

## PRODUTO MULTIFUNCIONAL CALÇADO E ÓRTESE: COMPARAÇÃO ENTRE DESENVOLVIMENTO COM PROCEDIMENTO INDUSTRIAL CONVENCIONAL E PROTOTIPAGEM RÁPIDA EM IMPRESSORA 3D

SANTOS, R. M.

*Fatec Jahu - Gestão da Produção Industrial*  
*rosangela.santos4@fatec.sp.gov.br*

*MULTIFUNCTIONAL PRODUCT FOOTWEAR AND ORTHOSIS: Comparison Between Development With Conventional Industrial Procedure And Rapid Prototyping In 3D Printer.*

Eixo Tecnológico: (Ciências Sociais Aplicadas) Desenho Industrial

### Resumo

As órteses são produtos considerados como tecnologia assistiva por manter ou ampliar as habilidades das pessoas com deficiência física (Pcd) e promover maior participação social. Todos os Pcd's que apresentam sequelas de hemiplegia/hemiparesia necessitam fazer uso de órtese. Geralmente, tal artefato apresenta características que interferem negativamente durante seu uso. O projeto dos produtos (órtese e calçado) de maneira separada, muitas vezes, cumpre os requisitos funcionais, mas apresentam limitações referentes às condições para facilitar a usabilidade, e oferecer atributos estéticos atraentes que podem promover uma experiência agradável para as pessoas com deficiência. Tais aspectos influenciam na maneira da pessoa se locomover e interferem negativamente no processo de reabilitação física. A prototipagem rápida pode contribuir com o desenvolvimento desses produtos de maneira personalizada e propiciar melhor satisfação do paciente. Para isso, se faz necessário o desenvolvimento do modelo digital com dimensões e formatos fidedignos a partir da digitalização tridimensional. O objetivo deste estudo foi demonstrar a qualidade do modelo digital através da captação da imagem por diferentes instrumentos e procedimentos de processamento das imagens para a obtenção do modelo tridimensional. A digitalização tridimensional foi realizada em uma mulher hemiparética, paciente da APAE-Jaú. Os procedimentos realizados foram: aparelho Kinect e software Skanect; exame de tomografia e script Python, e técnica por fotogrametria através câmera fotográfica e software Agisoft Metashape. Todas as digitalizações visaram o desenvolvimento e produção de órteses. Notou-se que, o modelo digital mais eficiente para o desenvolvimento de órtese personalizada foi o procedimento por tomografia e *script Python*. O software para o desenvolvimento do modelo tridimensional é gratuito, no entanto, a coleta dos dados para a obtenção da imagem (tomógrafo) é de alto custo.

**Palavras-chave:** *Tecnologia assistiva, Prototipagem rápida, Digitalização tridimensional.*

### Abstract

Orthoses are products considered as assistive technology for maintaining or expanding the skills of people with physical disabilities (PwD) and promoting greater social participation. All PwD's who have sequelae of hemiplegia/hemiparesis need to use an orthosis. Generally, such an artifact has characteristics that interfere negatively during its use. The design of products (orthosis and footwear) separately often meets the functional requirements, but has limitations regarding the conditions to facilitate usability, and offer attractive aesthetic attributes that can promote a pleasant experience for people with disabilities. Such aspects influence the way people move around and interfere negatively in the physical rehabilitation process. Rapid prototyping can contribute to the development of these products in a personalized way and provide better patient satisfaction. For this, it is necessary to develop a digital model with reliable dimensions and formats based on three-dimensional scanning. The objective of this study was to demonstrate the quality of the digital model through image capture by different instruments and image processing procedures to obtain the three-dimensional model. Three-dimensional scanning was performed in a hemiparetic woman, patient at APAE-Jaú. The procedures performed were: Kinect device and Skanect software; tomography examination and Python script, and photogrammetry technique using a camera and Agisoft Metashape software. All scans were aimed at the development and production of orthoses. It was noted

### *Anais da VII Mostra de Docentes em RJJ*

that the most efficient digital model for the development of a customized orthosis was the tomography procedure and Python script. The software for developing the three-dimensional model is free, however, data collection to obtain the image (CT scanner) is expensive.

