

# HERIP - Modelo Humano Digital Paramétrico para análise ergonômica virtual do projeto de produto

## HERIP - Parametric Digital Human Model for virtual ergonomic analysis of product design

*Clariana fischer brendler*<sup>1</sup>

*Fábio Gonçalves Teixeira*<sup>2</sup>

*Gabriela Zubaran de Azevedo Pizzato*<sup>3</sup>

## Resumo

O objetivo é apresentar o desenvolvimento do Modelo Humano Digital (HERIP) para auxiliar nas análises ergonômicas de produto em ambiente virtual e, assim, atender aos requisitos ergonômicos de projeto. A metodologia consiste em: investigação (pesquisa bibliográfica, coleta e análise dos dados) e intervenção (desenvolvimento do HERIP e aplicação em análise ergonômica de um simulador veicular de autoescola). Os resultados obtidos em relação ao desenvolvimento do HERIP: parametrização das variáveis antropométricas, reprodução dos movimentos do HERIP o mais próximo do movimento do corpo humano e viabilização da identificação do conforto postural por meio da mudança de cor nos marcadores alocados nas articulações móveis do HERIP.

**Palavras-chave:** Modelo Humano Digital paramétrico; HERIP; Desenvolvimento de projeto de produto; Análise ergonômica

## Abstract

The objective is to present the development of the Digital Human Model (HERIP) to assist in the ergonomic analysis of product in virtual environment and thus meet the ergonomic design requirements. The methodology consists of: research (bibliographic research, data collection and analysis) and intervention (development of HERIP and application in ergonomic analysis of a driving school simulator). The results obtained in relation to the development of HERIP: parameterization of anthropometric variables, reproduction of HERIP movements as close to the human body movement and the identification of postural comfort by means of color change in the markers allocated in the HERIP mobile joints.

**Key-words:** Parametric Digital Human Model; HERIP; Product project development; Ergonomic analysis

## Introdução

A melhoria da qualidade dos produtos em relação aos aspectos ergonômicos é alcançada quando estes atendem aos requisitos ergonômicos dos usuários, como o conforto, a segurança e a eficácia. Para isso, é necessário identificar e selecionar as informações corretas e pertinentes em relação a quais medidas antropométricas são necessárias e relacioná-las às variáveis antropométricas que irão influenciar ergonomicamente em cada projeto de produto. As variáveis antropométricas são referentes às partes do corpo humano em que são mensuradas como, por exemplo, a variável estatura, largura dos ombros e o comprimento do pé. As medidas antropométricas são definidas como os valores obtidos destas variáveis e podem ser classificadas em estáticas e dinâmicas (SCHOENARDIEA et al., 2011; TILLEY; DREYFUSS, 2005).

As medidas antropométricas estáticas são aquelas em que se referem ao corpo parado ou com poucos movimentos, cujas medições são realizadas entre pontos anatômicos identificados. As medidas antropométricas dinâmicas estão relacionadas aos ângulos articulares e aos movimentos de alcance obtidos durante a realização de tarefas específicas (TILLEY; DREYFUSS, 2005; IIDA, 2005).

Produtos que requerem o movimento do corpo durante seu uso podem até ser dimensionados com as medidas da antropometria estática. Porém, seu uso poderá implicar no desconforto e na insegurança, podendo causar dor, fadiga e lesões musculares, e até mesmo acidentes de trabalho, em função do dimensionamento impreciso das medidas antropométricas. Neste caso, é recomendada a aplicação das medidas 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 medidas das variáveis antropométricas relacionadas à antropometria dinâmica. 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 as medidas da antropometria dinâmica devem ser identificadas a partir da análise de uso do produto 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).

Durante a análise do uso de um produto, o usuário pode vir a assumir diferentes posturas, que acionam diferentes conjuntos da musculatura. Portanto, uma simples observação visual para realização da análise ergonômica do produto não é suficiente para obtenção das medidas da antropometria dinâmica (IIDA, 2005).

Para a identificação e obtenção destas medidas, há técnicas que podem ser utilizadas, como as observações diretas e observações por meio de fotografias e/ou vídeos. 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 a obtenção de dados posturais e de medidas antropométricas para avaliação e quantificação destas informações.

O registro em vídeo permite com maior confiabilidade 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

<sup>1</sup> Doutora - UFRGS (clafischer@hotmail.com)

<sup>2</sup> Doutor - UFRGS (fgtdsg@gmail.com)

<sup>3</sup> Doutora - UFRGS (gabrielapizzato@gmail.com)

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) para serem utilizados em ambientes virtuais (YANG J. et al., 2007; LÄMKULL D. et al., 2007, CAPUTO et al. 2018). 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, tampouco para a área acadêmica (YANG J. et al., 2007; LÄMKULL D. et al., 2007; BLANCHONETTE, 2010).

A partir da década de 60, foram desenvolvidos softwares de projeto auxiliados por computador (CAD), que tornaram possíveis a elaboração de produtos e avaliações em ambientes virtuais. O desenvolvimento desses softwares de modelagem 3D significava que os projetos 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 destes softwares de modelagem, foram desenvolvidos MHD, que se encontram disponíveis para comercialização, como: Cyberman, Combiman, Crew Chief, Sammie, RAMSIS, Jack e Mannequin (IIDA, 2005; FEYEN et al. 2000; BLANCHONETTE, 2010). Entretanto, esses softwares contendo MHD são limitados nas possibilidades de variações dos percentis antropométricos, apresentando valores nos percentis estatura de 5%, 50% e 95% masculino e feminino. A ausência de um MHD, que possibilite a parametrização das variáveis antropométricas e dos percentis, prejudica o desenvolvimento de projetos que demandam maior nível de detalhamento e precisão dimensional (HELIN et al. 2012; BLANCHONETTE, 2010; TILLEY; DREYFUSS, 2005, CAPUTO et al. 2018).

Segundo Feyen et al. (2000) e Helin et al. (2012), há a necessidade do desenvolvimento de um MHD que contenha informações ergonômicas para serem utilizadas durante o processo de desenvolvimento de produto (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. Modelos como, por exemplo, 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 ultrapassem as zonas de conforto e amplitude articular (FEYEN et al. 2000).

Helin et al. (2012) e SISAY (2015) afirmam que há a necessidade de integração dos modelos biomecânicos e de MHD que possibilitem a parametrização das variáveis para realização das análises ergonômicas do produto, necessidades estas que não são atendidas pelos MHD disponíveis no mercado. Os quais apresentam estruturas que não podem ser alteradas e, quando possibilitam a parametrização, como no exemplo do MHD RAMSIS, ocorre apenas sobre os percentis da estatura 5%, 50% e 95% masculino e feminino.

Além da parametrização, é de extrema importância que os MHD sejam capazes de reproduzir o movimento do corpo humano para a obtenção das medidas antropométricas dinâmicas (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. Desta forma, os MHD desenvolvidos para auxiliar nas análises ergonômicas do produto devem representar o usuário real em suas características antropométricas, para que seja possível o levantamento das medidas dinâmicas para o desenvolvimento de projeto de produto (PDP) (SISAY, 2015; SCHMIDT et al., 2014).

Portanto, o presente trabalho apresenta o desenvolvimento do HERIP, um MHD totalmente paramétrico, com a finalidade de auxiliar nas análises ergonômicas do produto em ambiente virtual e permitir a obtenção das medidas relacionadas à antropometria dinâmica e, assim, atender aos requisitos ergonômicos de projeto.

