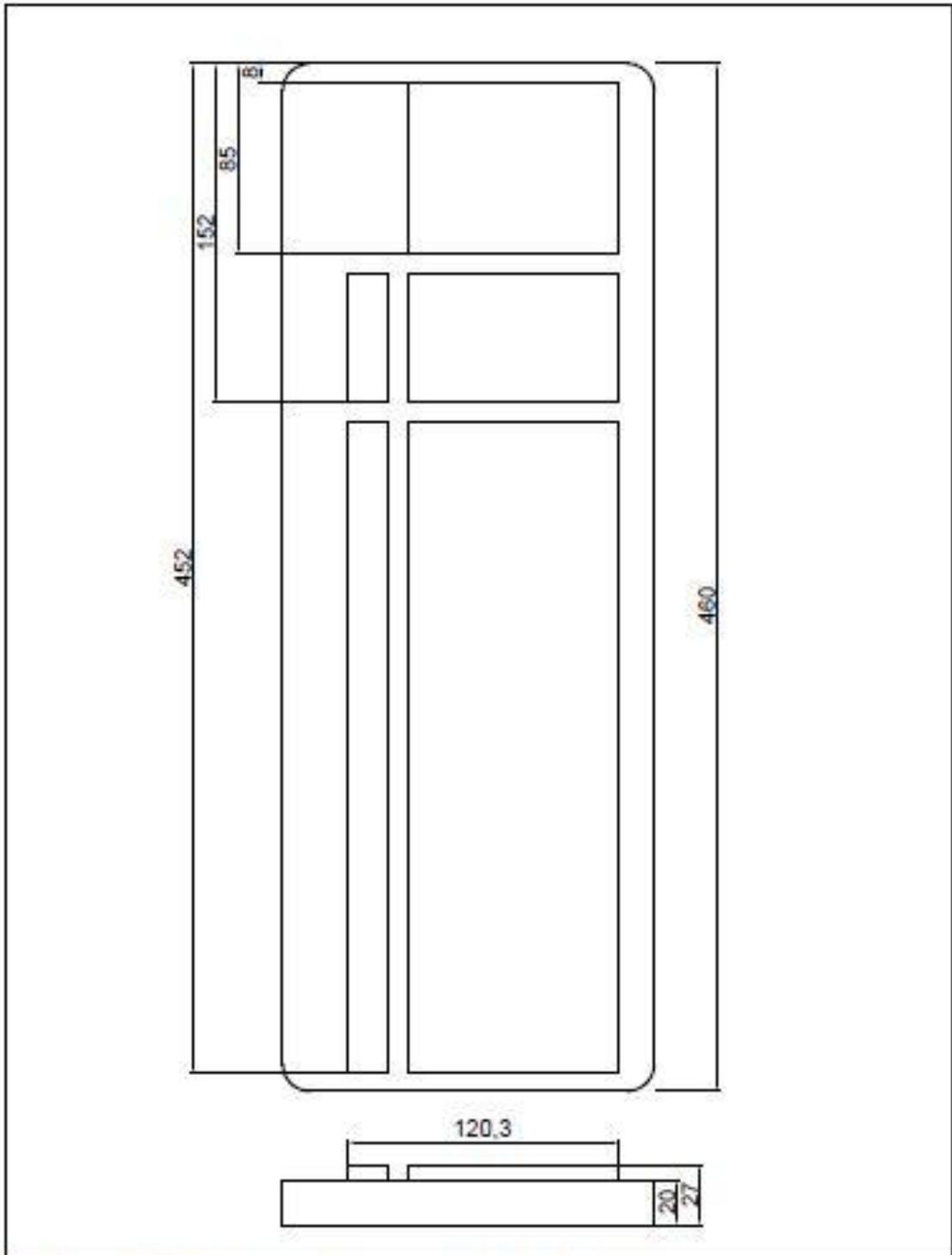
Esc: 2:1 | Un: mm

Clariana F. Blender



Departamento de Design e Expressão Gráfica

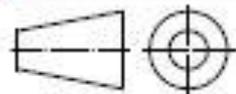
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS



Teclado WorkStation

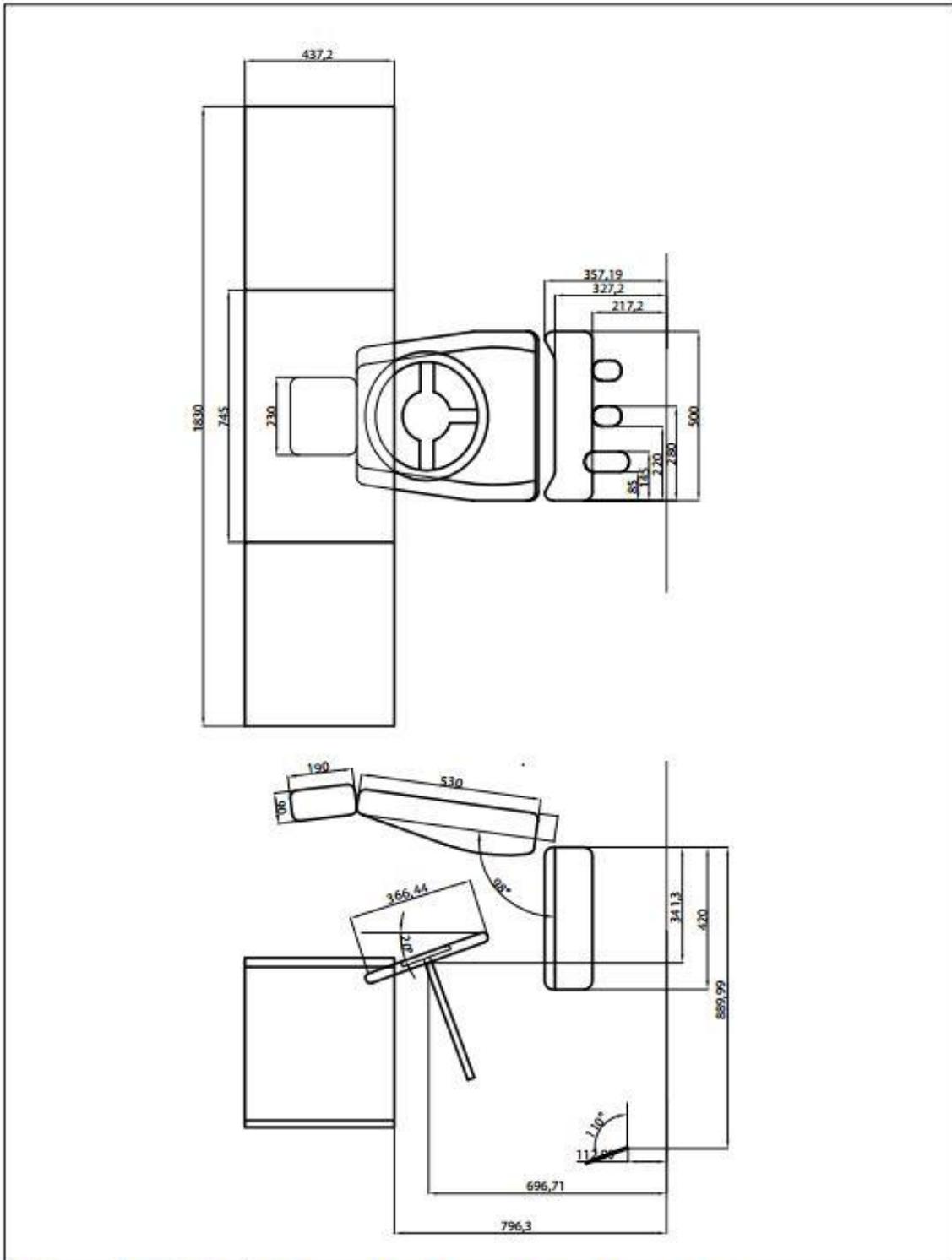
Esc: 1:2 | Un: mm

Clariana F. Blender



Departamento de Design e Expressão Gráfica

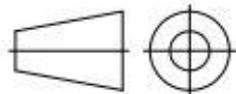
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS



Simulador de direção

Esc: 1:10 Un: mm

Clariana F. Blender



Departamento de Design e Expressão Gráfica

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

APÊNDICE I - Valores da Captura de Movimento, do MHD e as Médias do erro relativo e desvio padrão do erro relativo

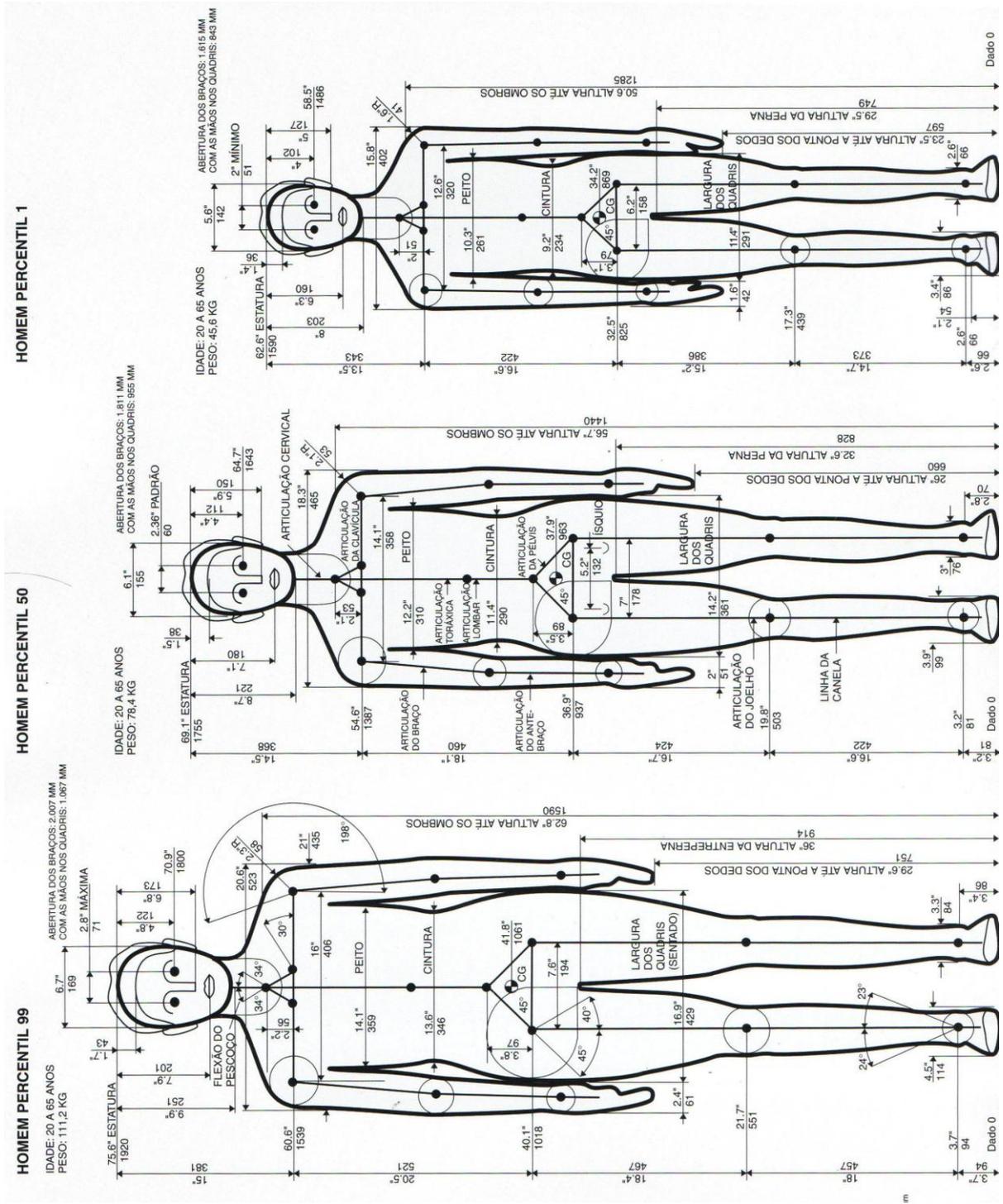
	1	2	3	4	5	6	7	8								
1	75,67	75,12	69,78	70	71,69	71,02	71,74	71,57	71,89	71,79	113,57	112,67	74,57	74,5	111,49	110,85
2	73,46	73,4	75,21	74,95	10,41	10,3	74,12	73,97	73,57	73,5	118,8	117,2	63,61	63,8	64,3	64,33
3	78,71	78,2	74,71	75,96	85,31	86,03	78,75	78,94	79,03	78,5	134,26	132,15	136,62	136,6	145,18	146,1
4	79,09	79	85,61	85,01	78,27	78,44	84,39	81,07	83,56	81,95	132,06	130,76	134,75	134,61	134,93	134,87
5	128,26	127	165,22	165	165,22	164	68,97	69,98	161,39	161,87	136,24	133,29	136,19	134	135,45	133,45
6	128,94	128	71,28	70	161,51	161	164,51	164,3	68,36	65,99	159,44	158,27	158,58	157,14	158,59	155,44
7	153,74	159	161,67	162,98	152,38	154,17	152,94	152,13	157,83	157,99	117,33	117,12	115,27	115	115,06	114,89
8	158,14	166,75	154,65	154	151,74	152,33	148,02	148	158,01	157,89	141,13	141	137,18	136,2	137,49	136,13
9	129,35	129	110,03	111,9	91,88	92,26	112,17	112,1	116,24	116	135,73	134,96	128,65	124,11	129,38	126,12
M	1,3798		0,8771		0,676		0,7569		0,7755		0,937		0,8339		0,9354	
DP	1,8287		0,6661		0,3507		1,2709		1,1696		0,6679		1,1336		0,8899	
	0,7268		0,3153		0,9346		0,237		0,1391		0,7925		0,0939		0,574	
	0,0817		0,3457		1,0567		0,2024		0,0951		1,3468		0,2987		0,0467	
	0,6479		1,6731		0,844		0,2413		0,6706		1,5716		0,0146		0,6337	
	0,1138		0,7009		0,2172		3,9341		1,9268		0,9844		0,1039		0,0445	
	0,9824		0,1332		0,7384		1,4644		0,2974		2,1653		1,608		1,4766	
	0,729		1,7957		0,3158		0,1277		3,4669		0,7338		0,9081		1,9863	
	3,4214		0,8103		1,1747		0,5296		0,1014		0,179		0,2342		0,1477	
	5,4445		0,4203		0,3888		0,0135		0,0759		0,0921		0,7144		0,9892	
	0,2706		1,6995		0,4136		0,0624		0,2065		0,5673		3,529		2,5197	

