

PROCESSO DE ANÁLISE ERGONÔMICA ANTROPOMÉTRICA VIRTUAL UTILIZANDO O MODELO HUMANO DIGITAL HERIP EM ESTAÇÃO DE TRABALHO

PROCESS OF ERGONOMIC ANALYSIS VIRTUAL ANTHROPOMETRIC USING THE HUMAN DIGITAL MODEL HERIP IN WORKSTATION

Clariana Fischer Bendler¹

Fábio Gonçalves Teixeira²

Sérgio Leandro dos Santos³

Gabriela Zubaran de Azevedo Pizzato⁴

Resumo

Este artigo trata da realização da análise ergonômica antropométrica em ambiente virtual na qual se delimita em avaliar aspectos da interação física com produto, incluindo a Biomecânica e a Antropometria. O objetivo deste trabalho é apresentar uma alternativa para o processo de análise ergonômica em ambiente virtual por meio de uma aplicação do uso do MHD HERIP a fim de demonstrar as funcionalidades e qualidades desta nova ferramenta que foi desenvolvida para auxiliar no desenvolvimento do projeto de produtos. São realizadas comparações entre a análise ergonômica virtual e o método tradicional e descritas as principais vantagens e desvantagens do uso do HERIP. As principais vantagens da ferramenta HERIP nas análises ergonômicas virtuais são: parametrização de qualquer medida antropométrica do usuário, identificação da postura confortável ao realizar a tarefa e obtenção dos parâmetros antropométricos dinâmicos. A principal limitação do HERIP é a necessidade de utilizá-lo em conjunto com o software Blender.

Palavras-chave: análise ergonômica; modelo humano digital; projeto de produto.

Abstract

This article deals with the realization of anthropometric ergonomic analysis in a virtual environment in which it delimits itself in evaluating aspects of physical interaction with the product, including Biomechanics and Anthropometry. The objective of this paper is to present the process of ergonomic analysis in virtual environment through an application using DHM HERIP in order to demonstrate the functionalities and qualities of this new tool that was developed to assist in the development of product design. Comparisons are made between virtual ergonomic analysis and the traditional method and the main advantages and disadvantages of using HERIP are described. The main advantages of the HERIP tool in virtual

¹ Professora Doutora, UFRGS, Departamento de Design e Expressão Gráfica, Porto Alegre, RS, Brasil. clariana.brendler@ufrgs.br; ORCID: 0000-0003-4472-8338.

² Professor Doutor, UFRGS, Departamento de Design e Expressão Gráfica, Porto Alegre, RS, Brasil. fabiogt@ufrgs.br; ORCID: 0000-0002-6067-503X.

³ Professor Doutor, UFRGS, Departamento de Design e Expressão Gráfica, Porto Alegre, RS, Brasil. sergio.santos@ufrgs.br; ORCID: 0000-0002-7991-1047.

⁴ Professora Doutora, UFRGS, Departamento de Design e Expressão Gráfica, Porto Alegre, RS, Brasil. gabrielapizzato@gmail.com.

ergonomic analyzes are: parameterization of any anthropometric measurement of the user, identification of comfortable posture when performing the task and obtaining dynamic anthropometric parameters. The main limitation of HERIP is the need to use it in conjunction with the Blender software.

Keywords: ergonomic analysis; digital human model; HERIP; product design.

1. Introdução

O Design Virtual integra tecnologia de modelagem e simulação 3D com metodologia de projeto e permite a criação de soluções de design e a possibilidade de testes destas soluções, através de um processo que pode ser realimentado até chegar a uma solução ótima, de acordo com as variáveis do projeto. O projeto pode ser detalhado e documentado a partir do modelo geométrico digital e de parâmetros associados durante o processo. Desta forma, testes e validações podem ser realizados por meio de prototipagem virtual, antes mesmo da construção de protótipos físicos (Teixeira et al. 2008).

É neste contexto que podem ser realizadas as análises ergonômicas virtuais utilizando modelos humanos digitais (MHD). Assim, é possível realizar o levantamento de parâmetros antropométricos dinâmicos para a obtenção dos parâmetros de projeto para o desenvolvimento de produto (PDP). As medidas do corpo humano são obtidas por meio da antropometria 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 medidas 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).

Conforme Panero e Zelnick (2002); Tilley e Dreyfuss (2005), há uma carência de informações em literatura específica sobre os valores das variáveis antropométricas relacionadas aos parâmetros antropométricos dinâmicos. O mais comum é encontrar 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. A questão é que os parâmetros da antropometria dinâmica devem ser obtidos a partir da análise ergonômica antropométrica 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 (IIDA, 2005; PANERO; ZELNICK, 2002; TILLEY; DREYFUSS, 2005).

