

Digitalização tridimensional de pé e tornozelo: diferentes instrumentos e procedimentos de escaneamentos para o desenvolvimento de órtese e calçados para hemiparéticos

Three-dimensional scanning of the foot and ankle: different instruments and scanning procedures for the development of orthoses and footwear for hemiparetic patients

Amanda Porphiro Lima; Fatec Tatuapé; FATEC TT
Rosangela Monteiro dos Santos; Fatec Jahu/ Fatec Tatuapé; FATEC JH/ FATEC TT
Ademir Marques Junior; Unisinos; UNISINOS
Flávio Cardoso Ventura; Fatec Jahu; FATEC JH

Resumo

As pessoas com hemiparesia necessitam fazer uso contínuo de órteses, no entanto, as órteses convencionais nem sempre proporcionam conforto e boa usabilidade. O objetivo deste estudo foi demonstrar a qualidade do modelo digital através da captação da imagem por três 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. Os materiais e procedimentos realizados foram: câmera fotográfica e *software Agisoft Metashape*; exame de tomografia e script *Python*, e *Kinect* e *Skanect*. Todos visando o desenvolvimento e produção de órteses e calçados adaptados anatomicamente e biomecanicamente a órteses. Notou-se que, o modelo digital mais eficiente para o desenvolvimento de órtese personalizada foi o procedimento por tomografia e script *Python*. Já o modelo digital mais apropriado para o desenvolvimento de calçado adaptado à órtese foi pelo *Kinect* e *skanect*, ambas técnicas são de baixo custo.

Palavras-chave: digitalização tridimensional; fotogrametria; kinect; órtese.

Abstract

People with hemiparesis need to make continuous use of orthoses, however, conventional orthoses do not always provide comfort and good usability. The aim of this study was to demonstrate the quality of the digital model by capturing the image using three different instruments and image processing procedures to obtain the three-dimensional model. Three-dimensional scanning was performed on a hemiparetic woman, a patient at APAE. The materials and procedures performed were: camera and Agisoft Metashape software; tomography exam and Python program, and Kinect and Skenect. All aimed at the development and production of orthoses and footwear anatomically and biomechanically adapted to orthoses. It was noted that the most efficient digital model for the development of a personalized orthosis was the tomography procedure and the Python program. The most appropriate digital model for the development

of footwear adapted to the orthosis was the Kinect and skanect, both techniques are low cost.

Keywords: three-dimensional scanning; photogrammetry; kinect; bracing.

1. Introdução

Tecnologia Assistiva (TA) é o termo utilizado para definir o grupo de recursos e serviços desenvolvidos para ampliar as habilidades funcionais de pessoas com deficiência, promovendo a independência e inclusão. (HENSEN, 2019)

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. Os produtos podem ser produzidos em grande escala, ou de forma personalizada. São inúmeras as possibilidades de adaptações para gerar conforto ao usuário. (FERNANDES, 2015)

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. (ARCE e FOGGIATTO, 2017)

Apesar da prescrição ser comum, o uso de órteses são abandonados 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. (ROSENMANN, 2017)

Os produtos convencionais oferecidos pelo mercado são padronizados, e oferecem desvantagens, principalmente quanto aos aspectos anatômicos, interferindo na usabilidade.

Paterson (2013) propõe a utilização dos recursos de Manufatura Aditiva (MA) e digitalização tridimensional (3D) no desenvolvimento e produção de órteses. O processo de fabricação por MA possibilita o desenvolvimento de produtos personalizados para cada usuário. 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. (ROSENMANN, 2017)

Mikolajewska et al. (2014) comentam que 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. (HENSEN, 2019)

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.

Além disso, 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. (ROSENMANN, 2017)

A digitalização tridimensional permite a captura de diversos modelos obtendo curvas, texturas e detalhes de superfícies. Outra desvantagem destes sistemas é a demanda de tempo e precisão da digitalização de partes do corpo humano, principalmente devido aos movimentos do paciente durante o processo, diferente da digitalização de objetos e produtos físicos por exemplo, onde não ocorre oscilação.