9	9	10	10	11	11	12	12	13	13	14	14	15	15	16	16
118,61	118,5	92,68	92,99	92,43	92,67	91,11	92,5	90,95	89,75	104,71	101,37	103,44	101,9	101,88	104,1
62,1	62,97	96,06	97,9	96,02	97	96,17	96	96,32	95,95	106,58	104,83	106,73	105,07	105,71	104,1
146,11	146	76,21	76	75,33	75,4	75,5	75,6	75,68	75,6	129,96	121,99	130,5	133,8	130,69	131,76
133,78	131,17	81,42	81,18	81,43	81,6	80,57	79,7	81,68	81,6	123,16	122	123,26	122	123,67	125,7
135,61	132,3	106	106,2	107,98	109,1	27,4	27,9	109,67	109,27	147,66	145,46	149,89	150,33	149,18	150,36
143,11	142,96	112,05	112	149,53	142,69	59,01	59,76	129,07	129	141,23	140,1	143,55	145	139,05	139,97
122,77	122,16	144,37	145,93	143,52	145,67	144,02	146,09	137,87	136,2	134,1	135	126,7	127	135,81	128,97
138,97	138,92	148,99	149,2	153,31	152	152,37	150,88	149,89	149,7	139,68	141,9	140,1	141,67	124,99	128,17
120,19	129,86	143,51	145,7	126,45	126,1	146,86	143,97	145,4	144,2	145,4	144,2	137,64	138,34	139,16	143
1,6271		0,6446		1,0914		1,1548		0,4988		1,9202		1,085		1,995	
2,5716		0,6854		1,3916		0,6499		0,4962		1,7571		0,7209		1,3752	
0,0927		0,3345		0,2597		1,5256		1,3194		3,1898		1,4888		2,179	10
1,401		1,9155		1,0206		0,1768		0,3841		1,642		1,5553		1,523	20
0,0753		0,2756		0,0929		0,1325		0,1057		6,1327		2,5287		0,8187	30
1,951		0,2948		0,2088		1,0798		0,0979		0,9419		1,0222		1,6415	40
2,4408		0,1887		1,0372		1,8248		0,3647		1,4899		0,2935		0,791	50
0,1048		0,0446		4,5743		1,271		0,0542		0,8001		1,0101		0,6616	60
0,4969		1,0806		1,498		1,4373		1,2113		0,6711		0,2368		5,0364	70
0,036		0,1409		0,8545		0,9779		0,1268		1,5893		1,1206		2,5442	100
8,0456		1,526		0,2768		1,9679		0,8253		0,8253		0,5086		2,7594	100

Workstation		Simulador	
Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
0,643548812	0,51197135	1,201528555	1,155313419
0,586507868	0,621120667	1,11620562	0,65590597
0,520400416	0,514224617	1,682188816	2,150321351
0,952667149	1,268801504	0,955612539	0,709715987
0,781246908	0,596059685	1,466453612	0,740544217
1,375475428	1,635895815	0,886398934	0,565327704
1,251614981	0,92728803	1,000313828	1,789949351
0,938132809	1,724033009	1,012260583	0,873754176
0,805395901	0,733163554	2,679265332	2,65081073

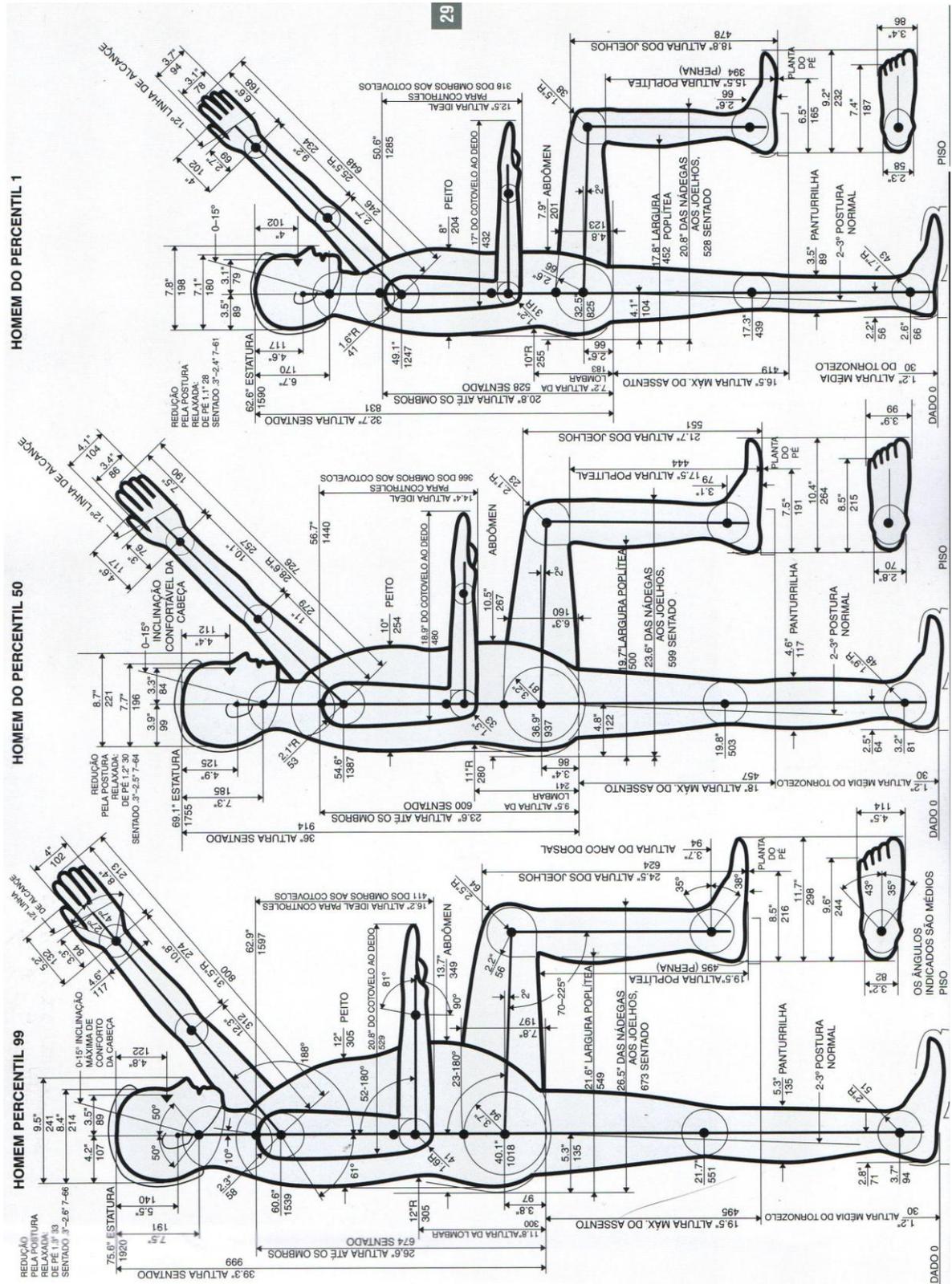
ANEXO A - Parâmetros antropométricos estáticos

Figura 167 - Parâmetros antropométricos relacionados aos percentis 1, 50 e 99 de homens em vista frontal.



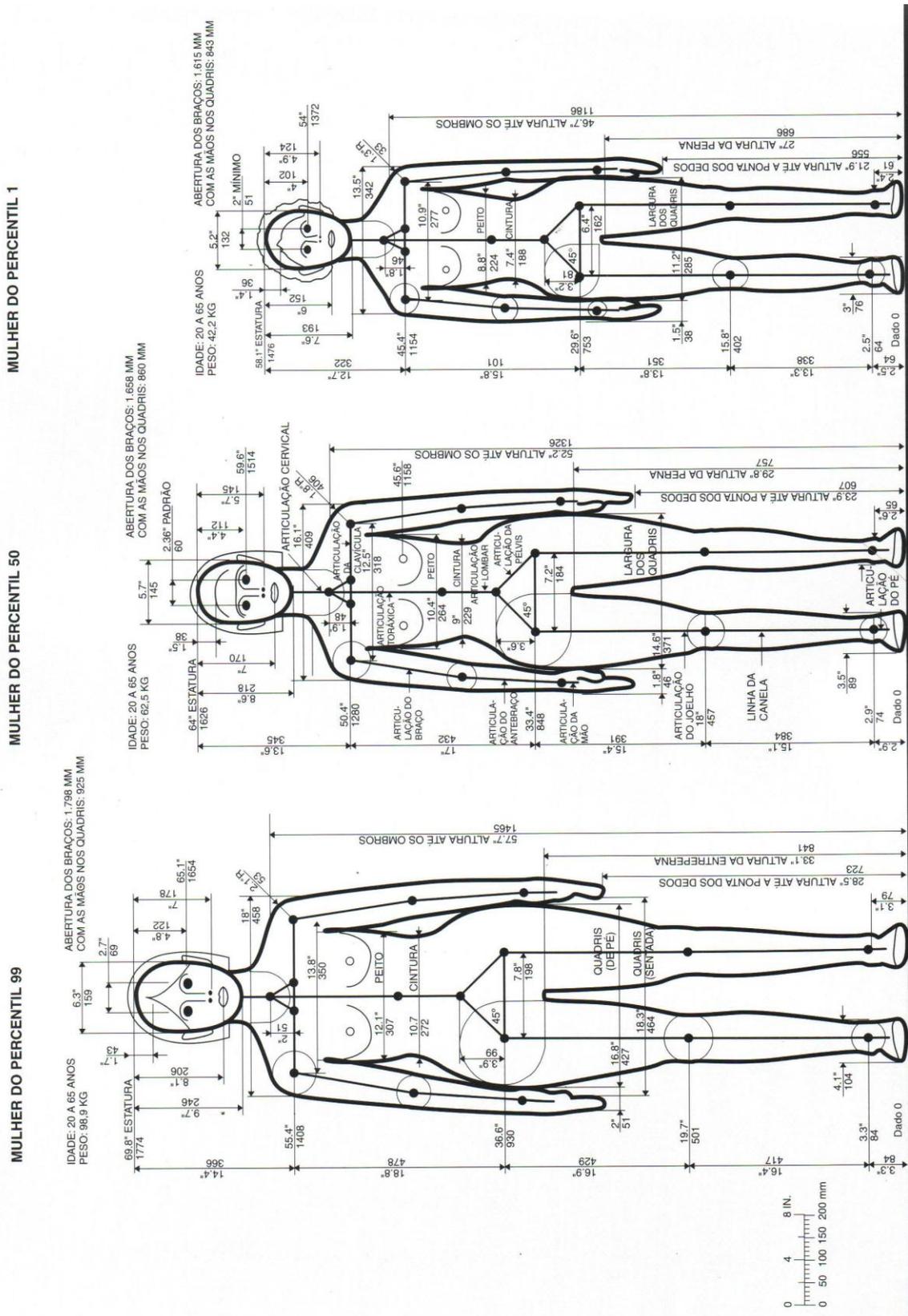
Fonte: Tilley e Dreyfuss (2005, p.28)

Figura 168- Parâmetros antropométricos relacionados aos percentis 1, 50 e 99 de homens em vista lateral.



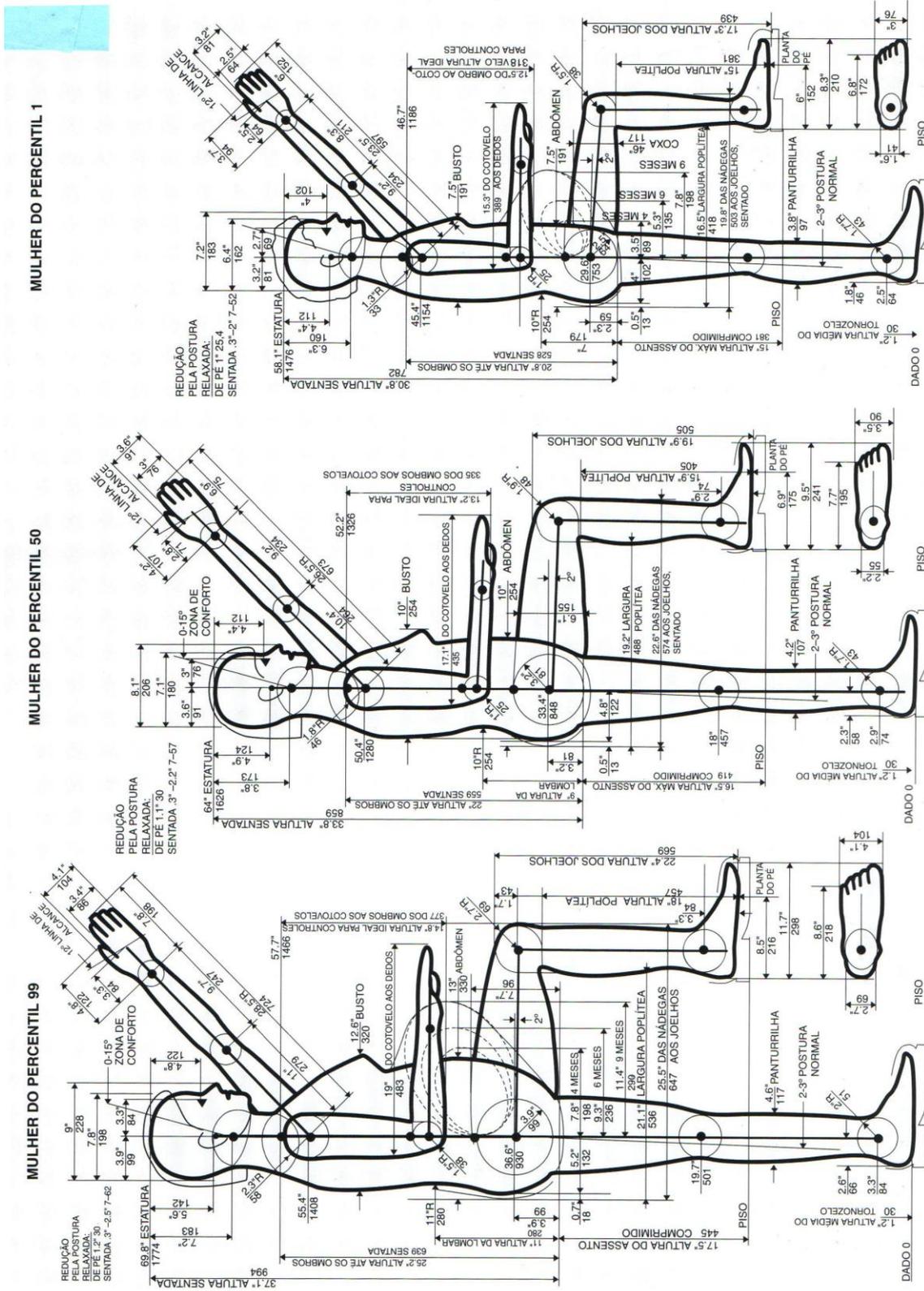
Fonte : Tilley e Dreyfuss (2005, p.29)

Figura 169 - Parâmetros antropométricos relacionados aos percentis 1, 50 e 99 de mulheres em vista frontal.