Na análise ergonômica antropométrica realizada em ambiente virtual é possível obter os parâmetros antropométricos dinâmicos por meio do uso de modelos humanos digitais (MHD) que representem os usuários ao desempenhar a tarefa do produto. Os MHD existentes no mercado para uso gratuito não possibilitam a parametrização das variáveis antropométricas para medidas específicas, apenas para os percentis 5%, 50% e 95% da variável estatura feminina ou masculina, o que acaba limitando a representação dos diferentes usuários dos produtos em suas características físicas e, conseqüentemente, aos parâmetros de projeto

corretos. Além da possibilidade de parametrização, é de extrema importância que os MHD sejam capazes de simular as posições características 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 parametrização nas variáveis do corpo, para que seja possível o levantamento dos parâmetros antropométricos dinâmicos para o processo de desenvolvimento de produto (PDP) (SISAY, 2015; SCHMIDT *et al.*, 2014).

Alguns autores apresentam o desenvolvimento de métodos para a realização das análises ergonômicas de produtos, como: Tilley e Dreyfuss (2005), Lida (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 realiza a tarefa. Durante o uso de um produto, o usuário pode sofrer algum esforço fatigante na musculatura, podendo sentir dor ou lesão, ou até mesmo resultar em um acidente, devido ao dimensionamento incorreto dos produtos. Portanto, os autores definem a análise ergonômica antropométrica 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).

Para resolver essas questões, foi desenvolvido por Brendler (2017) um MHD denominado de HERIP, em que possibilita a parametrização de todas as variáveis do corpo humano, realiza a simulação da análise ergonômica antropométrica conforme as posições reais do corpo humano e sinaliza, por meio de cores, se o HERIP está em uma postura ergonômica confortável ou não ao utilizar o produto. Haja vista a relevância do desenvolvimento do HERIP, foi apresentado no presente artigo o processo de análise ergonômica antropométrica em ambiente virtual por meio de uma aplicação do uso do MHD HERIP em uma estação de trabalho a fim de demonstrar as funcionalidades e qualidades desta nova ferramenta que foi desenvolvida para auxiliar no desenvolvimento do projeto de produtos. O MHD HERIP é um software gratuito, de código aberto e livre utilizado em conjunto com o software Blender®, também gratuito. Por meio deste processo de análise ergonômica antropométrica, é possível obter as medidas antropométricas estáticas, dinâmicas e os parâmetros para o projeto, fundamentais para o desenvolvimento de produtos que priorizem o conforto e a segurança para os usuários.

2. Metodologia Aplicada

Este trabalho apresentou uma análise ergonômica antropométrica do uso de uma estação de trabalho por um participante feminino (usuário) por meio do MHD HERIP em ambiente virtual e faz a mesma análise utilizando o método tradicional (observação direta e registro por imagens fotográficas) em ambiente físico. 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. O usuário realizou as tarefas pré-determinadas e, conforme a atividade (como a tarefa está sendo executada), foi possível verificar se o dimensionamento do produto estava adequado ao usuário, obtendo assim, as recomendações ergonômicas e os parâmetros de

projeto. Após, foi apresentada uma proposta de um novo design de estação de trabalho segundo os parâmetros de projeto obtidos no processo de análise ergonômica.

2.1. Análise Ergonômica Antropométrica Virtual em uma 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 medidos: a mesa de trabalho, o PC, a CPU, o teclado, o mouse e a cadeira de trabalho. Após, a estação de trabalho foi modelada em 3D utilizando softwares CAD e posteriormente importada no software Blender® onde a programação do HERIP foi desenvolvida. A modelagem em 3D da estação de trabalho é apresentada na (Figura 1).

Figura 1: Modelo 3D da estação de trabalho.



Fonte: Brendler (2017)

O processo de análise ergonômica virtual utilizado no presente artigo consiste em quatro etapas:

- **Etapla da Tarefa:** são prescritas as funções a serem realizadas na estação de trabalho e como elas devem ser realizadas pelo usuário; etapa em que as medidas antropométricas estáticas são inseridas no HERIP;
- **Etapla da Atividade:** é analisado o uso da estação de trabalho pelo HERIP conforme a prescrição da tarefa;
- **Etapla de Diagnóstico:** é realizada a coleta de dados da análise ergonômica;
- **Etapla de Recomendações ergonômicas:** os parâmetros antropométricos dinâmicos são obtidos e os parâmetros de projeto são inseridos no desenvolvimento de uma estação de Trabalho e, desta forma, os devidos ajustes e correções são realizados.

Na análise ergonômica antropométrica virtual da estação de trabalho, primeiramente,

foram definidas as medidas antropométricas estáticas do usuário. Foi escolhido um participante do sexo feminino, o qual representa o percentil 5% da variável antropométrica estatura da mulher, conforme as medidas estabelecidas na tabela antropométrica de Panero e Zelnik (2002). Estas medidas foram inseridas no HERIP.