### Métodos e processos

As etapas da metodologia do presente trabalho foram separadas em etapa de investigação e etapa de intervenção. A investigação consistiu em determinar os requisitos para o desenvolvimento do HERIP, os quais foram definidos conforme a problematização e necessidades obtidas a partir dos resultados da pesquisa bibliográfica. Fez parte do escopo da pesquisa assuntos como antropometria estática e dinâmica e sua aplicação no desenvolvimento de projetos de produtos.

Para a focalização do assunto, foram contemplados os métodos e técnicas para obtenção de medidas antropométricas estáticas e dinâmicas por meio 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. Para o estado da arte dos métodos de obtenção das medidas antropométricas e análises ergonômicas do produto, foi 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 delimitaram entre 2001 e 2018, contendo as seguintes palavras-chave: *Ergonomic analysis of the product, ergonomics in product design and methods for obtaining the anthropometric parameters for product design.*<sup>1</sup> O portal de busca para os periódicos foi o *sciencedirect.*<sup>2</sup>

Para obtenção das medidas antropométricas dinâmicas através do movimento do usuário ao efetuar uma tarefa, além das medidas antropométricas estáticas, foram necessários buscar parâmetros de referência relacionados ao movimento do corpo humano em áreas de conhecimento como a biomecânica, a cinesiologia, a ergonomia e o design de produtos. Os parâmetros de referência relacionados ao movimento do corpo humano serão inseridos no MHD desenvolvido na presente pesquisa. Portanto, foi necessário identificar as relações e contribuições destas áreas de conhecimento, a fim de inserir estes parâmetros de referência no HERIP para realização da análise ergonômica virtual.

Os parâmetros de referência em relação aos movimentos do corpo humano incluem: a amplitude do movimento articular (ADM), 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, foram realizadas pesquisas em

<sup>1</sup> análise ergonômica do produto, ergonomia no projeto de produto e métodos para obtenção dos parâmetros antropométricos para o projeto de produto (traduzido pela autora).

<sup>2</sup> <http://www.sciencedirect.com/>

<sup>3</sup> <http://www.sciencedirect.com/>

periódicos internacionais em portais de busca (*sciencedirect.com*<sup>3</sup>) utilizando o método da revisão bibliográfica sistemática (RBS). Os anos dos periódicos se delimitaram entre 2002 e 2018, em função de obter uma abrangência maior de estudos na área. As palavras-chave utilizadas na busca foram: *angles of comfort, optimum angles, biomechanics and product design, methods for postural analysis and dynamic anthropometry*.<sup>4</sup>

Para finalizar a etapa de investigação e iniciar o desenvolvimento do HERIP, foram investigados os softwares: OpenSIM®, MakeHuman®, 3DSSPP®, Blender® e Sverschok®. Os critérios de seleção para investigação desses softwares foram: 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®.

Os requisitos para o desenvolvimento do MHD foram definidos em:

- Parametrização das variáveis antropométricas a fim de obter as medidas necessárias para o projeto, principalmente, que demandam maior nível de detalhamento e precisão dimensional;
- Articulações móveis a fim de efetuar os movimentos necessários durante o uso de um determinado produto conforme o movimento real do corpo humano;
- Identificação de zonas de conforto e desconforto postural a partir da sinalização de cores nos marcadores alocados sobre as articulações móveis do MHD. A cor verde, sinaliza zonas de conforto articular; a cor vermelha, sinaliza desconforto articular.

A etapa de intervenção contém o desenvolvimento do HERIP, a partir dos parâmetros de referência relacionados ao movimento do corpo humano, e a aplicação do mesmo em análises ergonômicas de um simulador veicular de autoescola com a finalidade de demonstrar seu desempenho e suas funcionalidades bem como a obtenção das medidas antropométricas dinâmicas e dos parâmetros necessários para o desenvolvimento do projeto ou melhorias ergonômicas do produto.

Foram selecionados dois participantes: um masculino, representando 90% do percentil estatura, e um feminino, representando os 5% do percentil estatura feminino. Estes percentis foram escolhidos por representar o percentil mínimo e máximo de usuários, femininos e masculinos, compreendendo assim, um maior número de usuários para este produto. As medidas antropométricas destes participantes foram inseridas no HERIP e as análises ergonômicas foram realizadas em meio virtual.

## Desenvolvimento do HERIP

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.

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, por meio da fotogrametria por exemplo. 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 do produto, uma vez que indica o tipo de movimento e o quanto cada articulação pode se movimentar. O que possibilitou desenvolver um MHD o mais próximo dos movimentos reais do ser humano e, assim, mensurar o conforto ou um provável desconforto ao exercer um movimento fora da ADM.

Portanto, para cada articulação foram definidas as amplitudes máximas e os valores dos ângulos de conforto os quais permitem definir as posturas que condicionam maior conforto durante a realização das tarefas dentro do limite da capacidade de movimento articular.

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; NORDIN; FRANKEL, 2014).

É importante salientar que 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 às 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

<sup>3</sup> <http://www.sciencedirect.com/>

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

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 (IIDA, 2005). Assim, para uso de parâmetros antropométricos tabelados, foi necessário fazer certas reduções quando se tratar de pessoas idosas ou com alguma incapacidade física.

Os parâmetros de referência, fundamentais para o desenvolvimento do MHD HERIP, foram elencados e apresentados no Quadro 1. Estes parâmetros abrangem: 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 e, por fim, as referências dos autores onde foram encontradas as informações.

Quadro 1 Parâmetros de referência para o MHD HERIP.

Localização da articulação (KAPANDJI, 2011)	Planos e eixos BANKOFF (2007)	Tipos de movimentos KAPANDJI (2011)	ADM MARQUES (2003)	Ângulos de conforto 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 metacarpo-falângica das falanges das mãos; Na articulação metacarpofalângica das falanges dos pés	Biaxial  Plano Sagital (eixo látero-lateral) Plano Frontal (eixo ântero-posterior)	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°
Na articulação carpometacárpica do polegar	Biaxial  Plano Sagital (eixo látero-lateral) Plano Frontal (eixo ântero-posterior)	Flexão Extensão Abdução	0° - 45° 0° - 20° 0° - 70°	
Na articulação das interfalanges dos dedos dos pés; Na articulação interfalanges dos dedos das mãos; Na articulação do cotovelo	Uniaxial  Plano Sagital (eixo látero-lateral)	Flexão - primeiro dedo - segundo ao quinto dedo (proximais) - segundo ao quinto dedo (distais) Flexão Extensão Flexão Extensão	0° - 90° 0° - 35° 0° - 60° 0° - 110° 0 - 10° 0° 145° - 0°	0° - 100°