**Key-words:** *Assistive technology, Rapid prototyping, Three-dimensional scanning.*

## **1. Introdução**

Os avanços da Indústria 4.0 podem contribuir para o desenvolvimento de tecnologias assistivas (TA). O objetivo principal dos produtos de TA é proporcionar melhorias na qualidade de vida do usuário, seja através do aumento da capacidade motora, manutenção ou até restauração completa do movimento. São inúmeras as possibilidades de adaptações para gerar conforto ao usuário [1]. Diversos órgãos públicos e privados apresentam interesse em incentivar pesquisas nesta perspectiva.

O projeto atual, se propôs a realizar digitalizações tridimensional a partir de diversos instrumentos e procedimentos para o desenvolvimento de uma órtese para as extremidades dos membros inferiores e um calçado adaptado a órtese.

As órteses são um exemplo de produto assistivo para aperfeiçoar as características estruturais e funcionais dos sistemas neuromuscular e esquelético. São dispositivos mecânicos ou aparelhos ortopédicos que aplicam forças em determinada região para oferecer apoio, correção, alinhamento ou evitar deformidades [2]. A órtese da extremidade do membro inferior é um dispositivo externo aplicado entre o pé e a perna que visa dar suporte aos músculos paralisados dessa região, com a finalidade de estabilizar as articulações podais e do tornozelo, evitar deformidades musculoesqueléticas e facilitar a marcha [1,2,3].

Apesar da prescrição ser comum, o uso de órtese é abandonado em muitos casos. Isso pode ocorrer por diferentes motivações, principalmente pela falta de participação do usuário durante a confecção, falta de conforto e adequação a anatomia [4]. O uso contínuo de órteses aumenta a temperatura corporal no local. Especificamente na região dos pés, o aumento da temperatura é maior devido os médicos recomendarem o uso da órtese acompanhado de meias para a manutenção da saúde dos pés. A utilização dos dois produtos (órtese e meia) gera desconforto térmico, além de apresentar efeito estético negativo, pois o uso de meias com calçados abertos como sandálias femininas dificulta a combinação de formas, texturas, cores e apresentação visual harmoniosa.

Além do desconforto gerado pela interface entre a órtese e o pé, as pessoas com hemiplegia encontram dificuldades para comprar um par de calçados que calcem ambos os pés – direito e esquerdo (com e sem órtese). Geralmente, o pé com a paralisia e que a pessoa utiliza a órtese apresenta tamanho e volume superior ao pé sem órtese [5,6].

O calçado mostra o reflexo dos valores pessoais e preocupações socioculturais. Assim, o calçado está extremamente relacionado com a personalidade do usuário, independentemente de ele ter ou não deficiência física [7].

Atualmente, as órteses convencionais (adquiridas no mercado) são projetadas para de maneira padronizada (para caber em uma variedade de pacientes) e, portanto, não apresentam função individualizada, tais aspectos geralmente são bem comprometidos para a maior parte dos usuários por não considerar os aspectos anatômicos, interferindo na usabilidade [8].

O processo de fabricação por MA possibilita o desenvolvimento de produtos personalizados para cada usuário [9]. A etapa de digitalização 3D tem uma importância significativa, já que a região digitalizada serve de referência para construção do modelo tridimensional, para posterior fabricação [4].

### *Anais da VII Mostra de Docentes em RJJ*

A associação da impressão e digitalização 3D pode contribuir com o futuro da reabilitação, visto que dispositivos baseados na anatomia do paciente tendem a ser mais confortáveis e efetivos no tratamento [10,11].

Diversos tipos de materiais convencionais podem ser utilizados para a impressão 3D, com características variadas (flexibilidade, resistência, etc.). As propriedades dos materiais convencionais resultam do arranjo e da interação entre os átomos na nanoescala. Estudos recentes demonstram o desenvolvimento de metamateriais que controlam as suas propriedades por meio do design estrutural na mesoescala. As funcionalidades dos metamateriais são obtidas incorporando elementos biestáveis em suas células unitárias [12].