Para a realização da análise ergonômica antropométrica da estação do trabalho, foram 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. Foi realizada a simulação virtual com o HERIP em que o mesmo exerce 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 foram:

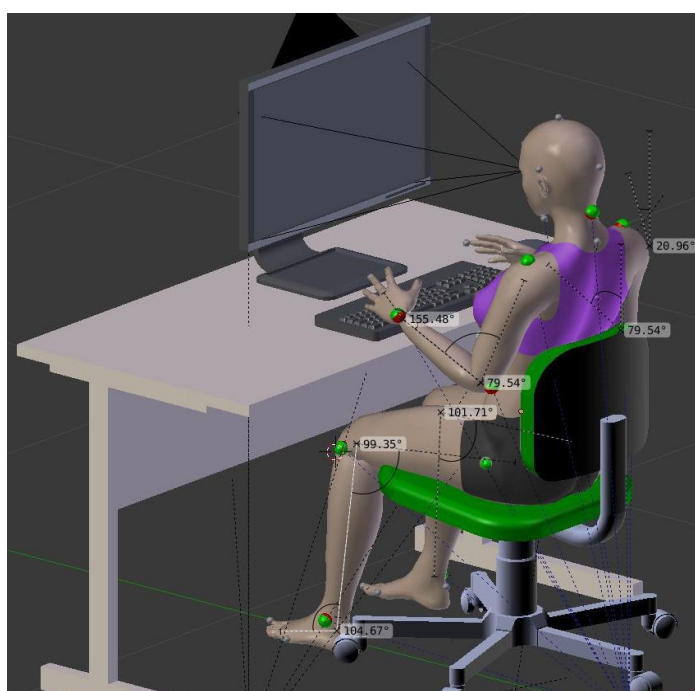
- Movimentos de digitar no teclado, manipular o *mouse* e ligar e desligar o CPU: Variáveis antropométricas das medidas lineares que vão do ponto anatômico da extremidade do dedo médio da mão (Dáctilo) ao ponto anatômico do punho (Estiloidal), ponto anatômico do punho ao do cotovelo (Radial), ponto anatômico 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. Foram medidos os alcances máximos e mínimos do usuário ao escrever no teclado, ao manipular o *mouse* e ao ligar o CPU; e 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). Foi 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 sentada, 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).

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, é apresentada a simulação do HERIP utilizando a estação de trabalho o qual aparece o mesmo escrevendo no teclado. O HERIP 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* (marcadores alocados sobre as articulações móveis). Portanto, os membros inferiores como as articulações do tornozelo, do joelho e do

quadril ficaram 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 (HERIP) apresentaram uma posição de desconforto, o que pode ser observado pelas cores em vermelho nos *landmarks* nas articulações do cotovelo e do punho.

Ainda na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, pode ser 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 HERIP e, por meio da identificação da cor verde do *landmark* na cervical C1, foi indicado que a postura do HERIP permaneceu dentro da zona de conforto. 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) descritos no Quadro 01 no presente artigo. 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).

Figura 2: Parâmetros antropométricos dinâmicos.

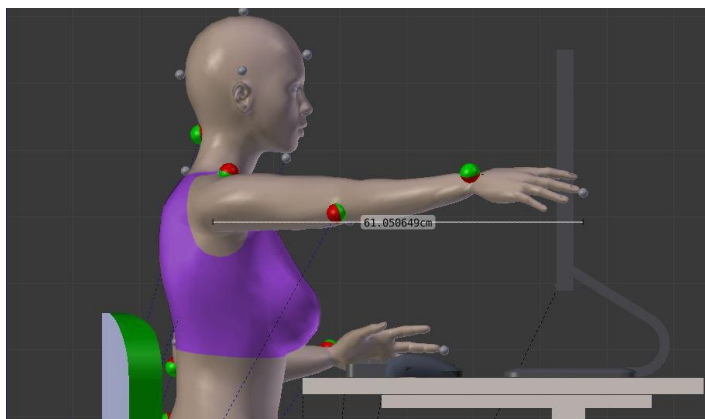


Fonte: Brendler (2017).

Nas Figuras 3 e 4, são apresentadas as imagens dos alcances do braço direito e do braço esquerdo. Foi notado que o HERIP teve dificuldades para realização dos alcances nas extremidades do tampo e as articulações mais prejudicadas foram no ombro, no cotovelo e na lombar, conforme a indicação em vermelho nos *landmarks*. 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. Desta forma, foi possível verificar o alcance dentro da zona de conforto (comprimento do braço – Figura 3) e o alcance máximo dentro da zona de conforto (comprimento do braço mais o deslocamento do movimento do braço e do tronco – Figura 4).

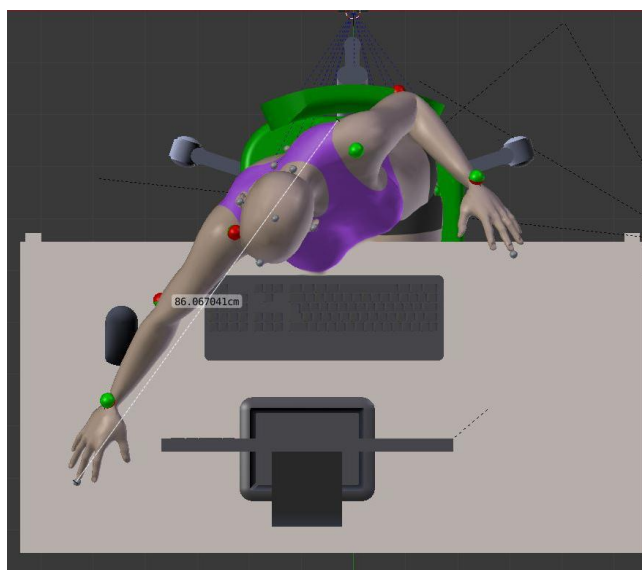
Figura 3: Medida do alcance do braço direito.