Na articulação radioulnar superior e inferior	Uniaxial  Plano Horiz. Eixo Longitudinal	Pronação Supinação	0° - 90° 0° - 90°	
Articulação do joelho	Uniaxial  Plano Sagital (eixo látero-lateral)	Flexão Hiperextensão Rotação medial Rotação lateral	0° -140° 0° 0° - 30° 0° - 45°	
Articulação dos ombros; Articulação do quadril	Triaxial  Plano Sagital (eixo látero-lateral)  Plano Frontal (eixo ântero-posterior) Plano Horizontal eixo longitudinal	Flexão Hiperextensão Abdução Adução Rotação Medial Rotação Lateral  Flexão Hiperextensão Abdução Adução Rotação Medial Rotação Lateral	0° -180° 0° - 45° 0° -180° 0° - 40° 0° - 90° 0° - 90°  0° -130° 0° - 30° 0° - 35° 0° - 30° 0° - 45° 0° - 50°	0 - 35° 0 - 15° 0 - 30°  0° - 85° 0° - 20° 0° - 5°
Articulação do tornozelo; Articulação talocrural; Articulação tibiofibular inferior	Biaxial  Plano Sagital (eixo látero-lateral) Plano Frontal eixo ântero-posterior	Dorsiflexão Flexão planar Abdução Adução	0° - 20° 0° - 45° 0° - 20° 0° - 40°	0° - 25°
Articulação coluna vertebral - Coluna vertebral cervical - Coluna vertebral lombar	Biaxial  Plano Sagital (eixo látero-lateral)  Plano Horizontal eixo longitudinal	Flexão Extensão Flexão lateral Rotação  Flexão Extensão Flexão lateral Rotação Unilateral	0° - 80° 0° - 30° 0° - 35° 0° - 45°  0° - 45° 0° - 45° 0° - 45° 0° - 60°	

Para o processo de modelagem do HERIP foi necessário utilizar um software que possibilitasse o desenvolvimento de segmentos que simulassem os ossos, a superfície do corpo humano e que permitisse o movimento e a parametrização dos membros do corpo. Portanto, foi selecionado o software Blender®, porque 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® foi utilizado o software MakeHuman®, também gratuito, de código aberto e disponível para diversos SO.

O modelo de corpo humano digital existente no MakeHuman® possui diversos segmentos ósseos, entretanto ao exportá-lo para o Blender®, apresentou alguns problemas como desalinhamento dos segmentos e algumas partes se desconectaram da estrutura. Para resolver estas questões, aproveitou-se apenas a superfície do modelo do MakeHuman® (Fig. 2A) e a estrutura que simula os ossos foram modelados no Blender® (Fig. 2B).

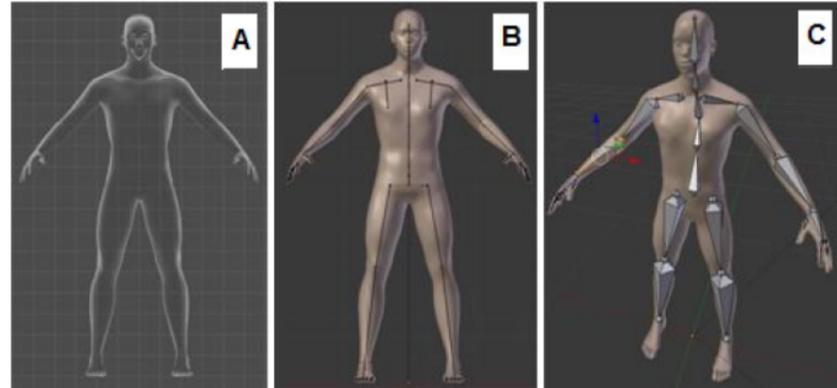


Figura 2 Desenvolvimento do HERIP.

Para a realização dos movimentos do modelo do Makehuman®, conjugado aos segmentos ósseos construído no Blender®, foi necessário acoplar os mesmos ao *rigging*<sup>5</sup> do Blender®, conforme ilustrado na Figura 2C. 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 modelo digital.

Porém, foi observado que os movimentos do MHD não eram condizentes com os movimentos reais do corpo humano. As articulações deste MHD não continham os limites de amplitude de movimento. Um exemplo é apresentado na Figura 3 em que o MHD realiza o movimento do pescoço com uma amplitude maior que o considerado possível pela literatura específica.

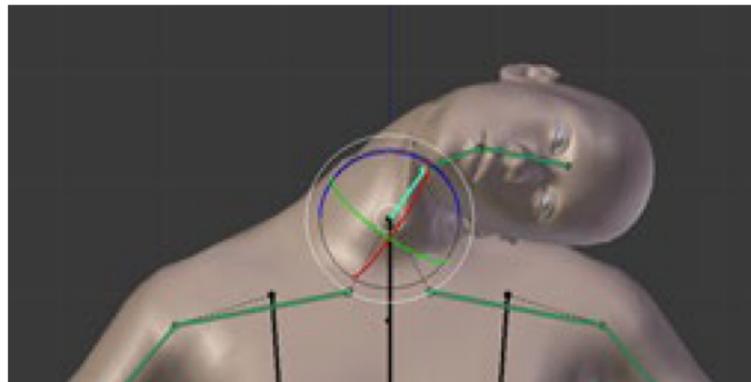


Figura 3 Modelo em desenvolvimento sem as inserções dos valores das restrições e limites de movimento (movimento da articulação do pescoço).

<sup>5</sup> O *rigging* é uma técnica utilizada para animar modelos 3D que contêm um esqueleto. O modelo é movido através de pontos de controle localizados nas suas articulações principais, hierarquizadas de acordo com a determinação do usuário do software.

Desta forma, foram editados os segmentos para que estes se movimentassem juntamente com a superfície do modelo e foram inseridas as restrições de movimento nas articulações do HERIP, os valores das ADM e os tipos de movimentos possíveis nas articulações do corpo, conforme os valores de referência descritos por Kapandji (2011), Bankoff (2007), Marques (2003) e Tilley e Dreyfuss (2005), descritos no Quadro 1.

A Figura 4 apresenta o movimento do pescoço com os valores e dos limites das ADM inseridos no modelo.

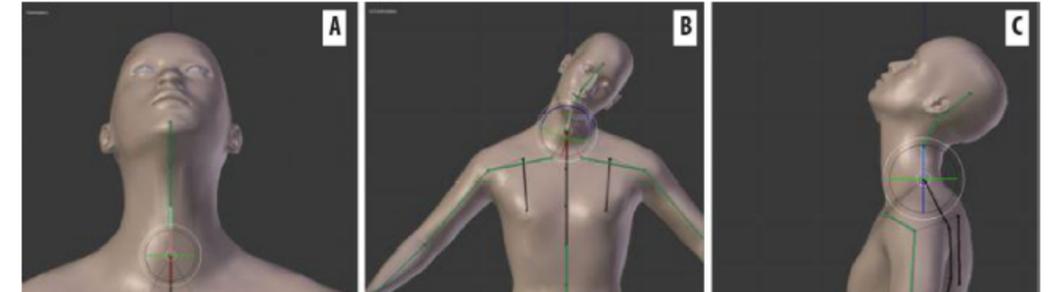


Figura 4 Modelo em desenvolvimento com as inserções dos valores das restrições e limites de movimento (movimento da cabeça).

A Figura 5 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.