Dessery e Pallari (2018) comentam que os escâneres de baixo custo podem ter aplicações clínicas, devido a simplicidade do processo. No entanto, podem oferecer uma precisão menor, se comparado aos equipamentos de alto custo para grandes áreas de digitalização, desse modo, a aplicação desses métodos deve ser analisada conforme o tamanho do segmento corporal. (HENSEN, 2019)

Considerando o exposto acima, o objetivo do presente trabalho é demonstrar a qualidade do modelo digital através da captação da imagem por três diferentes instrumentos e procedimentos de processamento das imagens para a obtenção do modelo tridimensional (câmera fotográfica e *software Agisoft Metashape*; exame de tomografia e *script Python*, e *Kinect* e *Skanect*) visando o desenvolvimento e produção de órteses e calçados adaptados anatomicamente e biomecanicamente a órteses.

2. Referencial teórico

2.2 Digitalização Tridimensional do Corpo Humano

Na etapa de impressão 3D, é necessário ter um modelo tridimensional da peça. A modelagem pode ser totalmente desenvolvida em softwares de Desenho Auxiliado ao Computador, ou a partir de um modelo obtido por digitalização tridimensional. No caso de produtos assistivos, o modelo físico a ser digitalizado é o próprio corpo humano. (HENSEN, 2019)

A digitalização 3D obtém dados dos objetos físicos, para posteriormente, gerar modelos tridimensionais com o auxílio de softwares, capturando detalhes das superfícies com precisão. Essas informações obtidas a partir da digitalização de partes do corpo humano, podem ser usadas em projetos que demandam dados precisos e personalizados. (BRENDLER et al., 2016)

Para estas aplicações, em geral, são usados sistemas de tecnologia avançada. Ainda que esses sistemas apresentam uma crescente popularização, o mercado nacional exige um alto investimento, inviabilizando aplicações em projetos de baixo custo. (SILVA, 2011)

A obtenção de dados pela digitalização do corpo humano apresenta desafios, entre eles, o conforto. Os seres humanos não se sentem confortáveis parados em uma determinada posição por um longo período.

Jones e Rioux^b (1997) citaram algumas limitações para digitalizar o corpo humano, que está em movimento constante e vulnerável a variação de forma devido a fatores externos e internos. Ainda que alguns membros possam ser imobilizados, é quase impossível um indivíduo permanecer estático por um determinado tempo. Devem-se considerar os movimentos involuntários, como a respiração e contrações musculares.

Silva (2011), comenta que, de forma isolada, esses pequenos erros podem estar dentro da tolerância necessária para muitas aplicações, mas podem trazer prejuízos significativos no que tange a montagem do modelo e implicar em maior perda de precisão na superfície como um todo.

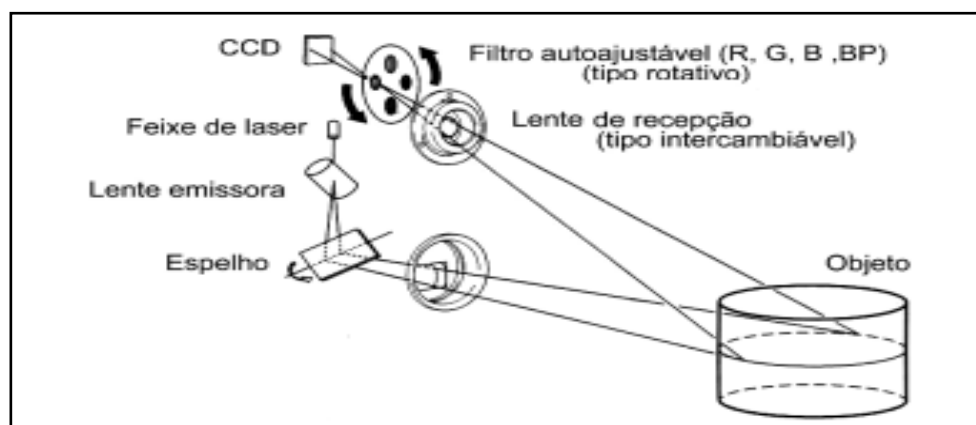
No contexto da aplicação para a digitalização de membros do corpo humano, Ciobanu et al. (2013) indicam a utilização de equipamentos com base em triangulação a laser, luz estruturada e fotogrametria. (ROSENMAN,2017)