Fonte: Brendler (2017).

Na Figura 3, 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 4, 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 4: Medição do alcance do braço mais o deslocamento do corpo.



Fonte: Brendler (2017).

Foi observado que quando se estende o braço, as articulações do cotovelo e do ombro estão na cor vermelha, indicando possível desconforto. Isso ocorre 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 HERIP 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. No Quadro 01, são descritas as variáveis antropométricas, os valores medidos e os valores de referência obtidos na literatura. 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.

Quadro 1: Coleta dos parâmetros antropométricos dinâmicos.

	Variáveis antropométricas	Valores Mensurados (Tarefa realizada)	Valores de Referência - Tilley e Dreyfuss (2005)
Estação de trabalho (MHD referente ao participante feminino)	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	—

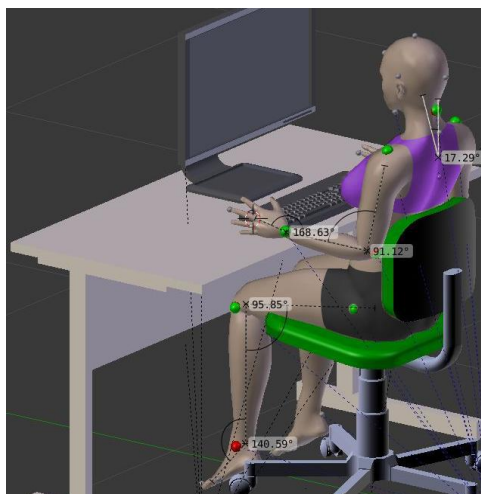
Fonte: Brendler (2017).

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°.

Nas análises anteriores, a cadeira foi ajustada para o conforto dos membros inferiores, com os pés apoiados sobre o chão. Entretanto, 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 (Figura 5). Entretanto, ao solucionar as questões de conforto e alcance das posturas referentes às apresentadas na Figura 2, os pés ficaram sem apoio (Figura 5), o que além de causar estrangulamento dos vasos capilares da região posterior da perna e, conseqüentemente, fadiga e dor na musculatura, gerou desconforto na articulação do tornozelo, podendo ser observado pela cor em vermelho no *landmark*.

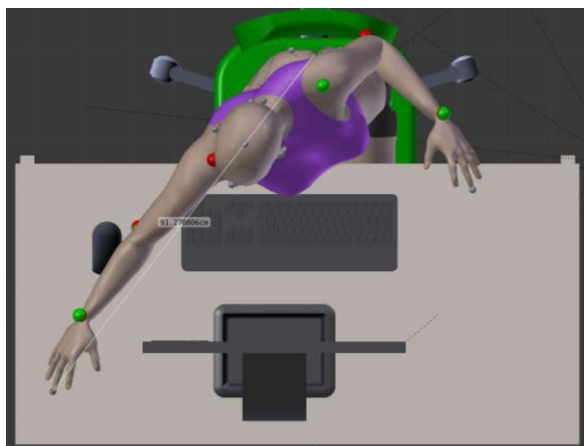
Figura 5: Parâmetros antropométricos dinâmicos em relação à posição de conforto para a região dos membros superiores.



Fonte: Brendler (2017).

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. 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 6, são apresentadas as medições dos alcances do braço para essa postura com a altura do assento da cadeira em 56 cm do chão.

Figura 6: Medições dos ângulos em relação à postura apresentada na Erro! Fonte de referência não encontrada.-D.



Fonte: Brendler (2017).

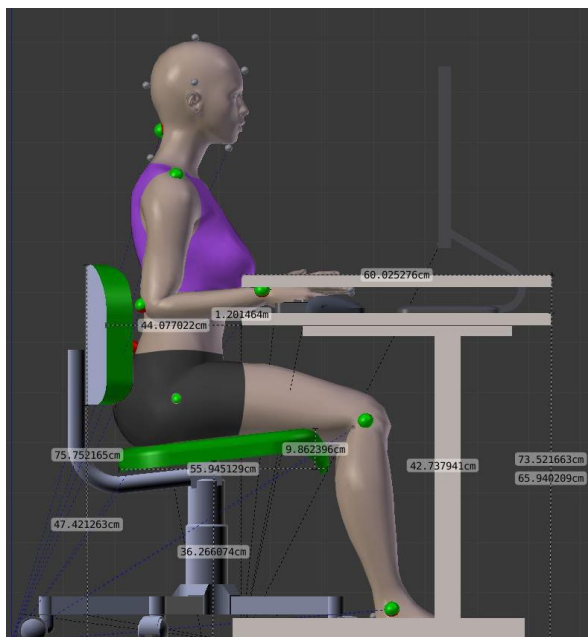
Quadro 2: Parâmetros antropométricos dinâmicos referentes à Erro! Fonte de referência não encontrada. e Erro! Fonte de referência não encontrada..