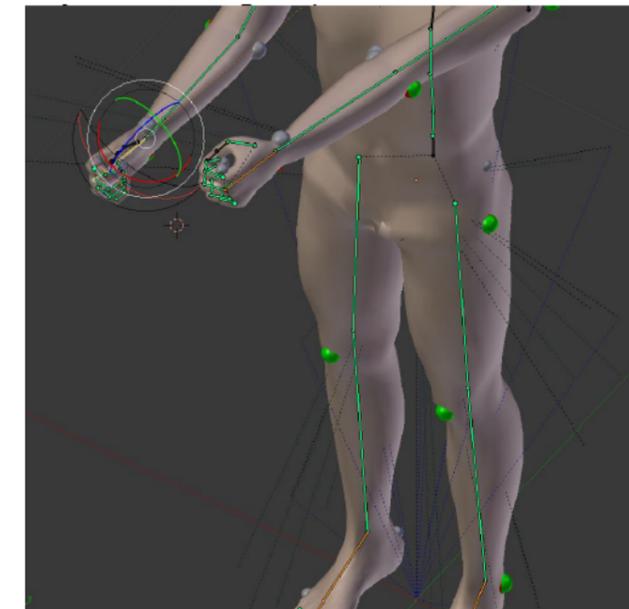


Figura 5 Movimento das articulações carpometacarpal do polegar, das metacarpofalângicas e interfalângicas dos dedos e do polegar.

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 verde) ao longo de cada segmento. A Figura 6 apresenta um exemplo do sistema de coordenadas com o eixo 'y' adjacente ao Úmero. Na Figura 6 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. Sendo possível observar os arcos de alcance formados em relação aos movimentos realizados na articulação do ombro.

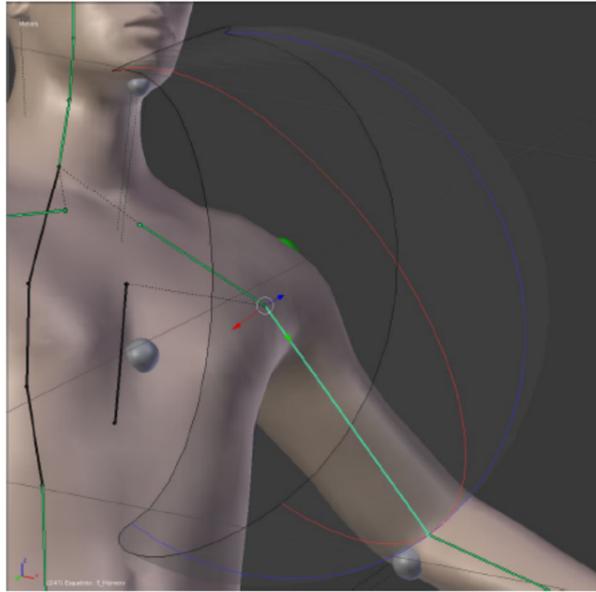


Figura 6 Sistema de coordenada com o "eixo Y" adjacente ao X.

O requisito da parametrização dos membros do corpo do MHD HERIP foi contemplado e, assim, todos os segmentos dos ossos construídos possibilitam a modificação do comprimento sem que haja deformação ou desalinhamento nos outros segmentos dos ossos do corpo. Além disso, foi possível configurar o HERIP para que o mesmo possa representar 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 HERIP em análises ergonômicas de produtos de tecnologia assistiva. A Figura 7 apresenta um exemplo de parametrização do segmento antebraço direito. Foi configurada uma medida de 15 cm sobre o eixo y no antebraço direito (Fig. 7A), 22 cm no antebraço direito (Fig. 7B) e 35 cm no antebraço direito (Figura 7C).



Figura 7 Parametrização do antebraço direito.

Na Figura 8, é apresentado um exemplo do MHD representando uma pessoa com a perna esquerda amputada e um coto (comprimento do fêmur) de 25 cm.

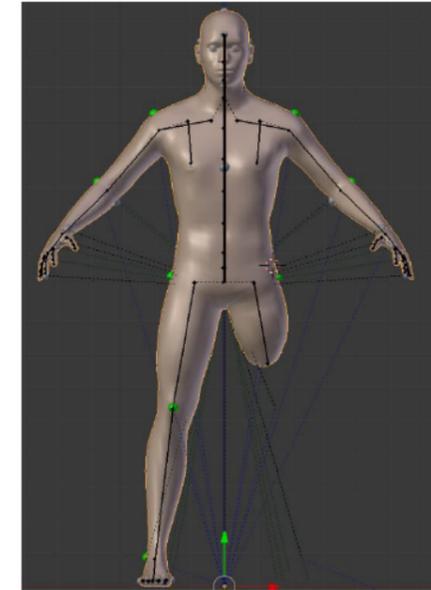


Figura 8 HERIP representando um modelo com coto de 25cm.

Após a resolução de questões de desenvolvimento do HERIP relacionadas à articulação do modelo, parametrização das variáveis antropométricas, inserção das ADM e dos tipos de movimentos possíveis conforme os movimentos reais do corpo humano foram necessários inserir os landmarks (marcadores) para auxiliar no processo de medição das variáveis antropométricas e na sinalização do conforto e desconforto articular.

#### Inserção dos landmarks no HERIP e a sinalização de conforto nas articulações

Os landmarks foram modelados no Blender®, no formato de semiesferas e alocados sobre os pontos anatômicos no HERIP (Fig. 9). As semiesferas são sinalizadas por meio de cores, em que a cor verde significa o conforto, conforme os ângulos da ADM, e a cor vermelha significa desconforto. Na medida em que é realizado o movimento no HERIP o mesmo pode identificar se está em uma postura confortável ou desconfortável.

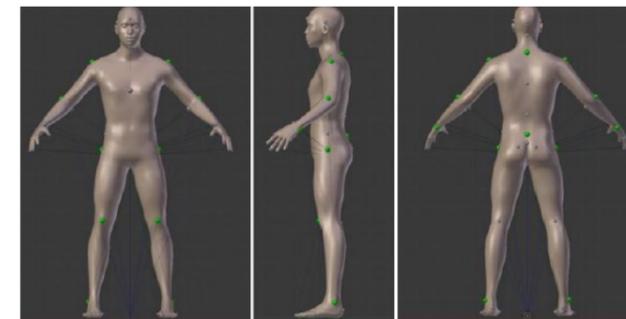


Figura 9 Landmarks inseridos no HERIP.

Desta forma, na posição anatômica (ângulo igual à zero) os landmarks se apresentam na cor verde e rotacionam-se de acordo com o movimento do membro até ficarem totalmente vermelhos quando estiver na posição de desconforto ou nos limites dos ângulos de ADM. Alguns landmarks inseridos no HERIP, representados pela cor cinza, têm a função de apenas indicar os locais para medição da variável antropométrica.

A Figura 10 apresenta um exemplo da sinalização de conforto articular no punho. A Figura 10A apresenta o ângulo do punho em 0° (representando o máximo de conforto pela cor verde); a Figura 10B apresenta o movimento de hiperextensão da articulação do punho até o limite da ADM, causando desconforto articular, sinalizado pela cor vermelha; e na Figura 10C o movimento de flexão da articulação do punho até o limite, também sinalizado pela cor vermelha, indicando desconforto na articulação.



Figura 10 Sinalização do conforto e desconforto na articulação do punho.

A Figura 11 apresenta um exemplo da sinalização de conforto articular na articulação do quadril. A Figura 11A apresenta o ângulo da articulação do quadril em 0° representando o máximo de conforto (cor verde), na posição em pé. A Figura 11B apresenta o movimento de flexão da articulação do quadril, em que o landmark vai modificando a sua cor, até chegar ao limite do movimento apresentado na Figura 11C, em que o landmark passa a apresentar a cor vermelha, indicando desconforto na articulação.