Fonte: Tilley e Dreyfuss (2005, p.30)

Figura 170 - Parâmetros antropométricos relacionados aos percentis 1, 50 e 99 de mulheres em vista lateral.



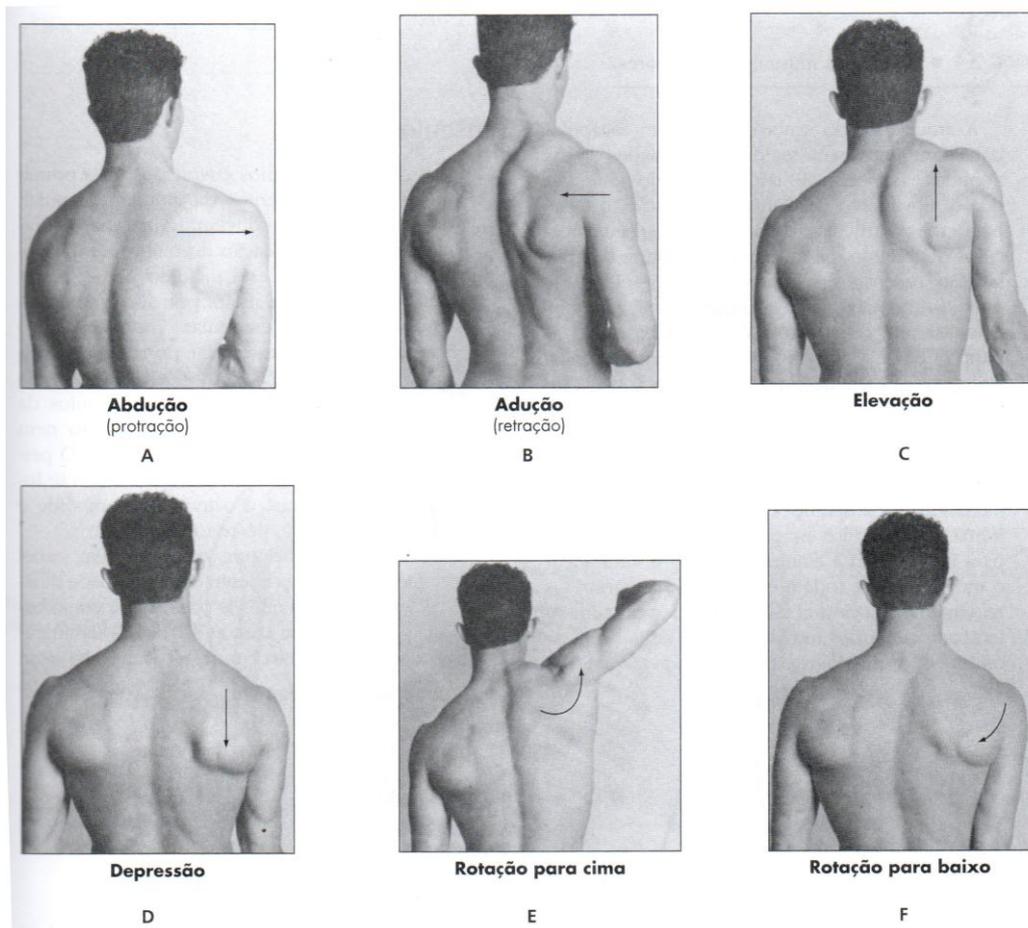
Fonte: Tilley e Dreyfuss (2005, p.32)

ANEXO B - Tipos de movimento

1 Movimentos da cintura escapular

Os movimentos da cintura escapular (Figura 47) podem ser descritos como movimentos da escápula (THOMPSON; FLOYD, 2002, p.27). Segundo Thompson e Floyd (2002, p.28), ao analisar os movimentos da cintura escapular, é importante perceber que a escápula se move na caixa torácica porque o movimento articular ocorre na articulação esterno clavicular e, em menor amplitude, na articulação acrômio clavicular. A articulação do ombro e a cintura escapular trabalham juntas para realizar as atividades da extremidade superior. Na medida em que a articulação do ombro vai passando por amplitudes de movimento mais extremas, os músculos escapulares vão se contraindo para movimentar a cintura escapular e intensificar o movimento de toda a extremidade superior.

Figura 171 - movimento da cintura escapular



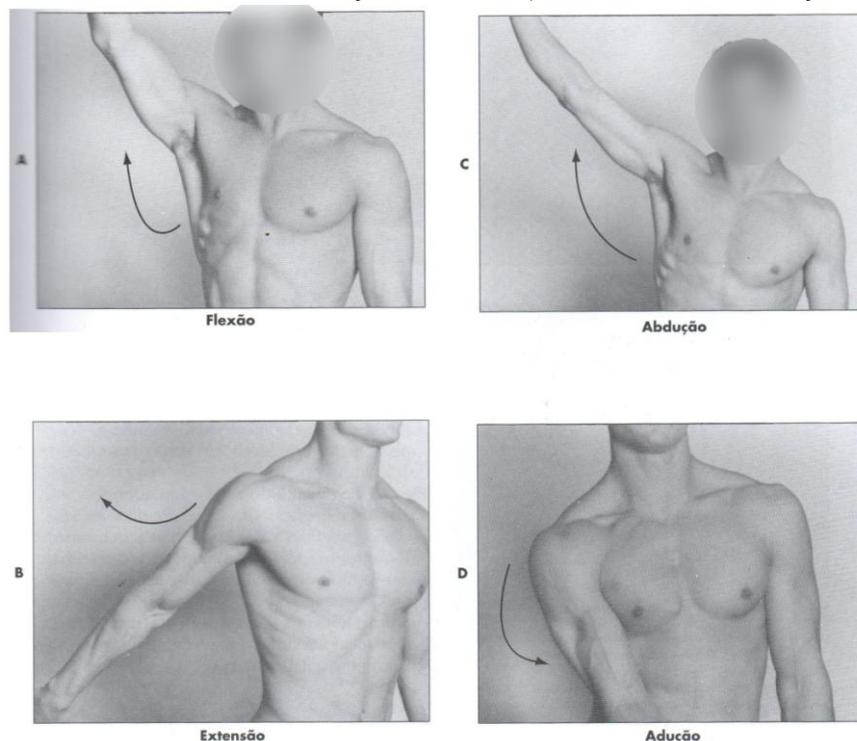
Fonte: Thompson e Floyd (2002, p. 27)

- Abdução: movimento da escápula de afastar-se lateralmente da coluna vertebral.
- Adução: movimento da escápula de avançar em direção à coluna vertebral.
- Rotação para cima: realizar o movimento para cima e afastar, superior e lateralmente.
- Rotação para baixo: retornar o movimento à sua posição normal, movendo-o medial e inferiormente em direção à coluna vertebral.
- Elevação: movimento para cima ou superior, como quando se encolhe o ombro.
- Depressão: movimento para baixo ou inferior, como quando se retorna à posição normal.

2 Movimento da articulação do ombro

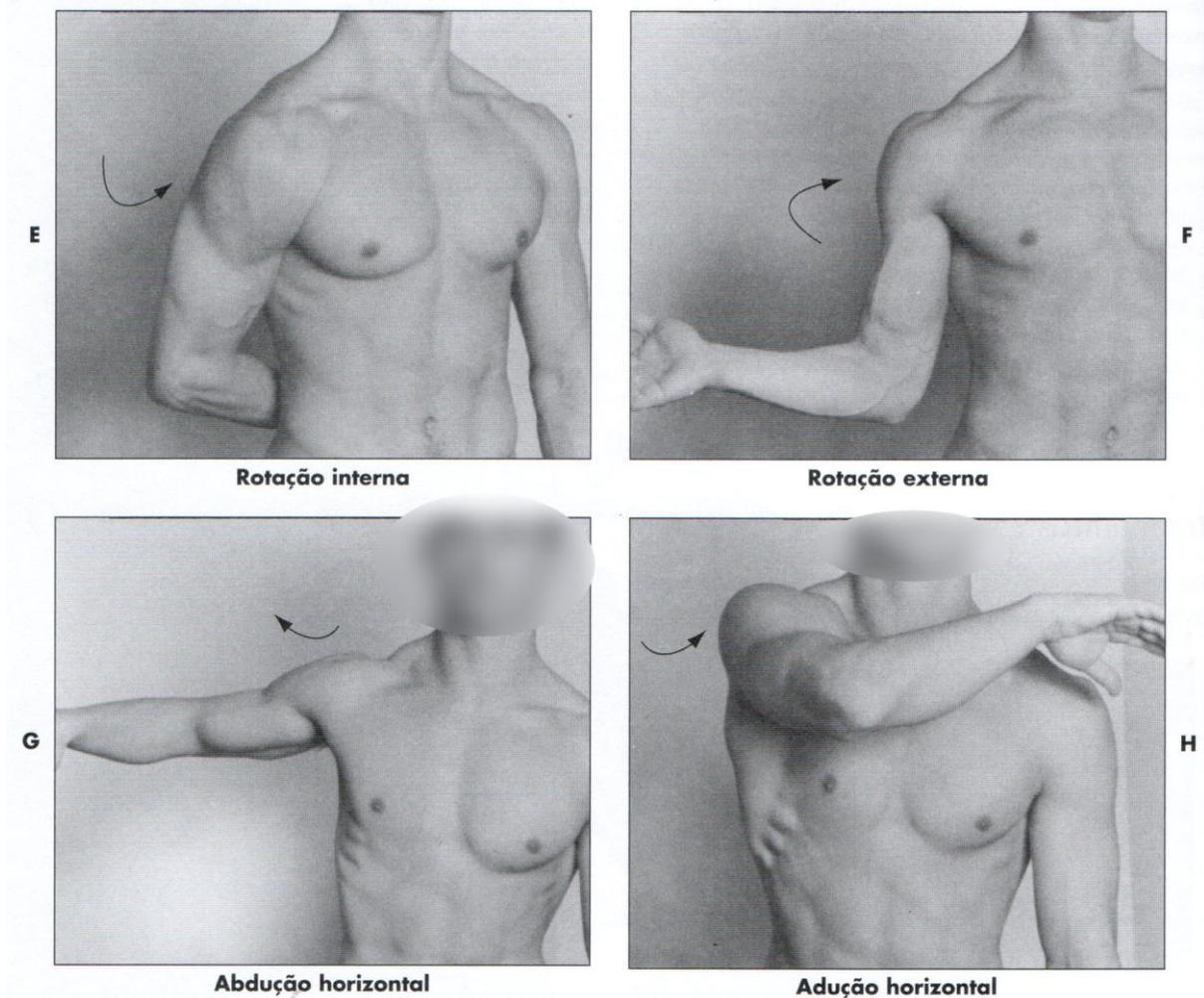
Os movimentos da articulação do ombro são muitos e variados, e não é comum haver o movimento do úmero sem movimento da escápula. Quando o úmero é flexionado acima do nível do ombro, a escápula é elevada, girada para cima e abduzida (THOMPSON; FLOYD, 2002, p. 39). Segundo Thompson e Floyd (2002, p. 42), os movimentos realizados pela articulação do ombro são:

Figura 172 - movimentos da articulação do ombro (flexão, extensão, abdução, adução)



Fonte: Thompson e Floyd (2002, p. 41)

Figura 173 - movimentos da articulação do ombro (rotação interna, rotação externa, abdução horizontal, adução horizontal)



Fonte: Thompson e Floyd (2002, p. 42)

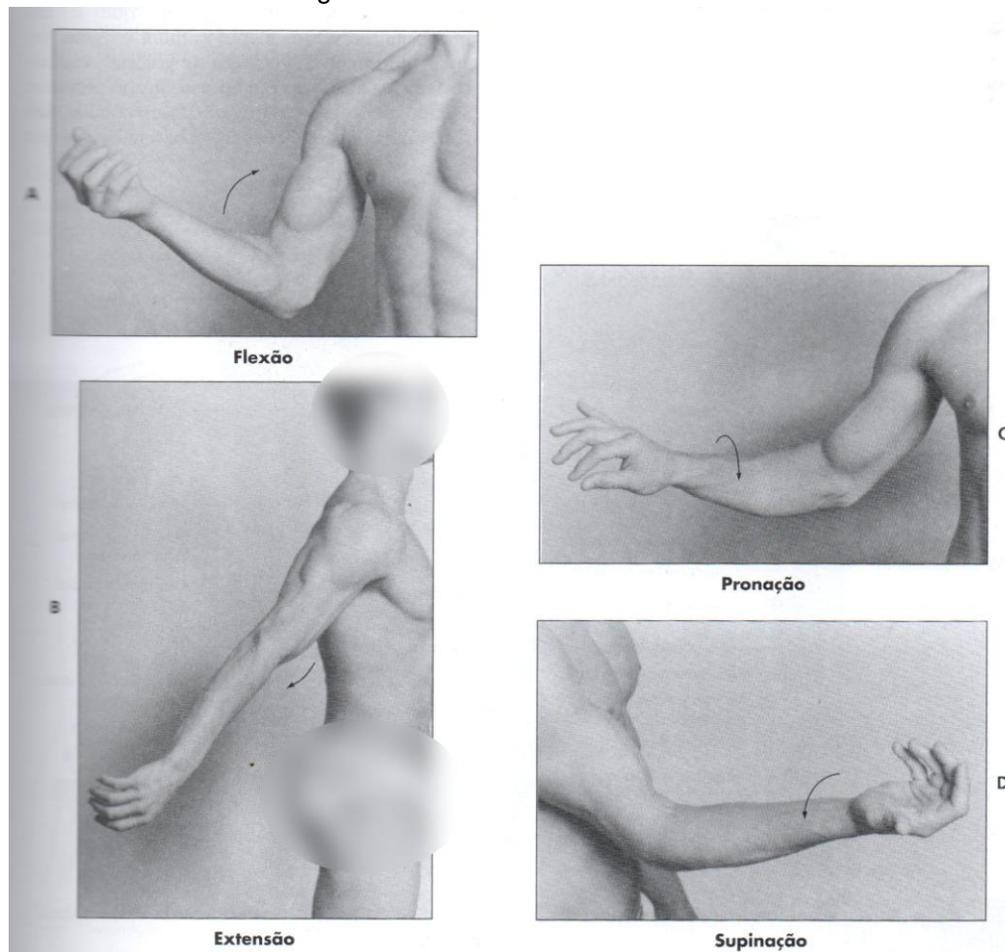
- Abdução: movimento lateral e para cima do úmero, que se abre lateralmente, afastando-se do corpo;
- Adução: movimento para baixo do úmero, medialmente em direção ao corpo a partir da abdução;
- Flexão: movimento do úmero anteriormente;
- Extensão: movimento do úmero posteriormente, referido algumas vezes como hiperextensão;
- Adução horizontal (flexão): movimento do úmero num plano horizontal ou transversal em direção ao tórax, cruzando-o;
- Abdução horizontal (extensão): movimento de afastamento do úmero em relação ao tórax, num plano horizontal ou transversal;

- Rotação externa: movimento de afastamento lateral do úmero em relação à linha média, ao redor de seu eixo longo; Rotação interna: movimento medial do úmero em torno de seu eixo longo, em direção à linha média;
- Abdução diagonal: movimento de afastamento do úmero em relação à linha média do corpo, num plano diagonal;
- Adução diagonal: movimento do úmero em direção à linha média do corpo, num plano diagonal.