Os metamateriais são uma classe de materiais sintetizados artificialmente cujas propriedades são distintas do elemento base, tendo suas propriedades definidas majoritariamente pela geometria, arranjo e densidade de suas microestruturas. Portanto, é possível obter uma diversidade de propriedades mecânicas utilizando um material base, assim como grafite e diamante são essencialmente a mesma composição química, mas com arranjos de átomos distintos. Os metamateriais apresentam a capacidade de reconfiguração global, recursos adaptativos e de transformação que não são obtidos por materiais convencionais, e que tem contribuído para aumentar a eficácia dos produtos utilizado na área biomédica e de saúde em geral [13].

A partir da digitalização tridimensional e da seleção do melhor tipo de material/metamaterial para cada região do produto é possível projetar a órtese e o calçado de maneira personalizada e com boa usabilidade, propiciando o melhor equilíbrio, distribuição de pressão nos pés, favorecer a dinâmica do andar de pessoas com alterações neurológicas e oferecer atributos de satisfação com o produto sob a ótica da estética e de outros aspectos emocionais desejáveis.

Portanto, torna-se importante a identificação de equipamentos e softwares de digitalização 3D que possibilitem a obtenção da geometria do corpo humano, garantindo também a qualidade do modelo 3D gerado no processo.

Considera-se que a maior parte dos equipamentos disponíveis possuem um custo elevado, podendo inviabilizar a divulgação do método de fabricação de órteses em um país em desenvolvimento como o Brasil [4].

Diante da necessidade de projetar órtese e calçado com boas interfaces, torna-se relevante pesquisar o melhor instrumento, *software* e procedimento para o escaneamento corporal digital. Dessa maneira, é possível gerar o modelo anatômico tridimensional com características antropométricas fidedignas para que a modelagem e a impressão 3D sejam adequadas, e assim, a órtese possa exercer função e uso com eficiência e satisfação ao usuário.

O objetivo do projeto foi escanear e demonstrar a qualidade dos modelos digitais através da captação da imagem por diferentes instrumentos e procedimentos de processamento das imagens para a obtenção do modelo tridimensional.

Cabe ressaltar que estas etapas compõem um projeto maior que visa desenvolver dois produtos multifuncionais com função de órtese e calçado para mulher com hemiparesia.

## **2. Materiais e métodos**

### 2.1. Materiais

1 - Escaneamento digital por tomógrafo: Captação da imagem por exame de tomografia, foi utilizado fatias contínuas ou sobreposições de tomógrafo helicoidal, com espessura de 1 mm e

#### *Anais da VII Mostra de Docentes em RJJ*

espaçamento de 1 mm entre as fatias gerando imagens de 512x512 pixels. O processamento das imagens foi através de um *script Python e bibliotecas open3D e OpenCV, enquanto a visualização foi feita no software CloudCompare.*

2 - Escaneamento digital por sensor de movimento - captação da imagem com o uso do *kinect* (sensor de movimento) do videogame XBOX 360 e processamento das imagens pelo *software Skanect.*

3 - Escaneamento digital por câmera fotográfica: A captação da imagem foi por câmera fotográfica CANON EOS 600D RGB, de 36 MPixel, 12GB e o processamento das imagens pelo *software Agisoft Metashape.*

Após a obtenção dos três modelos anatômicos digitais foi analisada qual obteve melhor qualidade da imagem com o mais ângulo adequado da articulação do tornozelo.

## 2.2. Metodologia

O atual projeto é uma Pesquisa Tecnológica para digitalizar tridimensionalmente as extremidades dos membros inferiores e desenvolver um produto multifuncional (órtese e calçado) para pessoas com deficiência física (hemiplegia/hemiparesia). Pesquisa tecnológica é definida como “técnicas que possam avançar o desenvolvimento tecnológico em determinado campo, de acordo com a necessidade industrial, reduzindo custos e aumentando lucros” (CPRJI, 2008).