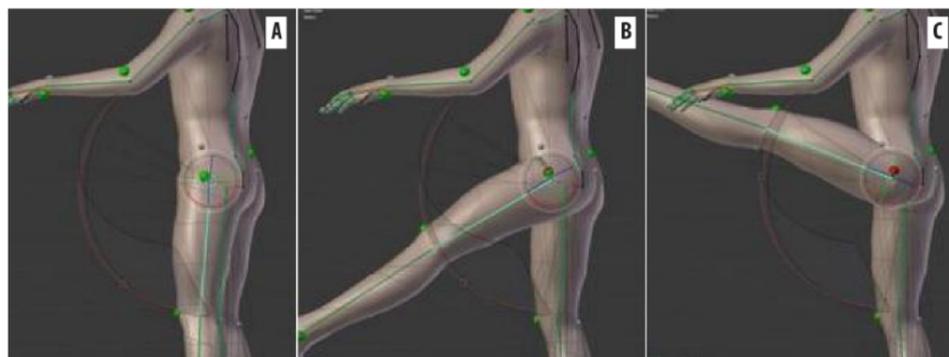


Figura 11 Sinalização do conforto na articulação do quadril.

Durante o processo de desenvolvimento, observou-se 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 (Figura 12). Assim, foi modelado um MHD Paramétrico para o sexo feminino

o qual fará parte do banco de dados para uso em análises ergonômicas para simular os usuários do produto do sexo feminino. O processo de construção do modelo foi o mesmo realizado para o MHD HERIP masculino.

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 (Figura 13).

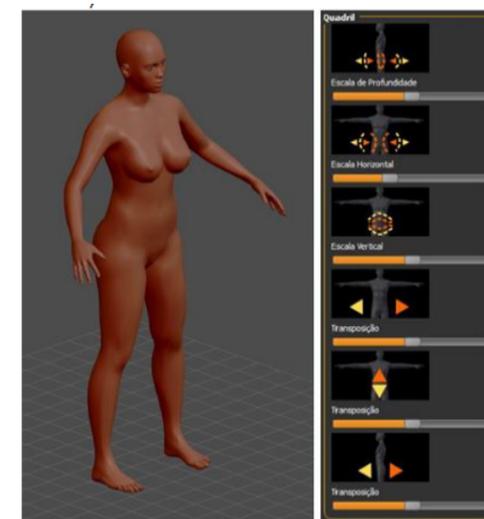


Figura 12 Modelo feminino no Makehuman e as opções de parametrização no próprio software para exportação do modelo na configuração desejada.

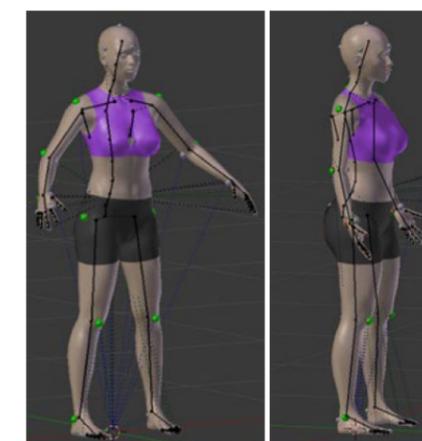


Figura 13 HERIP feminino.

Para facilitar a parametrização do HERIP foi desenvolvida uma tabela em que, por meio de um algoritmo, foi possível converter medidas em centímetros para a escala necessária para ser inserida no software Blender®.

A tabela contém 21 percentis descritos pelas variáveis antropométricas correspondentes conforme Panero e Zelnick (2002), o valor em centímetros e a escala (Tabela 1). No momento em que é inserido o valor da medida na variável antropométrica o programa gera a escala automaticamente para aplicação deste valor no HERIP.

As imagens da localização da medição no HERIP e da variável antropométrica correspondente seguem na Figura 14.

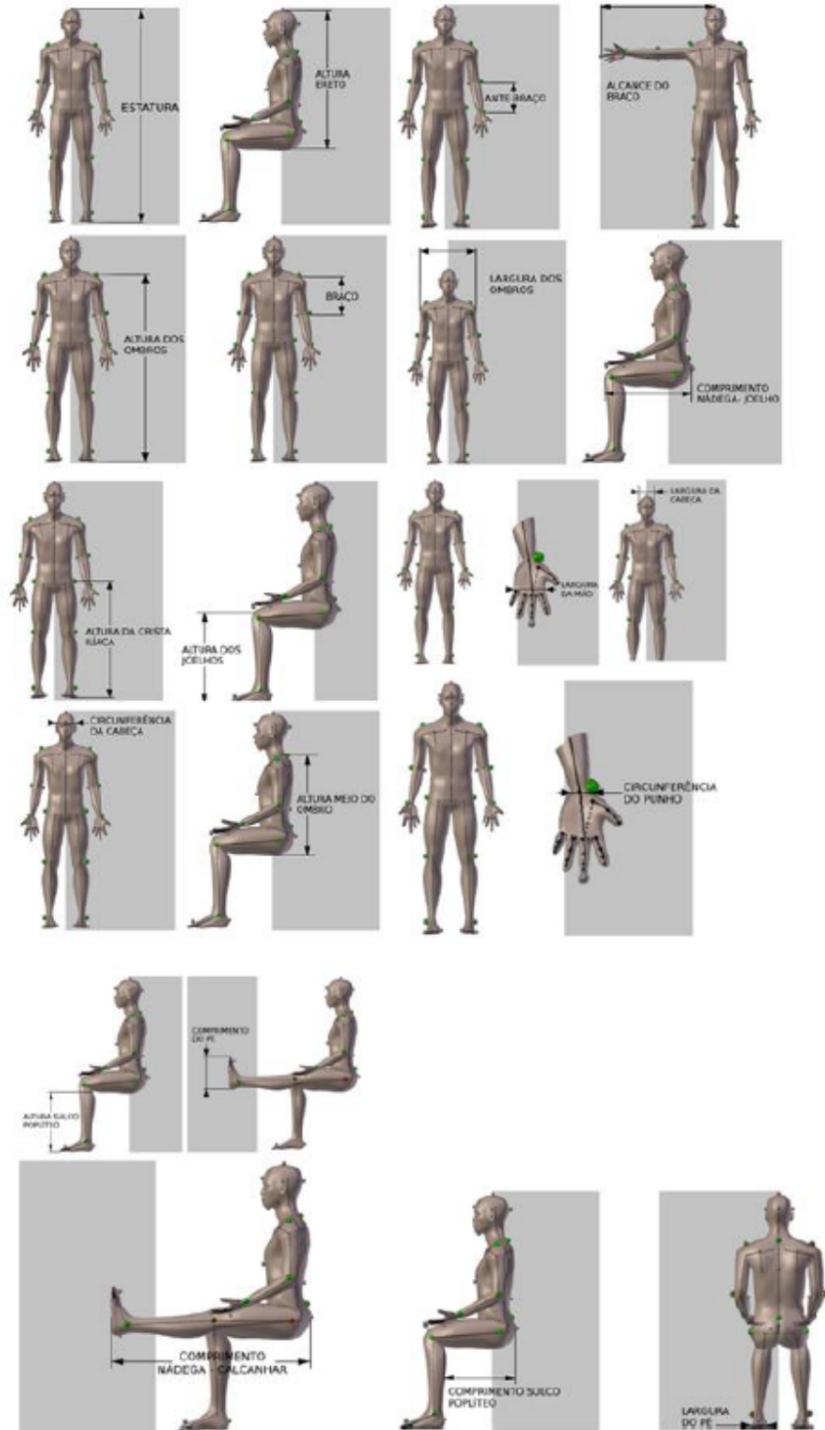


Figura 14 Imagens dos percentis e das variáveis antropométricas correspondentes.