	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°	95o a 110°
	Articulação do joelho	95,85°	95o a 120°
	Articulação do quadril (ângulo entre o tronco e o fêmur)	109°	95o 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: Brendler (2017).

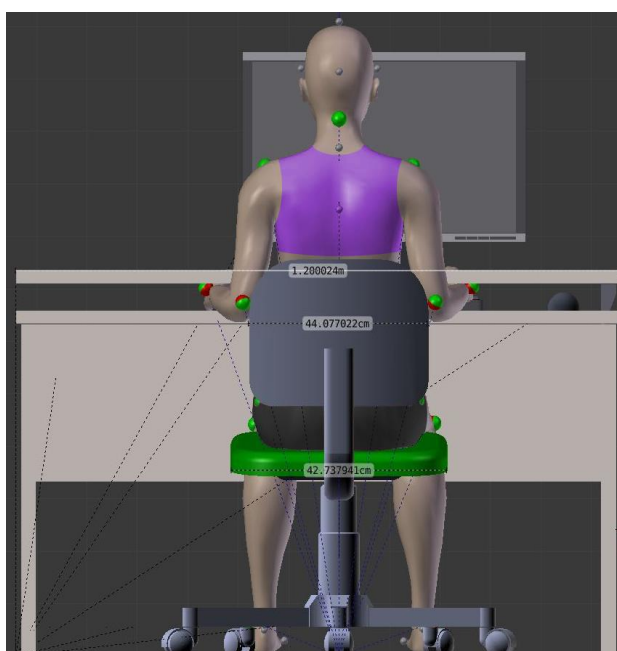
Segundo as informações obtidas e descritas no Quadro 01 e no Quadro 02, foram identificadas as questões de ajustes do dimensionamento do produto em relação às medidas do usuário. Estas questões foram resolvidas conforme apresentado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** (vista lateral) e na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** (vista posterior) e os parâmetros de projeto são descritos no Quadro 03.

Figura 7: Variáveis antropométricas e o valor do dimensionamento do produto em relação ao participante feminino (vista lateral).



Fonte: Brendler (2017).

Figura 8: Variáveis antropométricas e o valor do dimensionamento do produto em relação ao participante feminino (vista posterior).



Fonte: Brendler (2017).

Quadro 3: 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: Brendler (2017).

No Quadro 03, 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 tem como finalidade 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: distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho - DORT e as lesões por esforços repetitivos - 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.

Foi observado que o modelo humano digital HERIP 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.

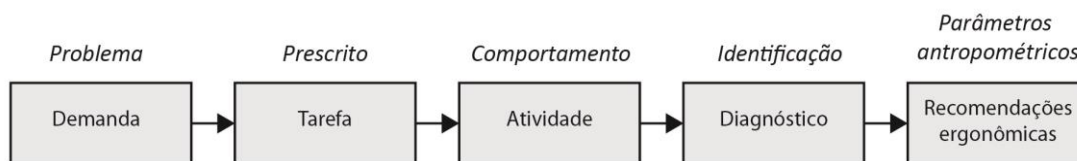
Portanto, foram verificados os ajustes da cadeira, da altura da mesa, os alcances das mãos e dos pés, o apoio da lombar no encosto da cadeira bem como os ângulos formados nas articulações do tornozelo, do joelho, da lombar, do cotovelo, do punho, do ombro e da cervical (C1). Segundo Tilley e Dreyfuss (2005), em uma estação de trabalho em que o usuário está na posição sentado, os ângulos de conforto devem permanecer 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 observar ao

desenvolver um assento, que o mesmo não comprima os vasos sanguíneos da perna do usuário devido a má postura em relação ao ajuste incorreto do mesmo (as articulações do joelho e da lombar não devem estar em uma angulação igual ou menor que 90°, o que faz com que além de comprimir os vasos sanguíneos da perna, podem acarretar em prejuízos na saúde física do usuário). Com o uso do MHD HERIP é possível avaliar todas estas variáveis no modelo virtual proposto, tanto valores dos parâmetros antropométricos estáticos quanto dinâmicos (não disponível normalmente na literatura), permitindo, assim, análise do modelo proposto, ajuste dos valores dos parâmetros antropométricos a partir do reposicionamento do HERIP e subsequente reprojetado do modelo sendo analisado. Estas etapas estão mais alinhadas ao ciclo de projeto de produto.

3. Comparação com a Análise da Tarefa em Ambiente Real

A análise ergonômica tradicional é dividida em cinco etapas (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**): análise da demanda; análise da tarefa; análise da atividade; diagnóstico e recomendações ergonômicas (IIDA, 2005).

Figura 9: Etapas da análise ergonômica tradicional



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 do usuário (Atividade) com o prescrito (Tarefa) durante o uso do produto. Após estas análises, na Etapa de Diagnóstico, as questões ergonômicas são identificadas e descritas na Etapa de Recomendações Ergonômicas (IIDA, 2005).