2.2.1 Digitalização a Laser por Triangulação

Segundo Gazziro (2011), o processo de digitalização por triangulação é através da projeção de um feixe de linha vertical produzida por um emissor laser sobre a superfície do objeto a ser capturado; essa projeção é então capturada pela câmera e a distância até o objeto se dá através de cálculo geométrico. (MOREIRA, 2016)

A digitalização a laser baseada em triangulação já é bem difundida no mercado atual. A maior parte desses sistemas se preocupa com alta precisão, tornando o custo mais alto. Este sistema oferece a possibilidade de capturar cor durante a digitalização, através de um filtro de cores RGB posicionado em frente ao sensor. Ao finalizar a varredura, se obtém o mapeamento da nuvem de pontos da superfície do objeto, que após manipulação computacional, gera as superfícies tridimensionais. (SILVA, 2011)

Figura 1 – Princípio de Digitalização 3D por triangulação



Fonte: SILVA (2011).

Atualmente existem no mercado scanners de mão, é o caso da linha Handyscan da Creaform®, ou ZScanner da Z Corporation®. Os equipamentos são portáteis, dispensam o uso de tripés ou dispositivos de posicionamento. A operação é manual e são utilizadas etiquetas reflexivas na superfície do modelo a ser digitalizado. Identificando os alvos, o sistema realiza um autopoicionamento, transferindo os resultados para uma tela simultânea em tempo real. (SILVA, 2011)

Há também a possibilidade que o usuário monte o próprio sistema, como é o caso do DAVID Laserscanner®. O software pode ser obtido gratuitamente na internet, mas com restrições de uso (quanto à resolução, montagem e registro das nuvens de pontos). (SILVA, 2011)

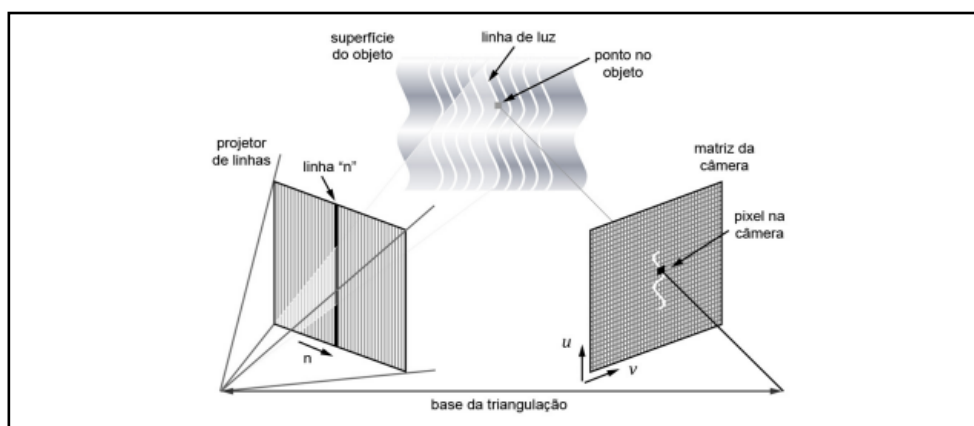
Além da digitalização, o software DAVID Laserscanner (versão profissional licenciada) possui controles de suavização da malha e um módulo para a montagem das nuvens de pontos. (SILVA, 2011)

2.2.2 Digitalização por Luz Branca (Luz Estruturada)

Segundo Silva (2011), este sistema funciona através da projeção de um padrão conhecido de luz (linhas paralelas ou grades) em um objeto. As linhas de luz deformam quando atingem a superfície do objeto e são capturadas por uma câmera calibrada. De acordo com a distorção do padrão, o sistema calcula as coordenadas tridimensionais da superfície.