A participante é paciente da APAE, é do gênero feminino, possui hemiparesia e assinou o Termo de Compromisso Livre e Esclarecido como exige o Comitê de ética.

Nesta etapa da pesquisa foram realizadas as digitalizações tridimensionais.

## **3. Resultados e Discussão**

A seguir são apresentadas as imagens digitalizadas:

1 - Escaneamento digital por tomógrafo: Captação da imagem por exame de tomografia, foi utilizado fatias contínuas ou sobreposições de tomógrafo helicoidal, com espessura de 1 mm e espaçamento de 1 mm entre as fatias gerando imagens de 512x512 pixels. O processamento das imagens foi através de um *script Python e bibliotecas open3D e OpenCV, enquanto a visualização foi feita no software CloudCompare.*

A Figura 1 ilustra o modelo digital tridimensional desenvolvido pelo segundo procedimento (exame de tomografia e *script Python*). O modelo digital do pé. A paciente realiza o exame deitada com o pé apoiado na região plantar e a região posterior do tornozelo, o que favorece o posicionamento desse segmento simulando a posição em pé.

**Figura 1 - Escaneamento digital por tomógrafo**

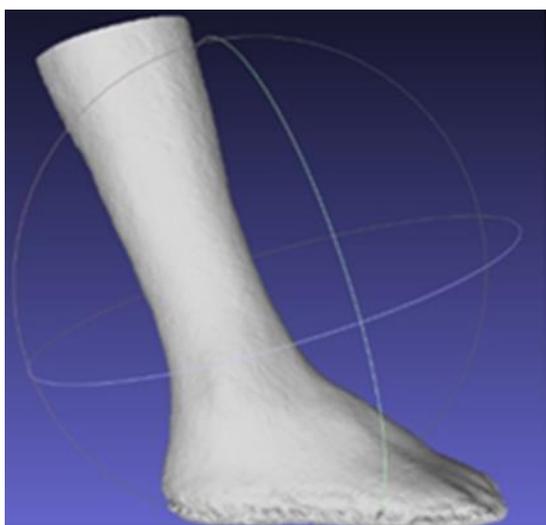


Fonte: Autora

2 - Escaneamento digital por sensor de movimento (*Kinect*): O segundo procedimento realizado de digitalização foi com o aparelho *kinect* (sensor de movimento) do vídeo game Xbox 360 e o processamento foi realizado pelo *software Skanect*.

Para a digitalização do pé, a paciente se posicionou sentada apoiando o pé em uma mesa de vidro para que o ângulo entre pé e perna fosse próximo de 90 graus. O projeto da órtese necessita da adequação ao formato do pé e ao posicionamento anatômico para que o projeto da órtese favoreça o equilíbrio entre a região anterior e posterior do pé direito. A Figura 2 ilustra o modelo digital realizado pelo *Kinect*.

**Figura 2 – Escaneamento digital por sensor de movimento (*Kinect*)**



Fonte: Autora

O modelo digital desenvolvido pelo *Kinect* é eficiente, produz boa qualidade, no entanto, o posicionamento da participante não é plenamente confortável durante o escaneamento e devido a deformidade podal da hemiparesia e a paraplegia em todo o membro inferior esquerdo a digitalização na região da articulação do tornozelo foi prejudicado, pois o ângulo foi bem maior

#### *Anais da VII Mostra de Docentes em RJJ*

que 90 graus entre pé e perna. Também se destaca que para obter as informações das medidas exatas é importante colocar um marcador na região escaneada.

O *Kinect* da Microsoft é uma opção de scanner 3D de baixo custo em relação aos scanners convencionais de digitalização tridimensional no mercado [14,15].