Tabela 1 Tabela contendo a conversão dos valores das variáveis antropométricas.

Variável Antropométrica	Valor em centímetros	Escala
Estatura	156	0,996
Altura do indivíduo sentado, ereto	117	1,570
Medida do ombro até o chão	130	0,976
Ombro - Cotovelo	30	1,060
Cotovelo - Punho	20	0,800
Alcance do braço até a extremidade do dedo médio	82	1,076
Largura ombros	40	1,050
Comprimento nádega - joelho, sentado	51	0,932
Medida da crista ilíaca até o chão	84	1,542
Altura do Joelho	39	0,790
Largura Cabeça	12	0,881
Circunferência cabeça	52	1,053
Largura mão	10	1,401
Circunferência punho	18	1,761
Largura pé	9	0,431
Altura do meio do ombro, sentado	90	1,806
Altura do sulco poplíteo, sentado	40	1,014
Comprimento nádega - sulco poplíteo, sentado	45	1,051
Comprimento nádega - calcanhar, sentado	85	1,299

Para verificar a funcionalidade do HERIP, foram apresentadas algumas análises ergonômicas virtuais em um simulador veicular de autoescola modelado em 3D. Para a construção do veículo de autoescola, foram realizadas medições por um processo manual utilizando como instrumento de medição uma trena. Para auxiliar na modelagem 3D 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 analisado encontra-se em uma unidade de autoescola da cidade de Porto Alegre - RS. As imagens fotográficas são apresentadas na Figura 15, ao lado, a imagem do simulador veicular modelado em 3D no software SketchUp Make®.



Figura 15 Fotos do simulador veicular de autoescola e modelo 3D.

## Resultados

Neste item são apresentados os resultados das análises ergonômicas realizadas com o HERIP no simulador veicular de autoescola. São descritas questões sobre a funcionalidade e como são obtidas as medidas antropométricas dinâmicas e os parâmetros de projeto. Para isso, foi selecionado um participante do sexo feminino, no qual representa o percentil estatura 5%, na faixa entre 18 a 24 anos de idade e o masculino, no qual representa o percentil estatura 90%, na mesma faixa etária.

Foram demonstradas algumas simulações e as respectivas posturas do MHD HERIP relacionadas às tarefas de dirigir o veículo de autoescola. Foram verificados os alcances dos pedais e do volante, os ângulos de visão, das articulações do joelho, cervical, quadril, cotovelo e punho. 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. São análises quantitativas e qualitativas, pois permitem a descrição e a interpretação do uso de um determinado produto (BRENDLER, 2017).

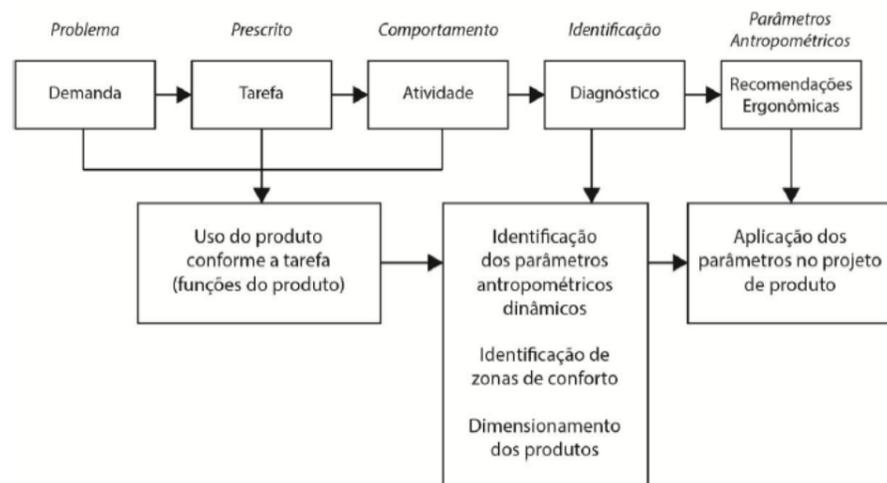


Figura 16 Desenho das etapas da análise ergonômica do produto.

Conforme é apresentado na Figura 16, a primeira etapa da análise ergonômica é definida como o problema a ser identificado, denominada de Demanda. Na segunda etapa, denominada de 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 são os ajustes necessários no dimensionamento do produto conforme os parâmetros antropométricos dos usuários.

### Demonstração de análise ergonômica do simulador veicular de autoescola utilizando o HERIP feminino

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 acomodado a uma distância de 54 cm dos pedais (Fig. 17), ajuste mínimo permitido do assento em relação à distância dos pedais. Foi identificado desconforto por meio da cor em vermelha na articulação do joelho e no tornozelo quando o pé realiza o movimento de pressionar o pedal do acelerador e no campo de visão, quando o HERIP realiza a tarefa de olhar para e espelho retrovisor traseiro.



Figura 17 Análise ergonômica virtual do simulador veicular (HERIP feminino).

Na Figura 18, são apresentados os valores dos ângulos nas articulações nesta posição e, assim, é possível comparar os valores dos ângulos mensurados aos ângulos de conforto estabelecidos como referência pela literatura (Quadro 2).

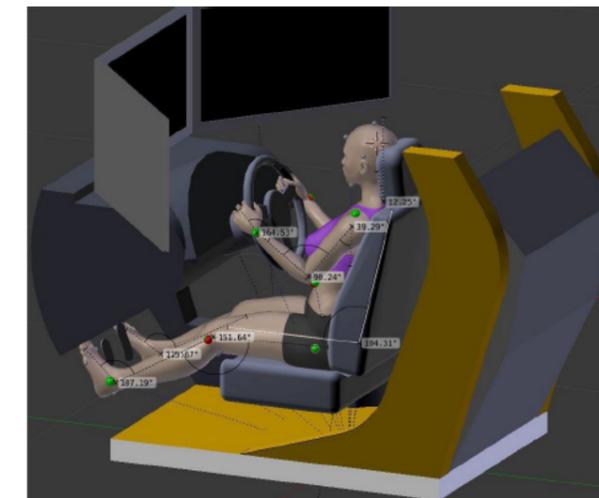


Figura 18 Valores dos ângulos nas articulações do HERIP feminino, posição sentado.

Quadro 2 Quadro de comparação dos ângulos nas articulações do HERIP feminino.

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

Por meio do quadro 2, é possível verificar que as articulações do tornozelo e do joelho estão fora da amplitude de conforto angular. O que caracteriza que esta postura não está confortável, sendo necessários ajustes no produto.

Para resolver estas questões, o assento do banco foi ajustado para uma distância em que as articulações do joelho e do tornozelo permanecessem 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 HERIP permaneceu em uma postura de conforto articular em todas as articulações analisadas (Fig. 19), observadas pelos landmarks, agora todos na cor verde. Portanto, a partir dessas análises ergonômicas realizadas, são obtidas as recomendações ergonômicas e os parâmetros de projeto.