Ao contrário dos sistemas a laser, que projetam apenas uma linha fina, são projetadas múltiplas linhas de uma vez, possibilitando aumento na velocidade de digitalização. O uso de mais de uma câmera pode favorecer a precisão da digitalização, e quanto maior a resolução do equipamento, mais pontos podem ser obtidos por imagem. (SILVA, 2011)

Figura 2 – Princípio da triangulação por luz branca



Fonte: SILVA (2011).

Desde o lançamento do Kinect 360, em 2010, e sua adequação para a geração de malhas 3D, surgiram diversos projetos de equipamentos e alguns programas computacionais para a reconstrução digital 3D de objetos. (ROSENMAN, 2017)

O Kinect 360 é constituído por um emissor infravermelho (IR), desenvolvido pela empresa PrimeSense®, uma câmera com captação de três canais de cor, sendo o vermelho (R), verde (G) e azul (B) que gera imagens com resolução de 640x480 pixels. O emissor IR projeta um padrão de pontos estruturado que é captado pelo sensor, por meio da comparação deste padrão estruturado e o captado pelo sensor é possível construir uma imagem em profundidade, apresentando o mesmo princípio de funcionamento da tecnologia de digitalização 3D por luz

estruturada. Esta imagem em profundidade é fundida às imagens captadas pela câmera RGB, produzindo aquilo que é chamado imagens RGB-D, sendo uma nuvem de pontos tridimensional com informações de cor, este conjunto de informações é utilizado para a construção de malhas tridimensionais. (ROSENMAN, 2017)

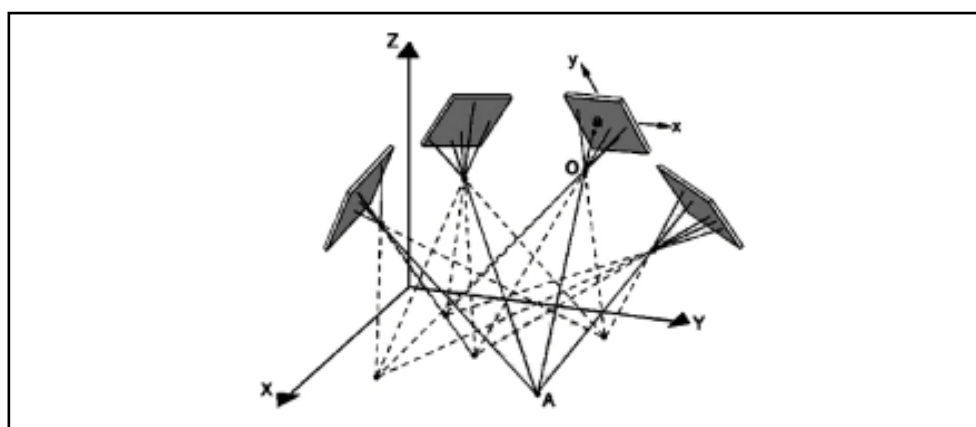
2.2.3 Digitalização Baseada em Fotografia (Fotogrametria)

A digitalização baseada em fotografia é fundada nos princípios da fotogrametria. O algoritmo identifica a posição das câmeras no momento da captura. Em seguida, o software de digitalização compara as fotos buscando a melhor sobreposição entre si. Caso a captura tenha sido bem-sucedida, a orientação das fotografias é utilizada no cálculo da localização da marca no espaço tridimensional, resultando numa nuvem de pontos. (SILVA, 2011)

A precisão dos dados é influenciada pela resolução e lente da câmera, distância entre o modelo e o equipamento e o padrão de textura da superfície do objeto.

Este é um método passivo de digitalização, já que não é projetado nenhum tipo de radiação além do natural sobre o modelo. No entanto, apresenta limitações quanto às áreas de pouca iluminação, reflexo de superfícies, densidade de pontos e tempo de processamento. (SILVA, 2011)

Figura 3 – Princípio de funcionamento da fotogrametria



Fonte: CUYPERS et al. (2008)

O 123DCatch é um programa computacional produzido e distribuído gratuitamente pela Autodesk®. A reconstrução 3D realizada por este software ocorre com base na fotogrametria. Algumas especificações para a captura das imagens devem ser cumpridas visando a obtenção dos melhores resultados na geração de malhas tridimensionais, sendo: captação de imagens em sequência em diferentes posições e planos, inserção de pontos de referência na cena, evitar objetos e superfícies transparentes e/ou reflexivas. (ROSENMAN, 2017)