3 Articulação do cotovelo

Segundo Thompson e Floyd (2002, p. 63), os movimentos do cotovelo são:

Figura 174 - movimentos do cotovelo



Fonte: Thompson e Floyd (2002, p. 63)

- Flexão: movimento do antebraço em direção ao ombro por inclinação do cotovelo, de modo a diminuir seu ângulo;

- Extensão: movimento do antebraço de afastar-se do ombro, endireitando o cotovelo de modo a aumentar seu ângulo.
- Pronação: movimento de rotação interna do rádio sobre a ulna, resulta no movimento da palma da mão voltada para cima movimentar-se para baixo (movimento da articulação radioulnar);
- Supinação: movimento de rotação externa do rádio sobre a ulna, resulta no movimento da palma da mão voltada para baixo movimentar-se para cima (movimento da articulação radioulnar).

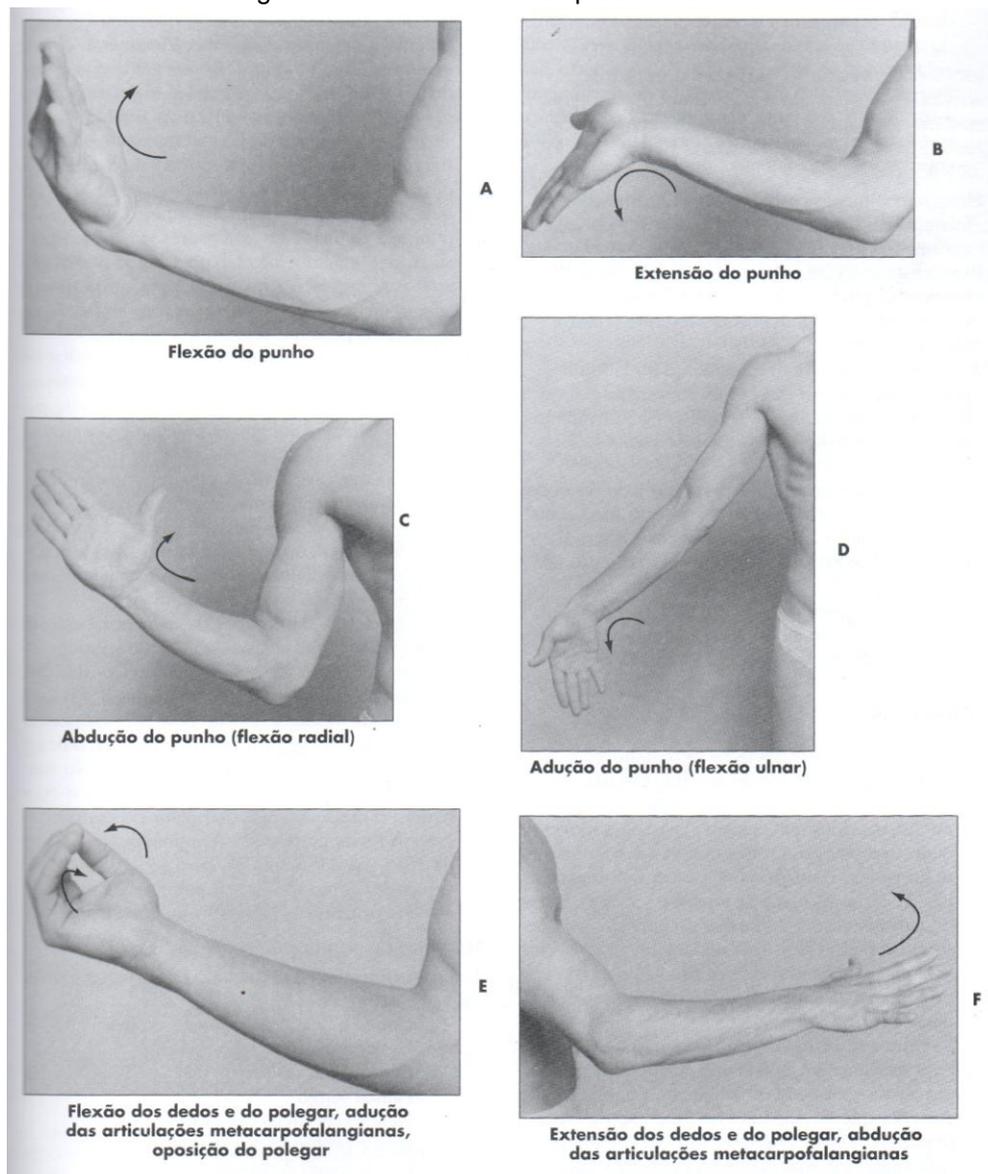
3 Articulação da articulação do punho e da mão

Segundo Thompson e Floyd (2002, p. 76), os movimentos do punho e da mão são:

- Flexão: movimento da palma da mão e/ou das falanges em direção ao aspecto anterior ou volar do antebraço;
- Extensão: movimento das costas da mão e/ou das falanges em direção ao aspecto posterior ou dorsal do antebraço;
- Abdução: movimento do lado do polegar da mão em direção ao aspecto lateral ou lado radial do antebraço. Também, é o movimento de afastamento dos dedos em relação ao dedo médio;
- Adução: movimento do lado do dedo mínimo da mão em direção ao aspecto medial ou ao lado ulnar do antebraço;
- Oposição: movimento do polegar de cruzar o aspecto palmar de modo a opor-se a uma ou a todas as falanges.

As ações comuns do punho são: flexão, extensão, abdução e adução. Os dedos só podem flexionar e estender-se, com exceção das articulações metacarpofalangianas, nas quais a abdução e a adução são controladas pelos músculos intrínsecos da mão. Na mão, a falange média é considerada o ponto de referência que serve para diferenciar adução e abdução. A abdução do dedo indicador e do dedo médio ocorre quando eles se movem lateralmente em direção ao lado radial do antebraço. A abdução do dedo anular e do dedo mínimo ocorre quando eles se movem medialmente em direção ao lado ulnar da mão.

Figura 175 - movimentos do punho e da mão



Fonte: Thompson e Floyd (2002, p. 79)

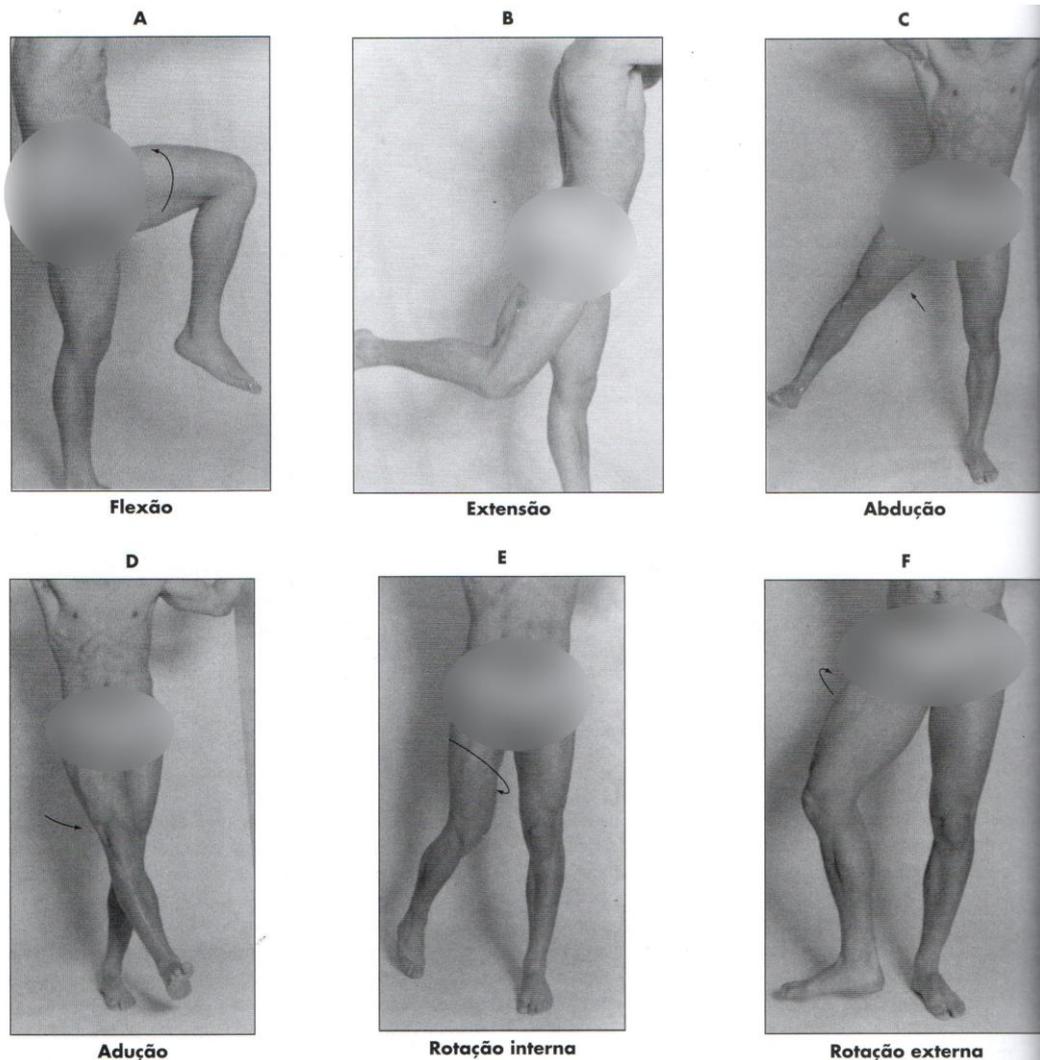
4 Movimento da articulação do quadril

Segundo Thompson e Floyd (2002, p. 115), os movimentos do quadril são:

- Flexão do quadril: movimento anterior do fêmur em direção à pelve.
- Extensão do quadril: movimento posterior do fêmur, afastando-se da pelve.
- Abdução do quadril: movimento lateral do fêmur para o lado, afastando-se da linha média.
- Adução do quadril: movimento medial do fêmur em direção à linha média.

- Rotação interna do quadril: movimento medial giratório do fêmur em torno do seu eixo longitudinal, em direção à linha média; rotação medial.
- Rotação externa: movimento lateral giratório do fêmur em torno do eixo longitudinal, afastado-se da linha média; rotação lateral.

Figura176 - movimentos do quadril

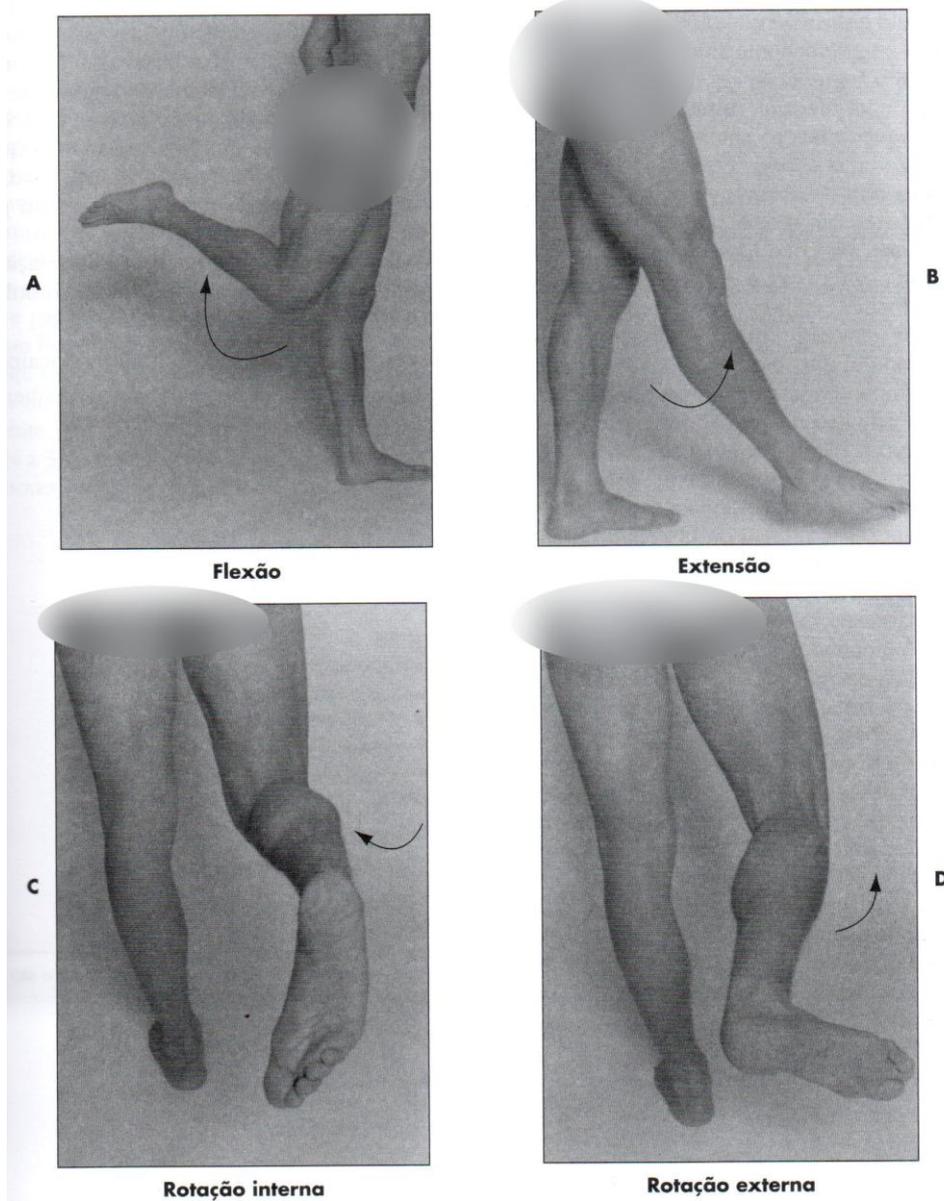


Fonte: Thompson e Floyd (2002, p. 118)

5 Movimento da articulação do joelho

A articulação do joelho, a maior do corpo, é muito complexa. Consiste numa articulação em dobradiça, permanentemente sujeita a um considerável estresse e distensão pela ação combinada de suas funções de sustentação do peso e locomoção (THOMPSON; FLOYD, 2002). Os movimentos da articulação do joelho são apresentados na Figura 177.