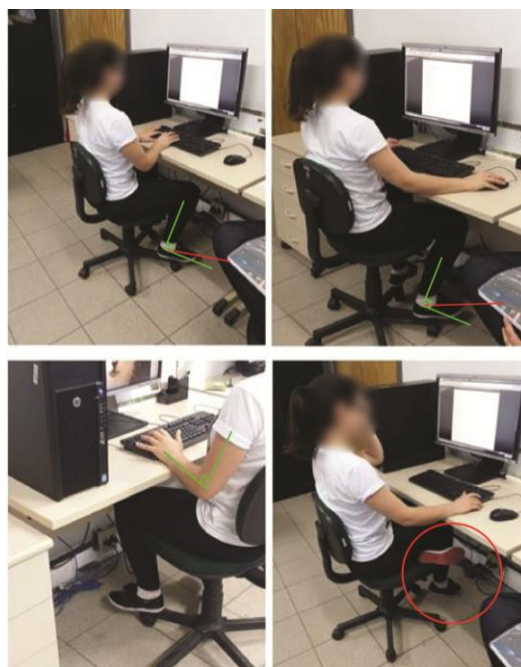
Assim, é possível formular um diagnóstico para descobrir as causas que provocam o problema identificado e descrito na Demanda. Por exemplo, identificar problemas que podem causar a fadiga, lesão ou dores musculares e, até mesmo, acidentes gerados pelo dimensionamento incorreto do produto. Desta forma, 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, obter os parâmetros antropométricos dinâmicos e verificar se o produto está adequado ao usuário em relação ao seu dimensionamento.

3.1. Análise dos Dados Referente à Análise Ergonômica Antropométrica dos Produtos Físicos por Meio de Observação Direta e Registros Fotográficos

Neste item, os dados referentes ao desenvolvimento da etapa de análise ergonômica física foram analisados e descritos, conforme os dados obtidos pela observação direta e por

registros fotográficos. A imagem desta análise é apresentada na Figura 10.

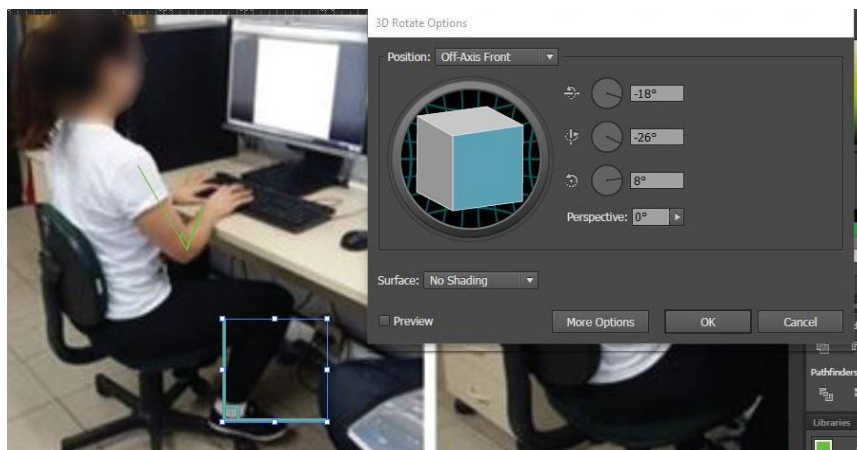
Figura 10: Análise Ergonômica da tarefa realizada pelo usuário feminino na estação de trabalho.



Fonte: Brendler (2017).

Para auxiliar a 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* (Figura 11), 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 11: Uso da ferramenta *3D Rotate* para auxiliar na análise da observação.



Fonte: Brendler (2017).

Foram elencados e descritos no Quadro 04 uma estrutura de objetivos quem teve como finalidade auxiliar a análise ergonômica pela observação. O objetivo foi verificar se a usuária sente algum tipo de desconforto nos músculos ou nas articulações, em relação à postura e aos alcances dos produtos e de seus componentes ao realizar as tarefas na estação de trabalho.

Foi constatado, conforme a observação direta e indireta em relação ao uso da estação de trabalho, para as medidas antropométricas da usuária, a altura da mesa era muito alta em relação aos alcances dos braços e o alcance dos pés no chão. Quando a usuária ajustou a altura da cadeira para um melhor alcance dos pés, o tampo da mesa ficou muito alto, o que poderia acarretar desconforto nas articulações do punho, cotovelo e ombro. Para corrigir esta postura, a usuária 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 usuária foi deixar os pés sobre a base da cadeira. Entretanto, a mesma relatou sentir desconforto no tornozelo depois de alguns minutos com os 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 usuária 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.

Quadro 4: Análise por meio da observação (estação de trabalho; usuário 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 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.