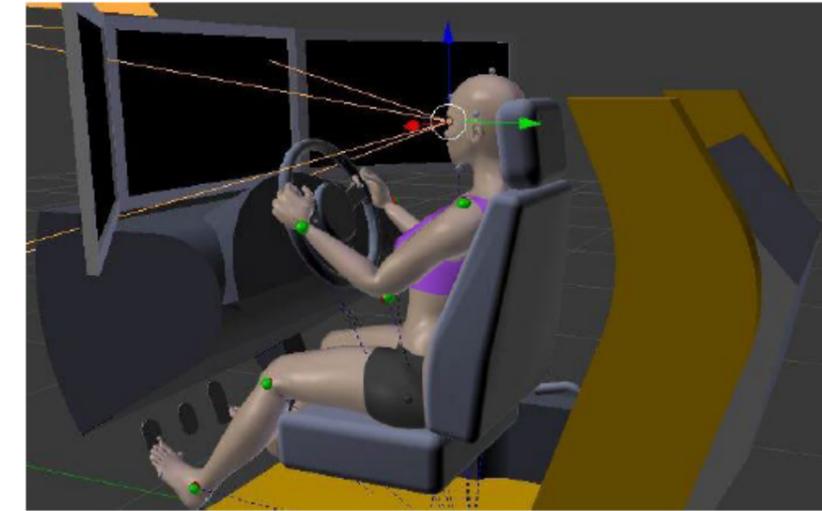


Figura 19 Alterações realizadas conforme os valores de referência.

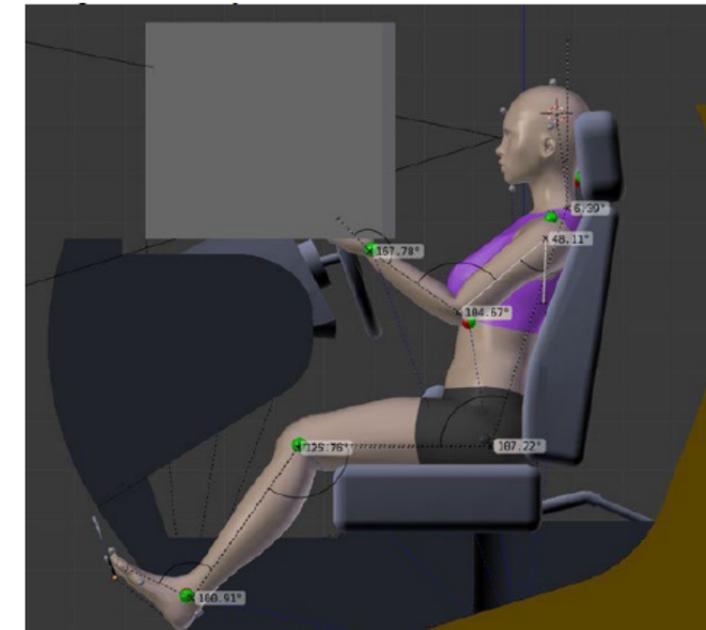


Figura 20 Valores dos ângulos nas articulações referentes ao produto ajustado.

No Quadro 3, são descritas as recomendações ergonômicas que fazem a relação das variáveis do produto analisadas e dos parâmetros para aplicação no projeto. Portanto, ao posicionar o HERIP no simulador veicular foram efetuados os ajustes necessários para que o HERIP realizasse a tarefa em uma postura confortável (os ajustes da distância entre o banco e os pedais).

Quadro 3 Recomendações ergonômicas que contemplam os requisitos de conforto e segurança para o simulador de autoescola referentes ao usuário feminino de percentil 5% de estatura.

Variações 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 10cm
	Ajuste para inclinação do banco	Não houve necessidade
	Ajuste para a distância do banco aos pedais	Ajuste em 7cm além do ajuste mínimo existente no produto
	Ajuste para a distância do volante	Ajuste em 5cm
	Ajuste para a inclinação do volante	Não houve necessidade
Lombar cervical	Ajuste da altura do encosto de cabeça do banco	Não houve ajuste

Foi observado que o HERIP alcançava os pedais do freio, embreagem e acelerador com dificuldade, o que pôde ser percebido pelas articulações do joelho que estavam fora da zona de conforto e na articulação do tornozelo, em que 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.

#### Demonstração de análise ergonômica do simulador veicular de autoescola utilizando o HERIP 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 ajustado para a máxima distância em relação aos pedais (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. 21)

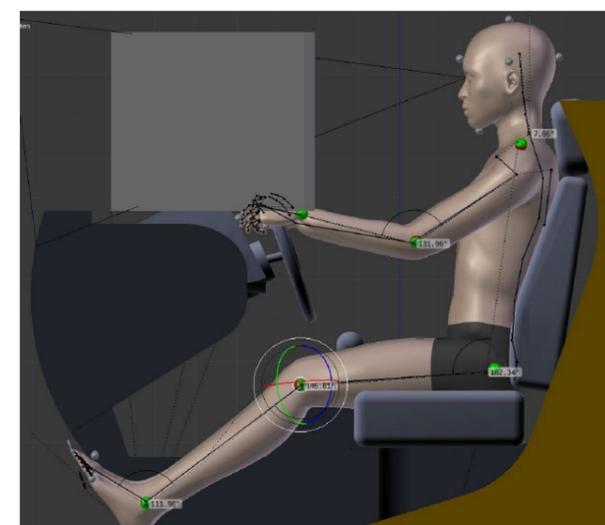


Figura 21 Valores antropométricos dinâmicos da tarefa realizada pelo MHD masculino (Valores dos ângulos nas articulações).

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 mais alto para que toda a parte das costas permanecesse apoiada e, principalmente, elevando o encosto de cabeça do banco. Nesta análise, foi observado que era necessário um pequeno ajuste no dimensionamento do banco até os pedais, pois na articulação do joelho o valor do ângulo estava em 146,81° (Fig. 21). Ao diminuir 20° aproximadamente, o ângulo da articulação do joelho passa a estar dentro da zona de conforto articular, que varia entre 110° e 130°. (Fig. 22). Portanto, foram realizados ajustes no dimensionamento do banco, aproximando o mesmo dos pedais em 5 cm.

O mesmo pode ser notado em relação no valor do ângulo da articulação do cotovelo, registrada em 131,96° (Fig. 21). A referência é de 90°- 110°. Para solucionar, foi realizado um ajuste no 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 (Fig. 22).

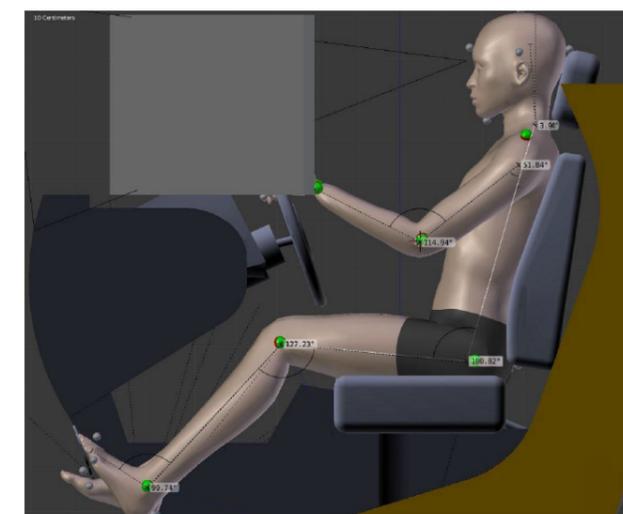


Figura 22 Valores dos ângulos nas articulações referentes ao produto ajustado, HERIP masculino.