Figura 177 - movimentos do joelho



Fonte: Thompson e Floyd (2002, p. 147)

- Flexão: inclinação ou diminuição do ângulo entre o fêmur e a parte inferior da perna, caracterizada pelo movimento do calcanhar em direção às nádegas.
- Extensão: aumento do ângulo entre o fêmur e a parte inferior da perna.
- Rotação externa: movimento rotatório lateral da parte inferior da perna, de afastamento em relação à linha média.
- Rotação interna: movimento giratório medial da parte inferior da perna em direção à linha média.

A flexão e extensão do joelho ocorrem no plano sagital, ao passo que a rotação interna e externa ocorre no plano horizontal. O joelho só permite a rotação se estiver flexionado 20-30 graus, ou mais (THOMPSON; FLOYD, 2002).

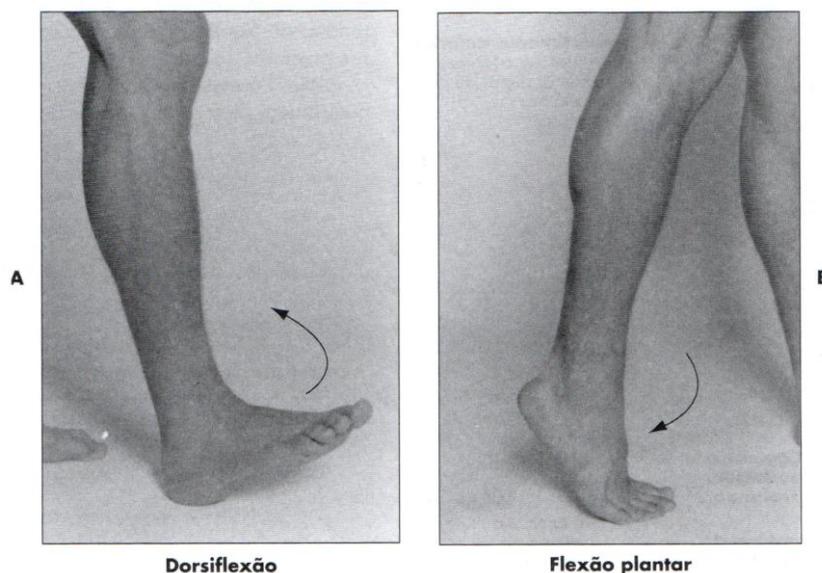
6 Movimento das articulações do tornozelo e do pé

A complexidade do pé é evidenciada pelos 26 ossos, 19 músculos grandes, muitos músculos pequenos (intrínsecos) e mais de 100 ligamentos que constituem sua estrutura (THOMPSON; FLOYD, 2002, p. 159). As Figuras 178 e 179 apresentam os movimentos do tornozelo e do pé.

Segundo Thompson e Floyd (2002, p. 166), os movimentos da articulação do joelho são:

- Dorsiflexão (flexão): flexão dorsal; movimento do topo do tornozelo e do pé em direção ao osso tibial anterior.
- Flexão planar (extensão): movimento de afastamento do tornozelo e pé em relação à tibia.
- Eversão: virar o tornozelo e pé para fora, em abdução, afastando-se da linha média; o peso é colocado sobre a borda medial do pé.
- Inversão: virar o tornozelo e pé para dentro, em adução, em direção à linha média; o peso é colocado sobre a borda lateral do pé.

Figura 178 - movimentos do tornozelo e do pé (Dorsiflexão e flexão planar)



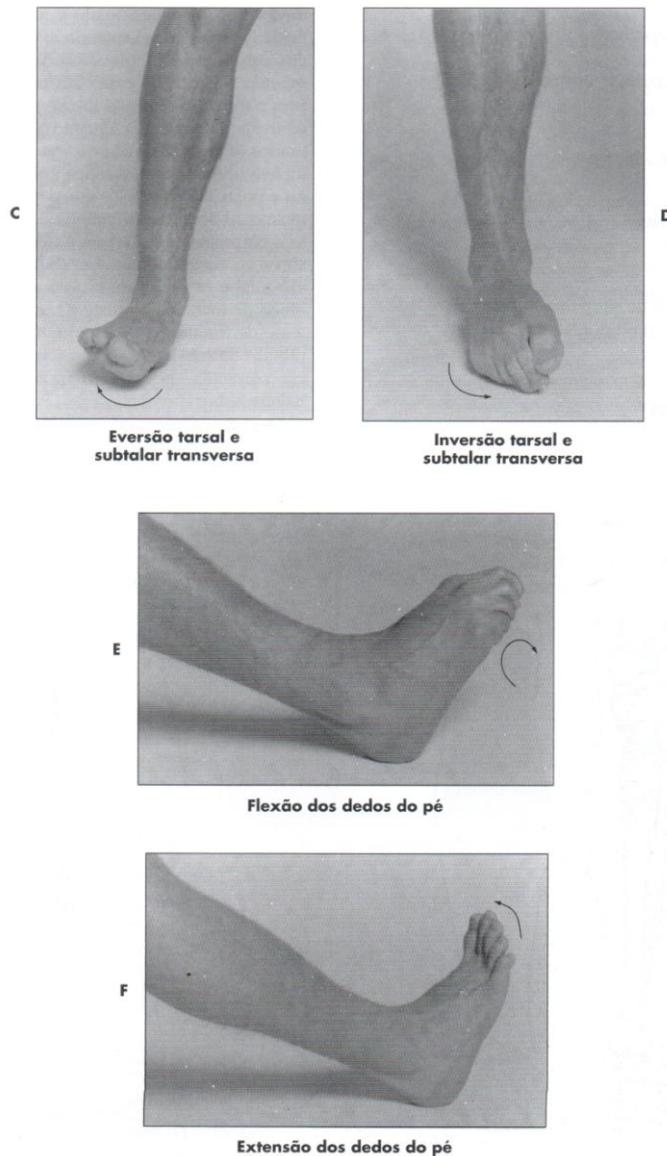
Dorsiflexão

Flexão plantar

Fonte: Thompson e Floyd (2002, p. 166)

- Flexão dos dedos: movimento dos dedos em direção à superfície plantar do pé.
- Extensão dos dedos: movimento de afastamento dos dedos em relação à superfície plantar do pé.
- Pronação: combinação de dorsiflexão do tornozelo, eversão subtalar e abdução do antepé (dedos de fora).
- Supinação: combinação de flexão plantar do tornozelo, inversão subtalar e adução do antepé (dedos de dentro).

Figura 179 - movimentos do tornozelo e do pé (eversão, inversão, flexão do dedos, extensão dos dedos, pronação, supinação)



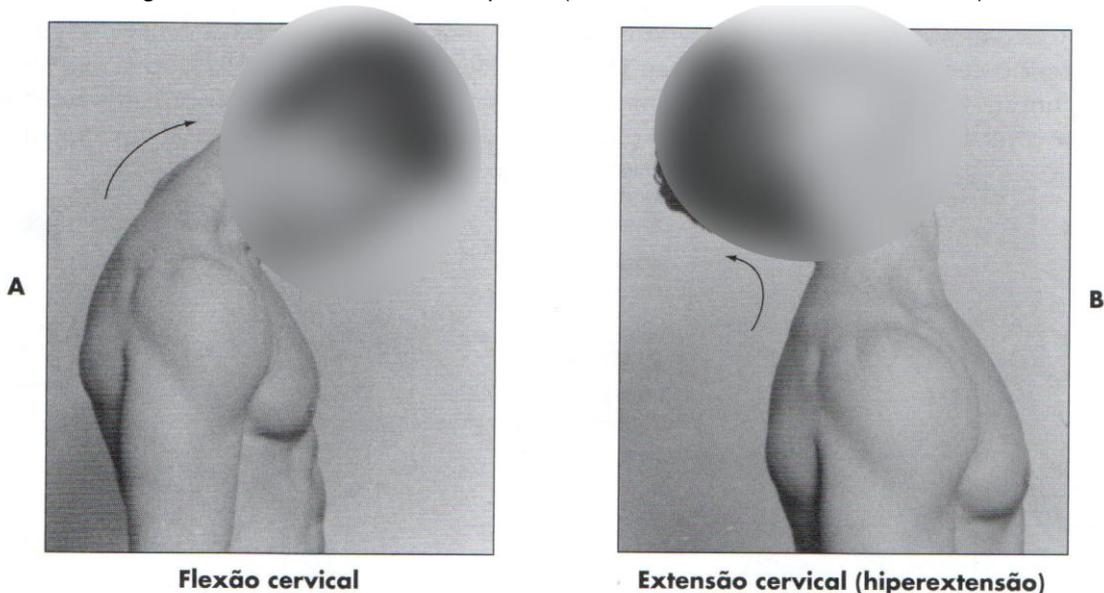
Fonte: Thompson e Floyd (2002, p. 166)

7 Movimento da articulação do tronco e da espinha dorsal

Os movimentos de flexão do tronco na espinha lombar são denominados de flexão lombar, e a extensão do pescoço costuma ser mencionada como extensão cervical. A Figura 56 apresenta o movimento da espinha de flexão cervical e o de extensão cervical e a Figura 182 apresenta o movimento de flexão lateral, rotação cervical, flexão lombar, extensão lombar, flexão lateral e rotação lombar (MARQUES, 2003, P.194- 195).

- Flexão espinal: movimento anterior da espinha; na região cervical, a cabeça aproxima-se do peito; na região lombar, o tórax aproxima-se da pelve;
- Extensão espinal: retorno da flexão; movimento posterior da espinha; na espinha cervical, a cabeça afasta-se do peito; na espinha lombar; o tórax afasta-se da pelve;
- Flexão lateral (esquerda e direita): referida às vezes como inclinação lateral; a cabeça se move lateralmente em direção ao ombro e o tórax se move lateralmente em direção à pelve;
- Rotação espinal (esquerda e direita): movimento giratório da espinha no plano horizontal; o queixo sai da posição neutra e gira em direção ao ombro e o tórax gira para um dos lados;
- Redução: movimento de retorno da flexão lateral para a posição neutra.

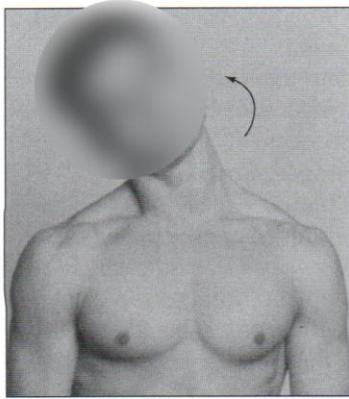
Figura 180 - movimentos da espinha (flexão cervical e extensão cervical)



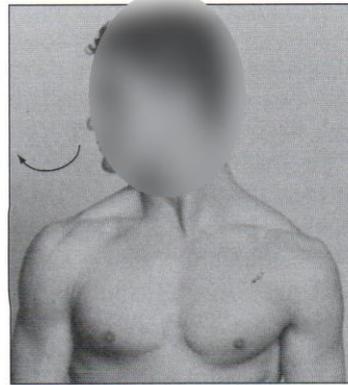
Fonte: Thompson e Floyd (2002, p. 194)

Figura 181 - movimentos da espinha (o movimento de flexão lateral, rotação cervical, flexão lombar, extensão lombar, flexão lateral e rotação lombar)

C
Flexão lateral cervical para a direita



D
Rotação cervical para a direita



E
Flexão lombar



F
Extensão lombar (hiperextensão)



G
Flexão lateral lombar para a direita



H
Rotação lombar para a direita



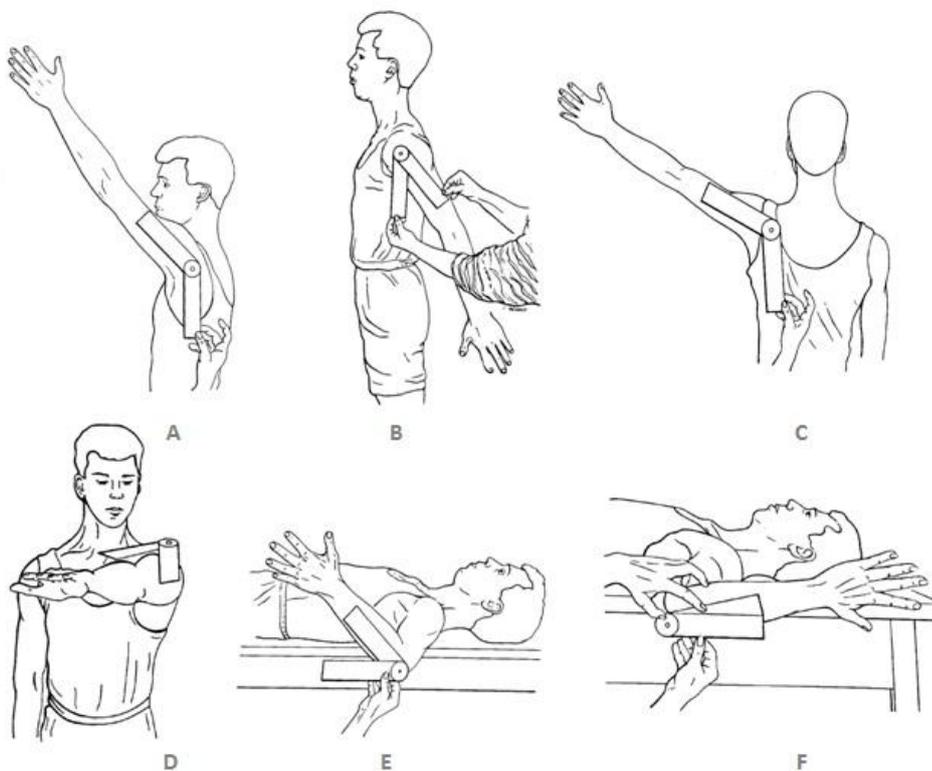
Fonte: Thompson e Floyd (2002, p. 195)

ANEXO C – Ângulos Articulares dos Membros Superiores

1 Articulação do Ombro

Para realizar a medição da articulação do ombro, devem-se entender os tipos de movimento que pode ser realizado pela articulação. A Figura 182 apresenta um esquema com a demonstração da medição dos movimentos utilizando um goniômetro como instrumento conforme cada movimento realizado (MARQUES, 2003, p.12-17).

Figura 182- Movimentos da Articulação do Ombro: (A) flexão, (B) extensão, (C) abdução, (D) adução, (E) rotação medial e (F) rotação lateral.