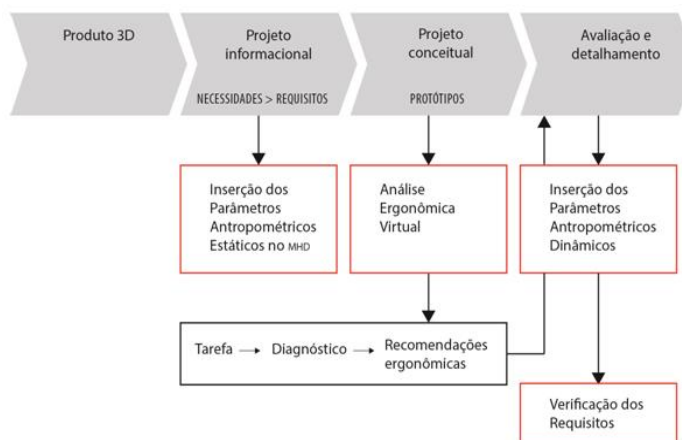
Fonte: Brendler (2017).

4. Proposta de Projeto de Estação de Trabalho

Para fins de demonstração da aplicação dos parâmetros de projetos obtidos na análise ergonômica virtual da estação de trabalho (Quadro 3), é apresentado o projeto do novo design e a análise ergonômica antropométrica no processo de projeto (PDP) em que se utilizou o modelo humano digital HERIP (Figura 12).

Conforme a Figura 12, foi observado que na etapa de projeto informacional, é de extrema importância a definição dos usuários do produto. A partir desta que se estabelecem as necessidades dos usuários, os requisitos de projeto e as medidas antropométricas estáticas são inseridas no HERIP. Após, na etapa de projeto conceitual, foram geradas as alternativas de projeto e realizadas as análises ergonômicas, que podem ser efetuadas ou no projeto de um novo produto ou em um produto já existente. No presente artigo a análise ergonômica foi realizada em uma estação de trabalho já existente para verificação do dimensionamento correto do produto em relação ao seu usuário e, assim, propor as mudanças e ajustes necessários para que o usuário exerça a função de maneira mais ergonômica.

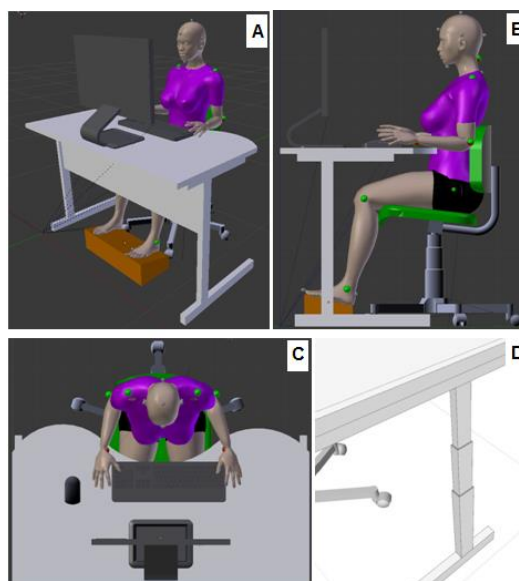
Figura 12: Gráfico das etapas da análise ergonômica antropométrica em ambiente virtual utilizando o MHD HERIP



Fonte: Brendler (2017).

A análise ergonômica antropométrica contemplou as etapas da descrição da tarefa, a análise do uso do produto por meio das cores dos *landmarks* no HERIP, obtenção das medidas antropométricas dinâmicas, diagnóstico e as recomendações ergonômicas, descritas sobre forma de parâmetros de projeto (Quadro 3). Conforme a análise, na Figura 13 foi apresentada a nova proposta de estação de trabalho. O tempo da mesa ganhou uma curvatura que auxilia como apoio para os braços e alcance das extremidades da mesa pelo usuário. Foi proposto o uso de um bloco de apoio para o pé do usuário (caso a mesa não tenha opção de ajuste para altura do tampo) ou ajustes de altura nas bases da mesa (Figura 13-D). Na etapa de avaliação e detalhamento, os ajustes necessários foram realizados (conforme nos parâmetros antropométricos dinâmicos) e os requisitos de projeto foram verificados para finalização do produto.

Figura 13: Gráfico das etapas da análise ergonômica antropométrica em ambiente virtual utilizando o MHD HERIP



Fonte: Brendler (2017).

O novo design da estação de trabalho foi modelado em 3D e realizada novamente a simulação virtual do uso do produto pelo HERIP. Deste modo, foi possível comprovar por meio das cores nos *landmarks* o dimensionamento correto do novo produto, atendendo assim, aos requisitos ergonômicos de projeto. As recomendações ergonômicas foram possíveis sem a necessidade de construção de protótipos físicos, com economia de tempo e custo para o desenvolvimento da nova estação de trabalho. Foi possível identificar as questões de dimensionamento do produto durante as etapas do PDP e o quanto o uso do HERIP nas análises ergonômicas virtuais pode auxiliar nesse processo. A seguir, são descritas as vantagens e desvantagens das análises ergonômicas tanto em ambiente virtual utilizando o HERIP como na tradicional.