Segundo alguns autores o *Kinect* vem sendo utilizado em aplicações de projetos em realidade virtual para espaços físicos e em computação gráfica, no qual requer realismo nos modelos 3D de corpos humanos [14,16,17]. Portanto, o *Kinect* poderá ser utilizado como um scanner 3D de baixo custo para geração de modelos 3D e, assim, auxiliar no desenvolvimento de projetos de produtos, principalmente, para produtos personalizados [15].

Além dos dois tipos de digitalização proposto no projeto, foi realizada outra técnica de digitalização, também por fotogrametria, chamado neste estudo de Escaneamento por câmera fotográfica.

3 - Escaneamento digital por câmera fotográfica: A captação da imagem foi por câmera fotográfica CANON EOS 600D RGB, de 36 MPixel, 12GB e o processamento das imagens pelo *software Agisoft Metashape*.

A Figura 3 ilustra o molde digital do pé direito da participante (pé hemiparético). Foram coletadas 100 imagens das regiões: plantar, dorsal, tornozelo, retropé, mediopé e antepé.

**Figura 3 – Escaneamento por câmera fotográfica e software *Agisoft Metashape***



Fonte: Autora

Um estudo apresentou o comparativo entre três diferentes programas comerciais de reconstrução 3D com base em fotografias (*123DCatch*, *Agisoft* e *Hyper3D*). Os autores concluíram que o maior número de fotos favorece a qualidade e fidelidade do modelo digital [18]. Outro fator que possui influência significativa é a resolução das imagens capturadas. Quanto maior a resolução das imagens melhor a textura da superfície, no entanto, isso não influencia o número de lacunas da malha [4].

Neste projeto o escaneamento por câmera e software *Agisoft* sofreu interferências e apresentou muitas falhas no modelo digital, provavelmente devido a diferença de luminosidade principalmente entre a região plantar e superior do pé, o que impossibilita a obtenção da imagem com perfeição.

Após análises dos três escaneamentos foi selecionado o procedimento de escaneamento por tomógrafo por oferecer a melhor qualidade da imagem e também pelo posicionamento do pé durante o escaneamento. Para a realização do exame a paciente apoiou a região plantar e

#### *Anais da VII Mostra de Docentes em RJI*

posterior da perna, o que permitiu o ângulo mais adequado da articulação do tornozelo, simulando a posição em pé.

#### **4. Considerações finais**

Após análises dos três escaneamentos foi selecionado o melhor procedimento de escaneamento considerando dois critérios: 1 - melhor qualidade da imagem e 2 - melhor ângulo do posicionamento do pé durante o escaneamento. O melhor procedimento selecionado foi o escaneamento por tomógrafo. Além deste procedimento oferecer a melhor qualidade da imagem, também ofereceu o melhor posicionamento do tornozelo. Durante o exame a paciente apoiou a região plantar e posterior da perna, o que permitiu o ângulo mais adequado da articulação do tornozelo, simulando a posição em pé.

Destaca-se que a obtenção do modelo anatômico a partir das imagens da tomografia foi realizada de maneira gratuita, pois a linguagem de programação *Python* está disponível gratuitamente, sendo necessário apenas o desenvolvimento da programação do código para a obtenção do modelo. No entanto, a maneira mais viável para a realização da tomografia é em laboratórios especializados, porém o custo é elevado.

#### **Agradecimentos**

APAE-Jaú, CPRJI, FATEC Jahu.