Fonte: Adaptado de Marques (2003, p.12-17)

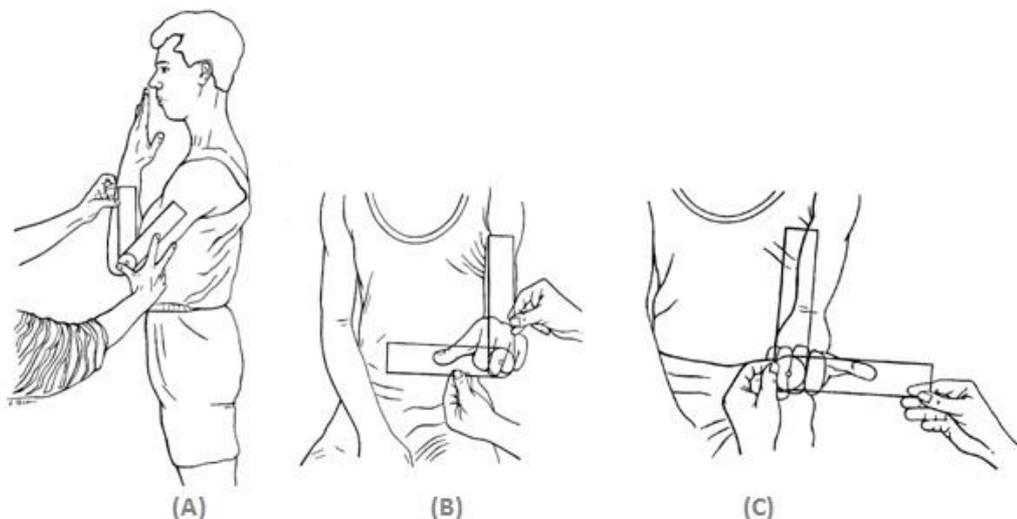
- Movimento de flexão do braço (Figura 182 - A): O movimento deve ser realizado levando o braço para frente, com a palma da mão voltada medialmente paralela ao plano sagital. Amplitude de movimento (0 – 180 graus).

- Movimento de extensão do braço (Figura 182 - B): Movimento realizado com a palma da mão voltada medialmente, paralela ao plano sagital, e o braço para trás. Amplitude de movimento (0 – 45 graus).
- Movimento de abdução do braço (Figura 182 – C): O movimento deve ser realizado elevando o braço lateralmente em relação ao tronco. Neste movimento inclui-se o movimento da escápula a partir de 90°. Amplitude de movimento (0 – 180 graus).
- Movimento de adução do braço (Figura 182 – D): Apesar de alguns autores considerarem a adução como o movimento inverso da abdução, neste manual será considerado o movimento de adução na frente do corpo com a palma da mão voltada posteriormente numa flexão de 90° do ombro. Amplitude de movimento (0 – 40 graus).
- Movimento de rotação medial do braço (Figura 182 – E): Para realizar a medição, preferencialmente, o indivíduo deve ficar deitado em decúbito dorsal, e o ombro numa abdução de 90°, com o cotovelo também fletido a 90° e o antebraço em supinação. A palma da mão voltada medialmente, paralela ao plano sagital e o antebraço perpendicular à mesa. Amplitude de movimento (0 – 90 graus).
- Movimento de rotação lateral do braço (Figura 182 – F): Para realizar a medição, preferencialmente, o indivíduo deve ficar deitado em decúbito dorsal. O ombro deve estar numa abdução de 90°, e o cotovelo também fletido a 90° e o antebraço em supinação. A palma da mão voltada medialmente, paralela ao plano sagital e o antebraço perpendicular à mesa. Amplitude de movimento (0 – 90 graus).

2 Articulação do cotovelo; Radiulnar Proximal e Punho

A Figura 183 apresenta exemplos de medição das articulações do cotovelo nos movimentos de extensão e flexão; medição da articulação radiulnar proximal e os movimentos de pronação e supinação do antebraço; medição de flexão, extensão, abdução e adução da mão (MARQUES, 2003, p.18-20).

Figura 183 - medição das articulações do cotovelo (A), Radiulnar Proximal (B) e Punho (C)



Fonte: Adaptado de Marques (2003, p.18-20)

- Movimento de flexão e extensão do antebraço (Figura 183 – A): O movimento de extensão é considerado o retorno de flexão, ou seja, $145^{\circ} - 0^{\circ}$. É realizado com a palma da mão mantida na posição anatômica. Amplitude de movimento (0 – 145 graus).
- Movimento de pronação do antebraço (Figura 185 – B): Amplitude de movimento (0 – 90 graus).
- Movimento de supinação do antebraço (Figura 185 – C): Amplitude de movimento (0 – 90 graus).

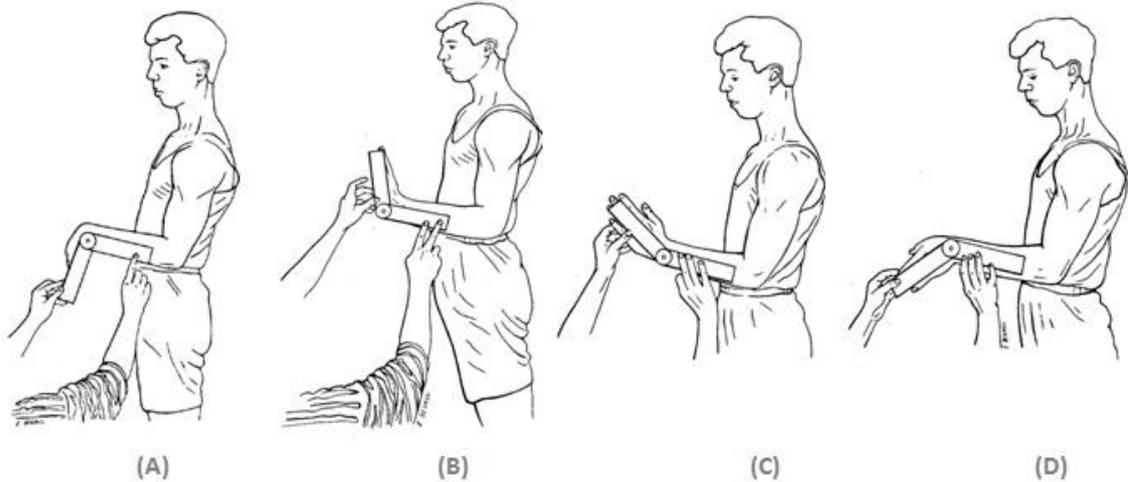
3 Articulação do Punho

A Figura 184 apresenta exemplos de medição das articulações do punho nos movimentos de extensão e flexão da mão; movimentos de abdução e adução da mão (MARQUES, 2003, p.21-24).

- Movimento de flexão da mão (Figura 60 – A): para a medição, o indivíduo poderá ficar em pé ou sentado com o antebraço em pronação e com o cotovelo fletido a aproximadamente 90° . Dedos estendidos durante a flexão. Amplitude de movimento (0 – 90 graus).
- Movimento de extensão da mão (Figura 184 – B): para a medição, o indivíduo poderá ficar em pé ou sentado com o antebraço em pronação e com o cotovelo fletido a aproximadamente 90° . Amplitude de movimento (0 – 70 graus).

- Movimento de abdução da mão ou desvio radial (Figura 184 – C): O goniômetro deve ser colocado no dorso da mão. É importante observar que deve ser mantida a posição anatômica da mão quando forem realizar as medições. Amplitude de movimento (0 – 20 graus).
- Movimento de adução da mão ou desvio ulnar (Figura 184 – D): A adução utiliza os mesmos pontos da abdução. Amplitude de movimento (0 – 45 graus).

Figura 184 - medição da articulação do punho. (A) flexão, (B) extensão, (C) abdução da mão e (D) adução da mão



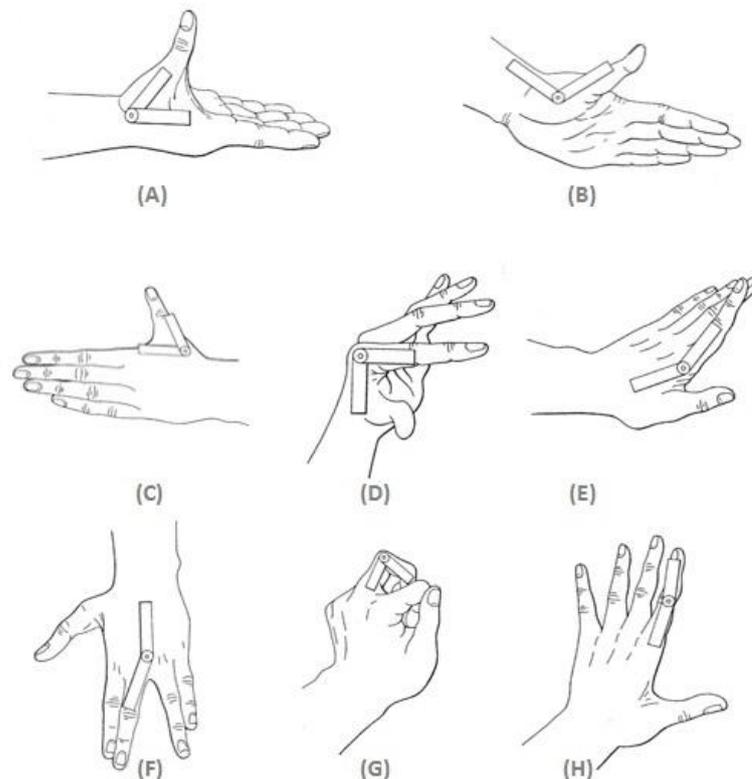
Fonte: Adaptado de Marques (2003, p.21-24)

4 Articulação Carpometacarpal do Polegar, Metacarpofalângicas e Interfalângicas Proximais e Distais dos dedos e do polegar (MARQUES, 2003, p.49 - 57)

- Movimento de flexão da articulação carpometacarpal: amplitude de movimento de 0 a 15 graus.
- Movimento de extensão da articulação carpometacarpal: amplitude de movimento de 0 a 70 graus.
- Movimento de abdução da articulação carpometacarpal: amplitude de movimento de 0 a 70 graus.
- Movimento de flexão dos dedos das articulações Metacarpofalângicas: amplitude de movimento de 0 a 90 graus.

- Movimento de extensão dos dedos das articulações Metacarpofalângicas: amplitude de movimento de 0 a 30 graus.
- Movimento abdução e adução dos dedos das articulações Metacarpofalângicas: amplitude de movimento de 0 a 20 graus.
- Movimento flexão das articulações interfalângicas proximais e distais dos dedos e do polegar: amplitude de movimento de 0 a 110 graus.
- Movimento extensão das articulações interfalângicas proximais e distais dos dedos e do polegar: amplitude de movimento de 0 a 10 graus.

Figura 185 - Articulação Carpometacarpal do Polegar, Metacarpofalângicas e Interfalângicas Proximais e Distais dos dedos e do polegar. (A) flexão carpometacarpal do polegar; (B) extensão flexão carpometacarpal do polegar; (C) abdução flexão carpometacarpal do polegar; (D) flexão dos metacarpofalângicas; (E) extensão dos metacarpofalângicas; (F) abdução e adução dos metacarpofalângicas; (G) flexão das interfalângicas proximais e distais dos dedos e do polegar e (H) extensão das interfalângicas proximais e distais dos dedos e do polegar



Fonte: Adaptado de Marques (2003, p.25-32)

A Tabela 3 apresenta os parâmetros referentes à amplitude e limites de movimento articular dos membros superiores como ombro, cotovelo, radiulnar,

punho, carpometacarpal do polegar, metacarpofalângicas e interfalângicas e seus respectivos movimentos.

Tabela 3 - Amplitude normal dos ângulos articulares dos membros superiores

ARTICULAÇÃO	MOVIMENTO	GRAUS DE MOVIMENTO
Ombro	Flexão	0 - 180
	Extensão	0 - 45
	Adução	0 - 40
	Abdução	0 - 180
	Rotação medial	0 - 90
	Rotação lateral	0 - 90
Cotovelo	Flexão	0 - 145
	Extensão	145 - 0
Radiulnar	Pronação	0 - 90
	Supinação	0 - 90
Punho	Flexão	0 - 90
	Extensão	0 - 70
	Adução	0 - 45
	Abdução	0 - 20
Carpometacarpal do polegar	Flexão	0 - 15
	Abdução	0 - 70
	Extensão	0 - 70
Metacarpofalângicas	Flexão	0 - 90
	Extensão	0 - 30
	Abdução	0 - 20
	Adução	0 - 20
Interfalângicas	Flexão	0 - 110
	Extensão	0 - 10

Fonte: Marques (2003, p.38)

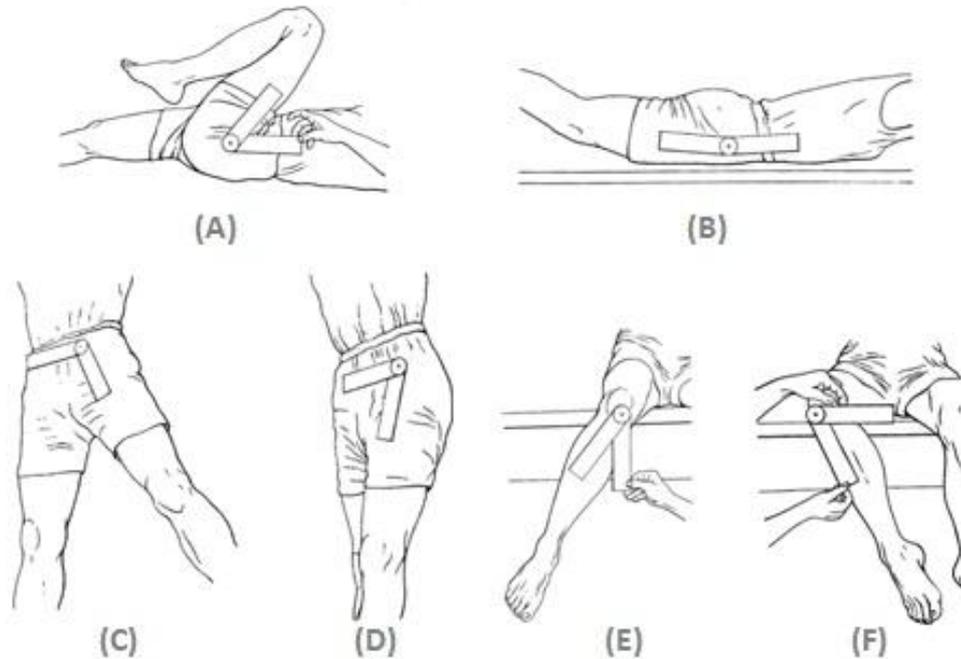
5 Articulação do quadril

Conforme a Figura 186, são apresentados os movimentos da articulação do quadril e a medição da amplitude do movimento angular (MARQUES, 2003, p.34-39).

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

- Movimento de rotação lateral da coxa: amplitude de movimento de 0 a 45 graus.