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 em 4 cm e do encosto para a cabeça em 6 cm. Assim, as recomendações ergonômicas foram realizadas a partir do diagnóstico percebido pela análise da tarefa.

Entretanto, o simulador veicular de autoescola deve ser utilizado por usuários que representem desde os 5% de estatura feminina aos 95% de estatura masculina. Assim, as recomendações ergonômicas deverão ser determinadas para que essas atendam às posturas confortáveis para esta gama de usuários. 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 para todos estes usuários. Os resultados finais estão descritos no Quadro 4.

Quadro 4 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

### Análise ergonômica em ambiente real

Foi realizada uma análise ergonômica do simulador veicular de autoescola, em ambiente real, com os mesmos participantes da pesquisa (para que se tenham as mesmas medidas antropométricas estáticas). Os mesmos realizaram a mesma tarefa simulada pelo HERIP em ambiente virtual. Estas análises foram realizadas para fins de comparação das posturas do usuário durante a realização do uso do produto e, assim, a verificação das funcionalidades do HERIP.



Figura 23 Análise Ergonômica usuário feminino percentil 5%, ambiente real.

Para a análise ergonômica em ambiente físico foram utilizadas as técnicas da observação direta e indireta (fotografia). A seguir, na Figura 23 são apresentadas as imagens da tarefa realizada pelo participante feminino e na Figura 24 pelo participante masculino.

Conforme observado nas imagens fotográficas e confirmado pela análise ergonômica em ambiente virtual, os pedais realmente estavam muito distantes em relação ao banco para os usuários de percentil estatura 5% feminino. Na análise ergonômica física, a participante ajustou o banco o mais próximo dos pedais e mesmo assim foi percebido o esforço exercido para que a mesma conseguisse realizar a troca da marcha ao pressionar o pedal da embreagem. A participante comentou que o volante poderia estar um pouco mais distante de seu corpo porque sentia um pouco de desconforto nos braços.



Figura 24 Análise Ergonômica usuário feminino percentil 5%, ambiente real.

Para a análise ergonômica física com o participante masculino, os resultados também foram equivalentes à análise ergonômica realizada com o uso do HERIP em

ambiente virtual, o que pode ser observada pela postura do usuário ao efetuar a tarefa. Não havendo muitos problemas de alcance em relação ao volante e aos pedais. Nota-se que na análise ergonômica física não se tem a precisão dos dados antropométricos até porque não é possível obter os valores da antropometria dinâmica. É possível apenas uma observação da postura e não valores antropométricos necessários para o projeto de produto.

### Discussão

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 medidas antropométricas 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 e biodinâmica (IIDA, 2005; BLANCHONETTE, 2010). Boa parte dos MHD disponíveis no mercado apresentam problemas semelhantes: não permitem a parametrização das medidas antropométricas das variáveis do corpo e dos percentis, possuem baixa fidelidade aos movimentos do corpo humano e não possuem limitações, amplitudes e os possíveis movimentos realizados nas articulações do corpo humano (OLIVEIRA, 2013; BLANCHONETTE, 2010).

Devido a estas necessidades, foi desenvolvido o HERIP na versão masculino e feminino contemplando os seguintes requisitos: a parametrização 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. 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 modelos apenas sobre os percentis mínimo, médio e máximo de altura e recomendam 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.

Foi possível a locação de marcadores (landmarks) em pontos anatômicos específicos em que indicam a sinalização de zonas de conforto e desconforto nas articulações do HERIP, através das cores (verde e vermelho) originadas pelo movimento das partes do corpo do modelo humano. O que facilita uma análise ergonômica do produto, primeiramente, visual para posterior obtenção dos parâmetros de projeto, conforme demonstrado no exemplo da análise do simulador de autoescola em que o HERIP foi utilizado representando um usuário com percentil 5% de estatura. Sendo possível diagnosticar o problema de projeto em relação ao dimensionamento do produto e o usuário bem como obter as medidas antropométricas dinâmicas e de projeto para os devidos ajustes no desenvolvimento do projeto de produto.

### Considerações finais

O presente artigo apresenta o desenvolvimento de um MHD no qual atinge todos os requisitos propostos e estabelecidos conforme a revisão sistemática de literatura realizada, o que o torna um MHD totalmente inovador e diferente dos existentes no mercado. Os assuntos abordados abrangem o desenvolvimento de projetos de produtos, análise ergonômica, biomecânica, cinesiologia e anatomia do corpo humano.

As medidas antropométricas dinâmicas assim como os parâmetros ergonômicos de projeto 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. 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, este trabalho contribui com designers e engenheiros ao desenvolver um MHD para ser utilizado em análises ergonômicas 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. O trabalho também contribui com a melhoria da qualidade de vida porque possibilita o desenvolvimento de produtos com maior conforto para o usuário durante o seu uso, melhor desempenho de sua função e maior segurança. O MHD HERIP possui registro de patente pela Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico (SEDETEC), núcleo de Inovação Tecnológica (NIT) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) bem como o registro do desenvolvimento do Software.

### REFERÊNCIAS

1. BANKOFF, A. Morfologia e Cinesiologia aplicada ao movimento Humano. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.
2. 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.
3. BRENDLER, C. Modelo Humano Digital Paramétrico para análise ergonômica virtual no projeto de produto. 2017, p. 335. Tese (Tese de Doutorado em Design) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.
4. CAPUTO, F.; GRECO, A.; D'AMATO, E.; NOTARO, I.; SPADA, S..On the use of Virtual Reality for a human-centered workplace design. *Procedia Structural Integrity*. v. 8, p.297-308, 2018.

5. CHEN, L; WEI, H; FERRYMAN, J. A survey of human motion analysis using depth imagery. *Pattern Recognition Letters*, v. 34, p. 1995–2006, 2013.
6. 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.
7. 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.
8. GUIMARÃES, L. B. M. Ergonomia de Produto - antropometria e fisiologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2000.
9. 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.
10. 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.
11. IIDA, I. Ergonomia: projeto e produção. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.
12. 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.
13. 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.
14. MARQUES, A. P. Manual de goniometria. 2ª ed. Barueri, SP: Manole, 2003.
15. 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).
16. PANERO, J.; ZELNIK, M. Dimensionamento humano para espaços interiores: Um livro de consulta e referência para projetos. México: G. Gill, 2002.
17. 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.
18. SCHOENARDIE, R.; TEIXEIRA, C.; MERINO, E. Design e Antropometria: diferenciação estratégica. *Projética*, v. 2, n. 2, p. 31-42, 2011.

19. Seitz, T; Balzulat, J; Bubb, H. Anthropometry and measurement of posture and motion. *International Journal of Industrial Ergonomics*, v. 25, p. 447-453, 2000.
20. 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.
21. TILLEY, A. R.; DREYFUSS, H. Associates. As medidas do homem e da mulher - fatores humanos em design. Editora Bookman, 2005.
22. THOMPSON, C, W; FLOYD, R. T. Manual de cinesiologia estrutural. São Paulo: Manole, 2002.
23. VIDAL, Mário. Ergonomia na Empresa: Útil, Prática e Aplicada. Rio de Janeiro: ECV,2002.
24. 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.