#### **Referências**

- [1] FERNANDES, B.O.; FOGIATTO, J.A.; POIER, P.H. Uso da impressão 3D na fabricação de órtese - Um estudo de caso. IN: **Fourth International Conference on Integration of design, engineering and management for innovation**. Florianópolis, 2015.
- [2] ARCE, R. P.; FOGGIATTO, J. A. **Modelagem de órteses para fabricação por manufatura aditiva**. 9º Congresso Brasileiro de Engenharia e Fabricação, Joinville, 2017.
- [3] WHITE, H.; JENKINS, J.; NEACE, W.P.; TYLKWSKI, C.; WALKER, J. Clinically prescribed orthoses demonstrate an increase in velocity of gait in children with cerebral palsy: a retrospective study. **Developmental Medicine & ChildNeurology**. v.44, 2002.
- [4] ROSENMAN, G. C. **Avaliação de sistemas de digitalização 3D de baixo custo aplicados ao desenvolvimento de órteses por manufatura aditiva**. 2017. 113f. Dissertação - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.
- [5] RONCOLETTA, M.R. O desejo de mulheres portadoras de deficiência física no design de calçados. IN: **I Encontro Nacional de Pesquisa em Moda**. Goiânia, Universidade Federal de Goiás, 2011.
- [6] SANTOS, R.M, VENTURA, F.C.; HERNANDES, F.; JUNIOR-MARQUES, A; GUARNETTI, J.E.; PASCHOARELLI, L.C. Use Perception Analysis in Custom Made Footwear for People with Physical Disability In: **Advances in Intelligent Systems and Computing**.588 ed.: Springer International Publishing, 2018, p. 581-590.
- [7] CASTILHO, K.; MARTINS, M. **Discursos da Moda: semiótica, design e corpo**. Cap. 1. A comunicação de moda por meio do design. Ed. Anhembi Morumbi, São Paulo, 2005.

*Anais da VII Mostra de Docentes em RJI*

- [8] MAVROIDS, et. al. Specific patient ankle-foot orthosis using Rapid prototyping. **Journal of neuroengineering and Rehabilitation**. V.8, n.1, 2011.
- [9] PATERSON, A. M. J. **Digitisation of the Splinting Process: Exploration and Evaluation of a Computer Aided Design Approach to Support Additive Manufacture**. 2013. 368 f. Doctoral Thesis – Loughborough University, Loughborough, 2013.
- [10] MIKOLAJEWSKA, E.; MACKO, M.; ZIARNECKI, L.; STANCZAK, S.; KAWALEC, P.; MIKOLAJEWSKI, D. **3D printing Technologies in Rehabilitation Engineering**. Journal of Health Sciences, v. 4, n. 12, p. 78-83, 2014.
- [11] HENSEN; J. C. D. **Desenvolvimento de um procedimento para a fabricação de órteses não articuladas de tornozelo e pé por Manufatura Aditiva**. 2019. 172f. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.
- [12] RAGHAVAN, S.; RAJESHKUMAR, V. An overview of metamaterials in biomedical applications. Progress in Electromagnetics Research Symposium, p. 368–371, 2013.
- [13] METSAVAHT, N. D’Orsi. **Desenvolvimento de Palmilhas Ortopédicas para Indivíduos com Neuropatia Periférica Utilizando Microestruturas**. 2022. Pontifícia Universidade Católica. Rio de Janeiro.
- [14] TONG, J; ZHOU, J; LIU, L; PAN, Z; YAN, H. **Scanning 3d full human bodies using kinects**. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, v.18, n.4, p. 643-650, 2012.
- [15] BRENDLER, C. F.; MULLER, M. S.; SILVA, F. P.; TEIXEIRA, F. G.. **Uso da digitalização 3D do corpo humano para desenvolvimento de produtos personalizados: Análise comparativa entre os scanners Artec EVA e o Kinect**. Estudos em Design, v.24, n.2, p.24-43, 2016.
- [16] AITPAYEV, K.; GABER, J. **Creation of 3D Human Avatar using Kinect**. Asian Transactions on Fundamentals of Electronics, Communication & Multimedia, v. 1, n. 5, p.12-24, 2012.
- [17] GONZALEZ, J. H; RIVEIRO, B.; FERNANDEZ, V.; SÁNCHEZ, M.; ARIAS, P. **Metrological evaluation of Microsoft Kinect and Asus Xtion sensors**. Measurement, v. 46, p. 1800–1806, 2013.
- [18] NGUYEN, H. M.; WÜNSCHE, B.; DELMAS, P.; LUTTEROTH, C. **3D Models from the black box: Investigating the current state of image-based modeling**. 20th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision, WSCG 2012. p.249–258, 2012.