Figura 186- medições da articulação do quadril. (A) flexão; (B) extensão; (C) abdução; (D) adução; (E) rotação medial da coxa; (F) rotação lateral da coxa

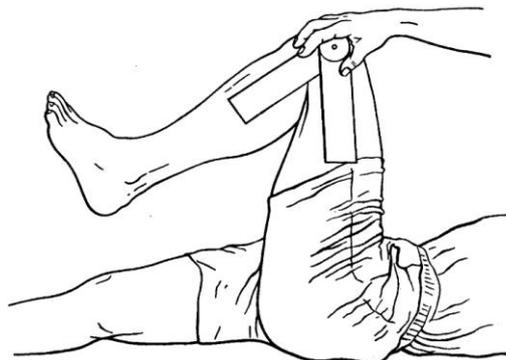


Fonte: Adaptado de Marques (2003, p.34-39)

6 Articulação do joelho

A Figura 187 apresenta o movimento de flexão da articulação do joelho e a amplitude de movimento de: 0 – 140° (MARQUES, 2003, p.40).

Figura 189 - Articulação do joelho



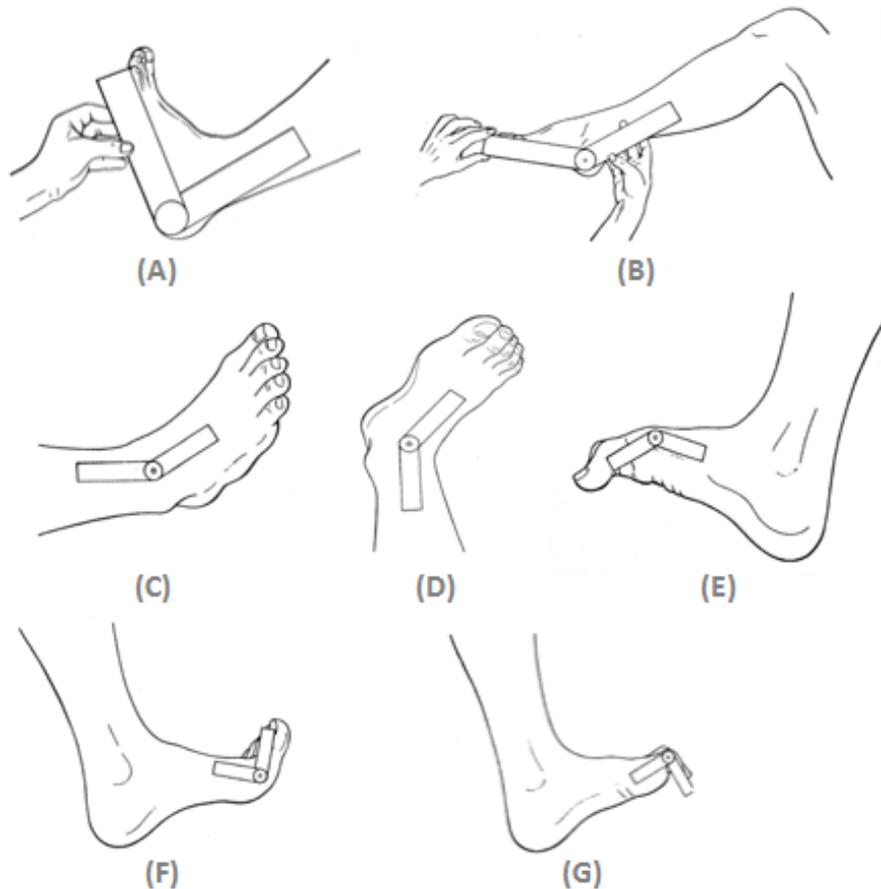
Fonte: Marques (2003, p.40)

7 Articulação do Tornozelo , Articulação dos metatarsfalângicas, Articulações Interfalângicas, Proximais e Distas

- Movimento de flexão ou flexão dorsal do pé (articulação do tornozelo): 0 - 20°
- Movimento de extensão ou flexão plantar do pé (articulação do tornozelo): 0 - 45°
- Movimento de adução ou inversão do pé (articulação do tornozelo): 0 - 40°
- Movimento de abdução ou eversão do pé (articulação do tornozelo): 0 - 20°
- Movimento de flexão dos dedos (articulação metatarsofalângicas): 0 - 45°
- Movimento de extensão dos dedos (articulação metatarsofalângicas): primeiro dedo (0 - 45°); segundo ao quinto dedo (0 - 45°).

A Tabela 4 apresenta os parâmetros referentes à amplitude e limites de movimento articular dos membros inferiores, nas articulações do quadril, do joelho, do tornozelo, dos metatarsofalângicas e das interfalângicas e seus respectivos movimentos.

Figura 188 - Articulação do Tornozelo , Articulação dos metatarsofalângicas, Articulações Interfalângicas, Proximais e Distas. (A) flexão do tornozelo; (B) extensão do tornozelo; (C) adução; (D) abdução; (E) flexão dos dedos metatarsofalângicas; (F) extensão dos dedos metatarsofalângicas (G) flexão das articulações interfalângicas



Fonte: Adaptado de Marques (2003, p.41 - 47).

Tabela 4 - Amplitude normal dos ângulos articulares dos membros inferiores

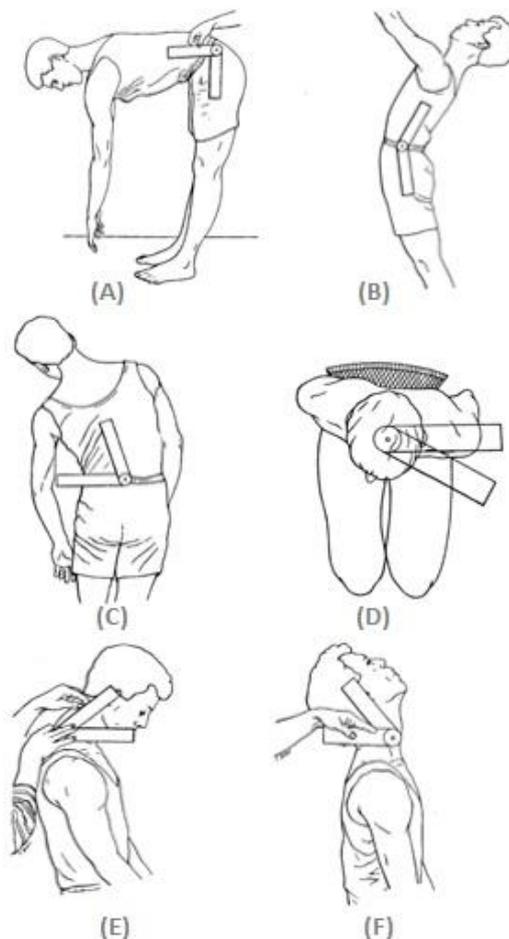
ARTICULAÇÃO	MOVIMENTO	GRAUS DE MOVIMENTO
Quadril	Flexão	0 - 125
	Extensão	0 - 10
	Adução	0 - 15
	Abdução	0 - 45
	Rotação medial	0 - 45
	Rotação lateral	0 - 45
Joelho	Flexão	0 - 140
Tornozelo	Flexão dorsal	0 - 20
	Flexão plantar	0 - 45
	Abdução	0 - 20
	Adução	0 - 40
Metatarsofalângicas	Flexão - Primeiro dedo	0 - 45
	Segundo ao quinto dedo	0 - 40
	Extensão - Primeiro dedo	0 - 90
	Segundo ao quinto dedo	0 - 45
Interfalângicas	Flexão (I) - Primeiro dedo	0 - 90
	(IP) - Segundo ao quinto dedo	0 - 35
	(ID) - Segundo ao quinto dedo	0 - 60

Fonte: Marques (2003, p.33)

8 Ângulos articulares da coluna vertebral

- Movimento de flexão da região lombar (região Dorso-Lombar): 0 – 95°
- Movimento de extensão da região lombar (região Dorso-Lombar): 0 – 35°
- Movimento de flexão lateral da região lombar (região Dorso-Lombar): 0 – 40°
- Movimento de rotação da região lombar (região Dorso-Lombar): 0 – 35°
- Movimento de flexão da região cervical (região cervical): 0 – 65°
- Movimento de extensão da região cervical (região cervical): 0 – 50°
- Movimento de flexão lateral da região cervical (região cervical): 0 – 40°

Figura 189 - Ângulos articulares da coluna vertebral. (A) flexão da região lombar; (B) extensão da região lombar; (C) flexão lateral da região lombar; (D) rotação da região lombar; (E) flexão da região cervical; (F) extensão da região cervical



Fonte: Adaptado de Marques (2003, p.49 - 57)

Tabela 5 - Amplitude normal dos ângulos da coluna vertebral

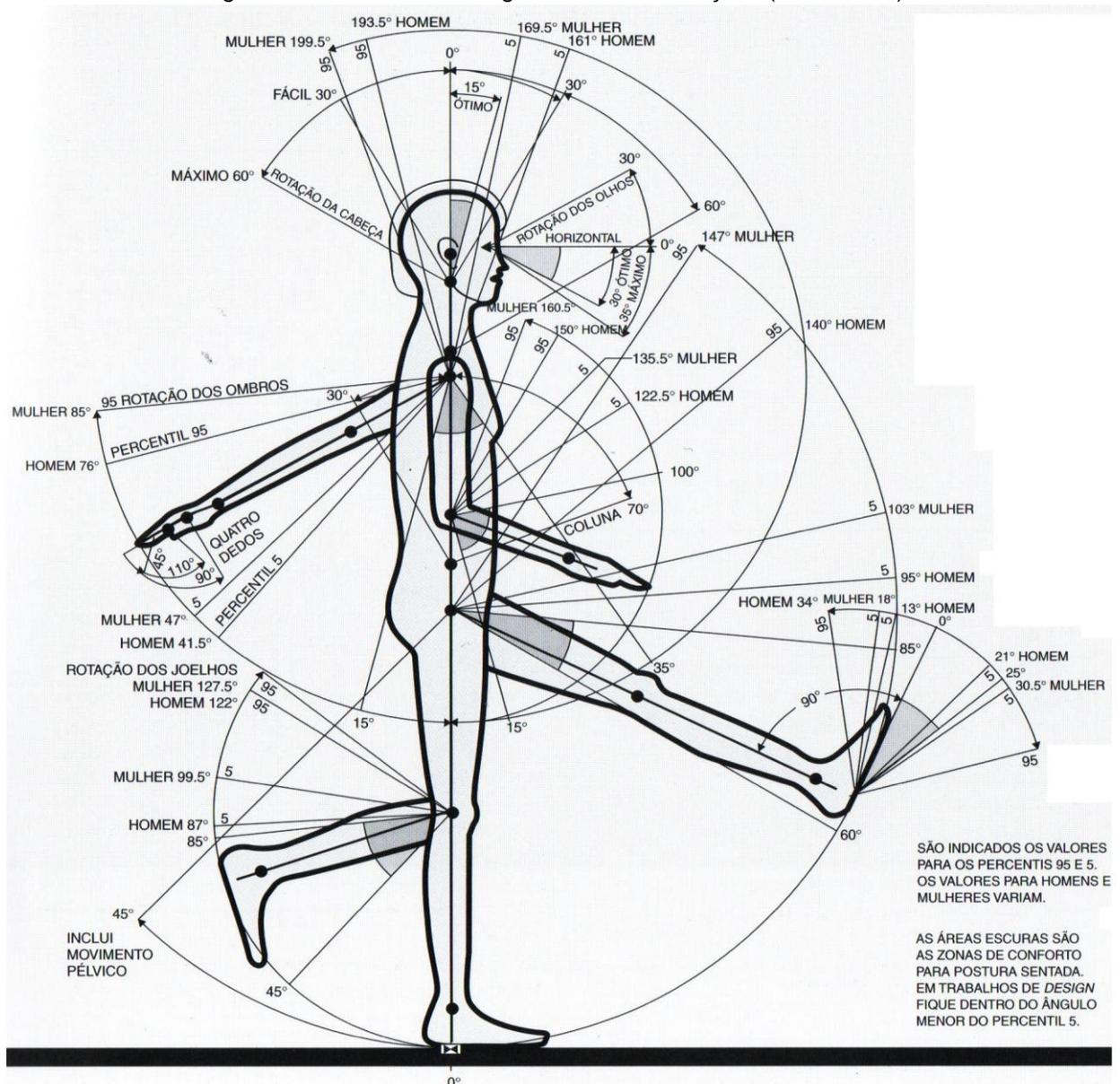
MOVIMENTO	COLUNA VERTEBRAL CERVICAL (GRAUS)	COLUNA VERTEBRAL LOMBAR (GRAUS)
Flexão	0 - 65°	0 - 95°
Extensão	0 - 50°	0 - 35°
Flexão lateral	0 - 40°	0 - 40°
Rotação	0 - 55°	0 - 35°

Fonte: Marques (2003, p.49)

ANEXO D – Ângulos de conforto conforme Tilley e Dreyfruss (2005)

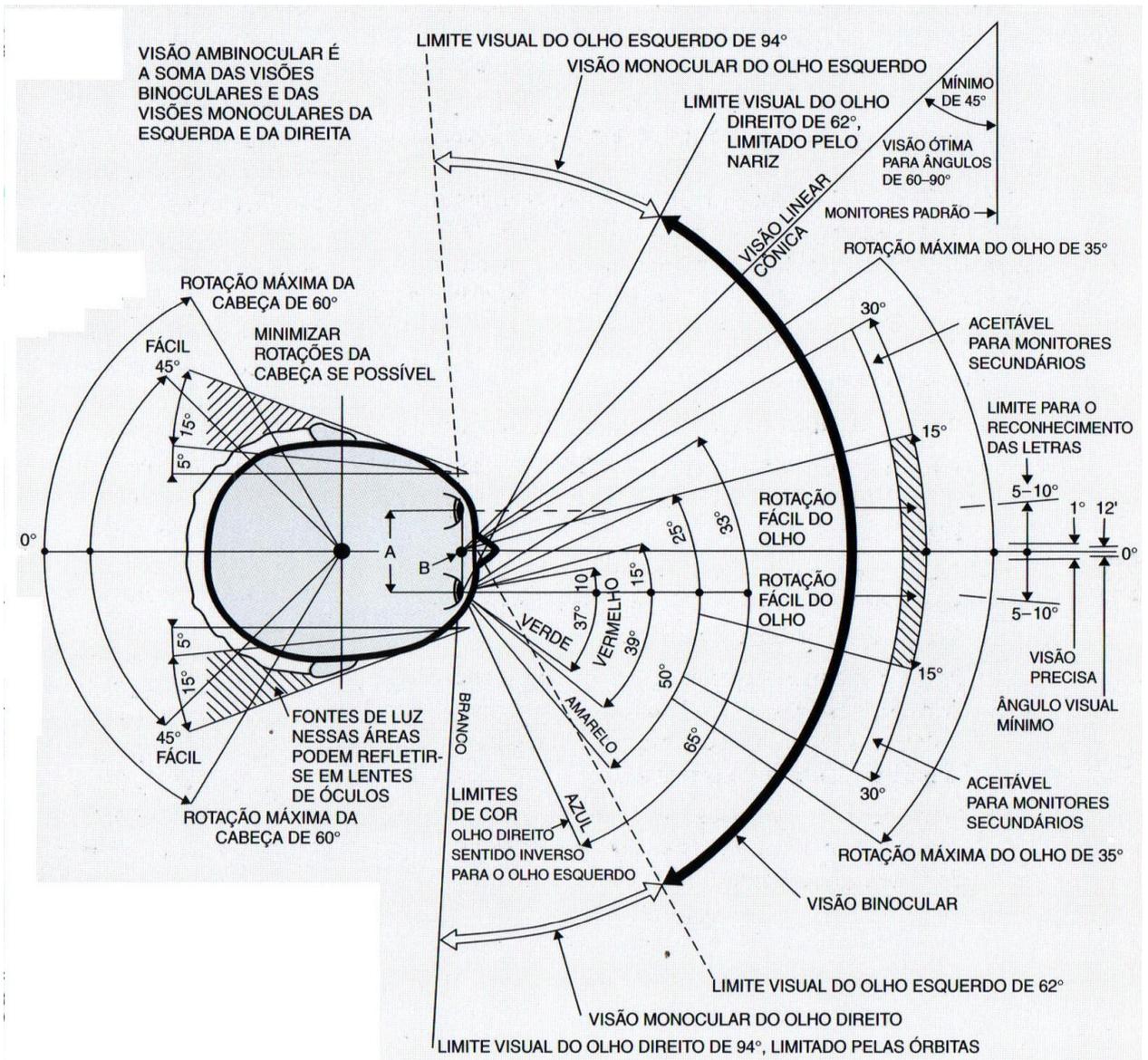
A Figura 190 apresenta valores de medidas relacionados ao campo de visão, ângulos das rotações dos membros inferiores, superiores, do pescoço, para os homens de percentil 95 e mulheres de percentil 05. A Figura 192 apresenta os movimentos angulares das articulações em vista frontal.