5. Vantagens do Uso do HERIP nas Análises Ergonômicas Antropométrica em Ambiente Virtual

- Evita a construção de protótipos físicos (economia de custo e tempo);
- Permite a parametrização e modificação do projeto em tempo real (economia de custo e tempo);
- Permite o teste de vários usuários (quantidade praticamente ilimitada) sem os problemas de lidar com os corpos de pessoas reais (éticos, disponibilidade, custo, tempo);
- Dispensa laboratórios/espacos físicos especializados para medições ergonômicas;
- Pode detectar desconforto em partes que o usuário nem sequer perceba durante os testes físicos, só sentiria depois de muitas horas de trabalho;
- Possibilidade de refazer todos os testes após ajuste do projeto (ciclo PDP).

5.1. Desvantagens MHD

- Requer treinamento específico para uso do HERIP (minimizado pelo manual de uso);
- Requer conhecimento mínimo do Software Blender® (amplamente conhecido na área de Computação Gráfica);
- Requer um conhecimento mínimo de modelagem 3D para modelar a estação de trabalho (ou o que se quer testar);
- Está sujeito a incompatibilidade entre versões do software Blender®, requerendo assim atualizações de acordo.

5.2. Vantagens do método tradicional (físico)

- Possibilidade de interação com o usuário e saber suas impressões sobre o projeto;
- A construção de protótipos físicos por vezes mostra problemas de projetos não detectados nos protótipos virtuais (estrutura, montagem, fabricação, etc.);

5.3. Desvantagens Método Tradicional (Físico)

- Requer Construção de protótipos (custo e tempo são recursos escassos);
- Requer conhecimentos específicos para construção de protótipos;
- Disponibilidade de Espaços físicos/ laboratórios para a construção de protótipos e testes ergonômicos;
- Requer Equipamentos fotográficos e uso de softwares especializados para análise fotográfica;
- Requer conhecimentos específicos para análise e medição fotográfica;
- Requer disponibilidade de pessoas/usuários para os testes com os perfis adequados com relação aos percentis (tendo que lidar com problemas éticos, físicos, agenda e número de participantes);
- Dificuldade de refazer os testes após o reprojeto (custo/tempo/pessoas/espacos físicos).

Foi importante salientar que a análise ergonômica virtual não invalida o método tradicional. A análise virtual pode, por um lado, substituir a análise tradicional, se este for o caminho escolhido pelo projetista/designer por questões de otimização de recursos; Por outro lado, pode ser feita preliminarmente e acelerar muito o ciclo de projeto, prever problemas antes de eles existirem fisicamente eliminando muitas das desvantagens do método tradicional, e por fim pode-se usar o método tradicional para validação da proposta, *input* do usuário, aproveitando assim as vantagens do método tradicional, neste caso com um custo maior e mais tempo de desenvolvimento.

6. Considerações Finais

O HERIP 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 foi efetuada no HERIP com facilidade. Ao pressionar o botão esquerdo do *mouse* na linha 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 HERIP, auxiliou na identificação visual do conforto na postura durante a simulação da tarefa pelo HERIP. Estas cores foram programadas, sendo possível inserir o valor do ângulo de conforto desejado para cada articulação bem como os limites das amplitudes de movimento, permitindo que o HERIP represente medidas personalizadas do usuário.

Segundo estas análises, pode-se afirmar que o HERIP desenvolvido por Brendler (2017) 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 HERIP é fácil de aprender, pois seu funcionamento é respaldado no conhecimento prévio dos usuários de *software* de modelagem de produtos 3D.

Desta forma, o objetivo proposto de apresentar uma alternativa para o processo de análise ergonômica em ambiente virtual por meio de uma aplicação do uso do MHD HERIP a fim de demonstrar as funcionalidades e qualidades desta nova ferramenta foi atingido e o processo de análise ergonômica antropométrica em ambiente virtual por meio de uma aplicação do uso do MHD HERIP em uma estação de trabalho foi apresentado no artigo. É interessante ressaltar que todos os princípios éticos de pesquisa com seres humanos foram observados e esta pesquisa foi aprovada pelo comitê de ética em pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Referências

- 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.
- 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.
- GOMES FILHO. **Ergonomia do objeto: sistema técnico de leitura ergonômica**. 2.ed. São Paulo: Escrituras, 2010.
- 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.
- IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.
- 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.
- KROEMER, K. H. E.; GRANDJEAN, E. **Manual de ergonomia: adaptando o trabalho ao homem**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- 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.
- PANERO, J.; ZELNIK, M. **Dimensionamento humano para espaços interiores: Um livro de consulta e referência para projetos**. México: G. Gill, 2002.
- 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.
- 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.

Teixeira, F. G., J. L. F. Aymone, R. P. da Silva, and T. K. L. da Silva, "Virtual design: concepts", SAE Technical Paper Series, vol. 2008, pp. 2008-36-0332 -, 2008. copy at www.tinyurl.com/glmc453

TILLEY, A. R.; DREYFUSS, H. Associates. **As medidas do homem e da mulher** - fatores humanos em design. Editora Bookman, 2005.

THOMPSON, C. W; FLOYD, R. T. **Manual de cinesiologia estrutural**. São Paulo: Manole, 2002.