Figura 190 - Movimentos angulares das articulações (vista lateral)



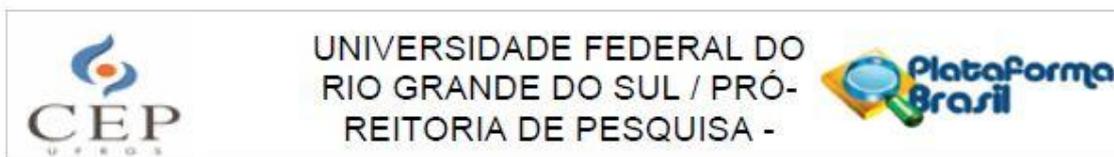
Fonte: Tilley e Dreyfruss (2005, p. 35).

Figura 195 - Movimentos angulares da articulação do pescoço (vista superior)



Fonte: Tilley e Dreyfuss (2005, p. 24).

ANEXO E – Parecer Consubstanciado do CEP



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: MODELO HUMANO DIGITAL CUSTOMIZÁVEL PARA ANÁLISE ERGONÔMICA VIRTUAL NO PROJETO DE PRODUTO

Pesquisador: CLARIANA FISCHER BRENDLER

Área Temática:

Versão: 3

CAAE: 60158616.1.0000.5347

Instituição Proponente: Faculdade de Arquitetura UFRGS

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 1.782.671

Apresentação do Projeto:

O projeto de pesquisa "Modelo Humano Digital Customizável para Análise Ergonômica Virtual no Projeto de Produto Delimitação" é um projeto de tese de doutorado da Profa. Ms. Clariana Fischer Brendler, aluna do Programa de Pós-Graduação em Design, da UFRGS, orientada pelo prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira e pela Coorientadora, Prof. Dr. Gabriela Zubaran de Azevedo Pizzato. Tem como objetivo "desenvolver um modelo humano digital customizável que contenha os parâmetros antropométricos estáticos e os parâmetros relacionados ao movimento do corpo para ser utilizado na análise ergonômica virtual de forma a obter os parâmetros antropométricos dinâmicos". A proposta está bem estruturada, apresentando, na introdução, a delimitação do tema, problematização, hipótese, objetivos e justificativa. Contempla referencial teórico específico e bibliografia atualizada. É uma pesquisa qualitativa, descritiva e quanto aos procedimentos é classificada como experimental. Os procedimentos metodológicos estão detalhados, e contemplam diferentes etapas de pesquisa e análise. O projeto apresenta parecer favorável da Comissão de Pesquisa de Arquitetura-UFRGS.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Geral: "Desenvolver um MHD customizável que contenha os parâmetros antropométricos estáticos e os parâmetros relacionados ao movimento do corpo para ser utilizado na análise

Endereço: Av. Paulo Gama, 110 - Sala 317 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro
Bairro: Farroupilha **CEP:** 90.040-060
UF: RS **Município:** PORTO ALEGRE
Telefone: (51)3308-3738 **Fax:** (51)3308-4085 **E-mail:** etica@propesq.ufrgs.br



UNIVERSIDADE FEDERAL DO
RIO GRANDE DO SUL / PRÓ-
REITORIA DE PESQUISA -



Continuação do Parecer: 1.782.671

ergonômica virtual de forma a obter os parâmetros antropométricos dinâmicos, durante o processo de projeto”.

Objetivos específicos: “Levantar o estado da arte dos métodos e técnicas existentes para realização da análise ergonômica e os métodos desenvolvidos para a obtenção dos parâmetros antropométricos; Identificar os parâmetros de referência relacionados ao movimento do corpo humano, considerando a amplitude do movimento articular, limitações e restrições de movimento conforme a geometria da articulação, os planos e eixos de movimento e os ângulos de conforto articular, para que sejam inseridos no MHD desenvolvido; Selecionar os softwares que possuam formatos open source ou códigos livres para o desenvolvimento do MHD customizável para a realização da análise ergonômica virtual de produtos; Estabelecer diretrizes para auxiliar na obtenção e inserção dos parâmetros antropométricos a partir do MHD customizável e da simulação virtual no processo de projeto de produto”.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos: “Sobre os riscos possíveis que possam ocorrer aos participantes da pesquisa, durante os procedimentos, é possível que possa ser ocasionado algum desconforto ou cansaço no participante, durante a etapa de coleta das medidas antropométricas ou durante as etapas de simulação dos produtos. O objetivo desta pesquisa é manter ao mínimo os riscos possíveis provenientes de sua participação. Para tal propósito, estão previstas as seguintes medidas por parte do pesquisador: Se caso for ocasionado algum desconforto ou cansaço no participante, o mesmo poderá parar a sua participação em qualquer momento para descansar; (na coleta das medidas antropométricas e durante as simulações dos produtos); Não haverá custos de participação em nenhuma etapa da pesquisa; Assegura-se o sigilo acerca da identidade e das imagens do participante; As informações obtidas por sua participação servirão exclusivamente para fins de pesquisa com publicação em relatório e artigos relacionados, sendo armazenadas por cinco anos e, posteriormente, destruídas; A participação da pesquisa é facultativa, podendo-se retirar o consentimento ou desistir da atividade quando desejado; O participante recebe uma via do termo de consentimento assinado como garantia legal”.

Benefícios: “O benefício de contribuir diretamente para o desenvolvimento do modelo humano digital customizável o que irá auxiliar indiretamente no desenvolvimento de produtos mais confortáveis, seguros e eficazes, na melhoria da qualidade de vida dos usuários de produtos e no ensino nas áreas de graduação desenvolvem projetos ergonômicos de produtos como por exemplo

Endereço: Av. Paulo Gama, 110 - Sala 317 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro
Bairro: Farroupilha CEP: 90.040-060
UF: RS Município: PORTO ALEGRE
Telefone: (51)3308-3738 Fax: (51)3308-4085 E-mail: etica@propesq.ufrgs.br



UNIVERSIDADE FEDERAL DO
RIO GRANDE DO SUL / PRÓ-
REITORIA DE PESQUISA -



Continuação do Parecer: 1.782.671

as área da Arquitetura, Engenharias e Design”.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

O projeto de pesquisa aborda a obtenção e inserção de parâmetros antropométricos estáticos e dinâmicos no processo de projeto, suas contribuições e possíveis implicações no desenvolvimento de produtos, bem como seus processos e métodos para a obtenção desses parâmetros, delimitando-se ao tratamento de assuntos relacionados à obtenção dos parâmetros antropométricos referentes às medições lineares, medidas de alcances máximos e mínimos e determinação de zonas de conforto e desconforto articular. Para a realização da análise ergonômica, a presente pesquisa contempla áreas como o design de produtos, ergonomia física e biomecânica. Tem como problema de pesquisa “Como os parâmetros antropométricos dinâmicos podem ser obtidos durante o processo de projeto de forma a contribuir para atender aos requisitos ergonômicos de projeto de produto?” e como hipótese “Os parâmetros antropométricos dinâmicos podem ser obtidos durante o processo de projeto por meio de uma análise ergonômica realizada, com auxílio de um modelo humano digital customizável, em ambiente virtual, visando atender aos requisitos ergonômicos do usuário”. É uma pesquisa qualitativa, descritiva e quanto aos procedimentos é classificada como experimental. Inclui como técnicas de coleta a pesquisa bibliográfica, a observação (no projeto, especificar como uma das técnicas de coleta de dados) e entrevistas semiestruturadas. Também se valerá de recurso fotográfico. Está dividida em cinco etapas principais: etapas de investigação, intervenção, verificação, análise e interpretação dos dados, resultados e discussão da pesquisa. Primeiramente, na investigação, serão obtidos resultados que possibilitem o início do processo de modelagem do MHD, que envolve o desenvolvimento do protótipo de modelagem 3D dos dois produtos analisados, que serão uma estação de trabalho do Laboratório de Pesquisa Virtual Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e um simulador veicular de autoescola localizada na cidade de Porto Alegre - RS, para em seguida ser realizada a análise ergonômica nos produtos existentes e nos protótipos físicos. A intervenção terá a participação de duas pessoas, sendo que um deverá representar a medida antropométrica do percentil máximo (95%) da altura do homem e, o outro participante, representa o percentil mínimo (5%) da altura da mulher, conforme as medidas estabelecidas na tabela antropométrica de Tilley e Dreyfuss (2005). Segundo a pesquisadora, num primeiro momento, serão tomadas as medidas antropométricas dos participantes, no laboratório de pesquisa Virtual Design, com uma duração de 45min para cada participante. Também, os participantes da pesquisa realizarão o uso de ambos os produtos físicos existentes (estação de trabalho e simulação veicular), sendo a tarefa a ser realizada com duração de aproximadamente

Endereço: Av. Paulo Gama, 110 - Sala 317 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro
Bairro: Farrroupilha **CEP:** 90.040-060
UF: RS **Município:** PORTO ALEGRE
Telefone: (51)3308-3738 **Fax:** (51)3308-4085 **E-mail:** etica@propesq.ufrgs.br



UNIVERSIDADE FEDERAL DO
RIO GRANDE DO SUL / PRÓ-
REITORIA DE PESQUISA -



Continuação do Parecer: 1.782.671

10min para cada participante. Paralelamente, serão realizados registros fotográficos e uma entrevista semiestruturada. Ainda, após a participação dos usuários nessa etapa de análise ergonômica com os produtos existentes, os mesmos irão participar da etapa de análise ergonômica no laboratório de Pesquisa do Exercício da faculdade de Educação Física, Fisioterapia e Dança da UFRGS, para realizar a análise ergonômica com uso de protótipos destes produtos, para análise e captura de movimento por meio de câmeras de infravermelho. Em seguida acontecerão as outras etapas da pesquisa, que envolve análise e interpretação dos dados, resultados e discussão. A presente pesquisa contribui ao proporcionar o uso do MHD aos profissionais e estudantes dos cursos de design e áreas afins nas análises ergonômicas e, assim, obter os parâmetros antropométricos dinâmicos necessários para o desenvolvimento de produtos confortáveis, seguros e eficazes.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

O projeto está acompanhado dos seguintes documentos de apresentação obrigatória: Comprovante de envio do projeto; Folha de rosto para pesquisa envolvendo seres humanos; Formulário de Informações Básicas sobre Projeto de Pesquisa Envolvendo Seres Humanos; Parecer da Comissão de Pesquisa de Arquitetura; Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, Termos de Anuências de uso dos Laboratórios.

Recomendações:

- TCLE: O termo foi ajustado, conforme solicitações. Está adequado. Não há recomendações.
- Projeto: O projeto foi ajustado, conforme solicitações. Não há recomendações.
- Termos de anuências dos Laboratórios foram incluídos.
- Formulário da Plataforma Brasil (Informações Básicas do Projeto): acrescentadas as informações de como serão convidados os dois participantes que, segundo a pesquisadora, serão alunos do PPG em Design e como acontecerão os deslocamentos para os Laboratórios;
- Convite: retirada a palavra "encarecidamente" que constava na primeira frase.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Encaminhamento com indicação de aprovação.

Considerações Finais a critério do CEP:

Aprovado.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Endereço: Av. Paulo Gama, 110 - Sala 317 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro
Bairro: Farroupilha CEP: 90.040-060
UF: RS Município: PORTO ALEGRE
Telefone: (51)3308-3738 Fax: (51)3308-4085 E-mail: etica@propesq.ufrgs.br



UNIVERSIDADE FEDERAL DO
RIO GRANDE DO SUL / PRÓ-
REITORIA DE PESQUISA -



Continuação do Parecer: 1.782.671

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_786727.pdf	13/10/2016 15:52:43		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	_Projeto_detalhado_.pdf	13/10/2016 15:51:48	CLARIANA FISCHER BRENDLER	Aceito
Outros	_Modelo_de_convite_.pdf	13/10/2016 15:50:52	CLARIANA FISCHER BRENDLER	Aceito
Outros	anuencia_3.pdf	11/10/2016 09:36:46	CLARIANA FISCHER BRENDLER	Aceito
Outros	anuencia_2.pdf	11/10/2016 09:35:34	CLARIANA FISCHER BRENDLER	Aceito
Outros	anuencia_1.pdf	11/10/2016 09:34:40	CLARIANA FISCHER BRENDLER	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	_TCLE_.pdf	11/10/2016 09:32:15	CLARIANA FISCHER BRENDLER	Aceito
Outros	COMPESQ.jpg	20/09/2016 09:15:45	CLARIANA FISCHER BRENDLER	Aceito
Cronograma	CRONOGRAMA.pdf	20/09/2016 09:13:17	CLARIANA FISCHER BRENDLER	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_Rosto.pdf	20/09/2016 09:11:22	CLARIANA FISCHER BRENDLER	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

PORTO ALEGRE, 20 de Outubro de 2016


Assinado por:
MARIA DA GRAÇA CORSO DA MOTTA
(Coordenador)

Endereço: Av. Paulo Gama, 110 - Sala 317 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro
Bairro: Farroupilha CEP: 90.040-080
UF: RS Município: PORTO ALEGRE
Telefone: (51)3308-3738 Fax: (51)3308-4085 E-mail: etica@propesq.ufrgs.br