Quadro 1 – Vantagens e Desvantagens das tecnologias de digitalização 3D

Tecnologia	Vantagens	Desvantagens
Triangulação a Laser	Relativamente simples Precisão dimensional Alta taxa de aquisição de dados Velocidade de obtenção do modelo digital	Questões de saúde relacionadas ao uso do laser Volume de alcance e medição limitados Perda de dados em decorrência a sombras e oclusões Custo
Luz Branca (Luz Estruturada)	Alta taxa de aquisição de dados Volume de digitalização intermediário O desempenho geralmente depende da iluminação do ambiente	Questões de saúde quando utiliza laser Média complexidade computacional Perda de dados em decorrência a sombras e oclusões Custo
Fotogrametria	Alta precisão quando possui marcadores bem definidos	Demanda computacional Escassa cobertura de dados Limitado a cenas bem definidas Baixa taxa de aquisição de dados

Fonte: Adaptado de Rosenmann (2017).

3. Metodologia

O atual projeto é uma pesquisa tecnológica sobre digitalização tridimensional de pé e tornozelo para o desenvolvimento de órteses e calçados para pessoas com deficiência física. A finalidade da pesquisa é demonstrar a qualidade do modelo digital do pé e tornozelo de uma mulher hemiparética através da captação da imagem por três diferentes instrumentos e procedimentos de processamento das imagens para a obtenção do modelo 3D elencados a seguir:

- Procedimento 1. 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* ;

- Procedimento 2 - 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 é feita no software CloudCompare*.

- Procedimento 3 - captação da imagem com o uso do *kinect* (sensor de movimento) e processamento das imagens pelo *software Skanect*.

Participou do projeto uma mulher com 38 anos de idade, com hemiparesia por ter sofrido Acidente Vascular Cerebral – AVC, paciente da APAE Jaú. Antes do início das análises a paciente e instituição assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido de acordo com o Comitê

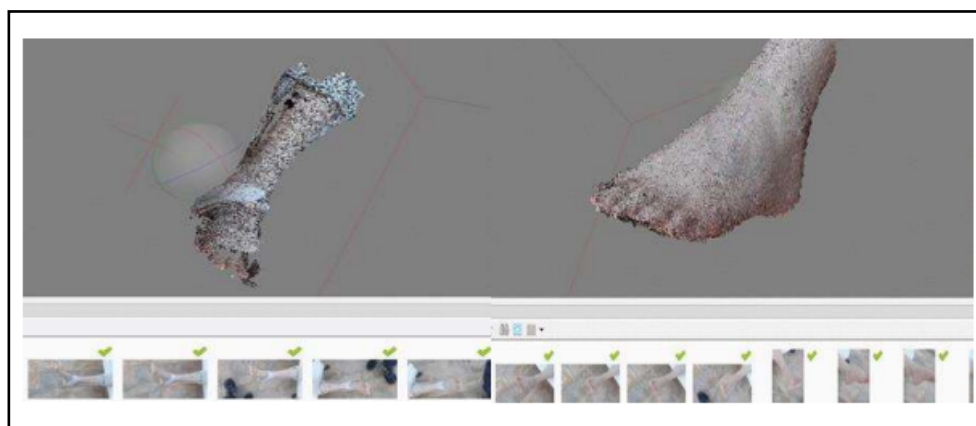
de ética. As digitalizações da paciente sem a órtese visam o desenvolvimento de órtese mais anatômica e com a órtese visando o desenvolvimento de calçados adaptados à órtese.

Também foram realizadas a digitalização do pé com a órtese pela câmera fotográfica e pelo aparelho *Kinect*. Os modelos digitais com órtese visam o desenvolvimento de calçados adaptados à órtese da paciente.

4. Resultados

A seguir são ilustradas as imagens tridimensionais dos tipos de escaneamentos. A Figura 4 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 4 – Digitalização por câmera fotográfica e software *Agisoft Metashape*



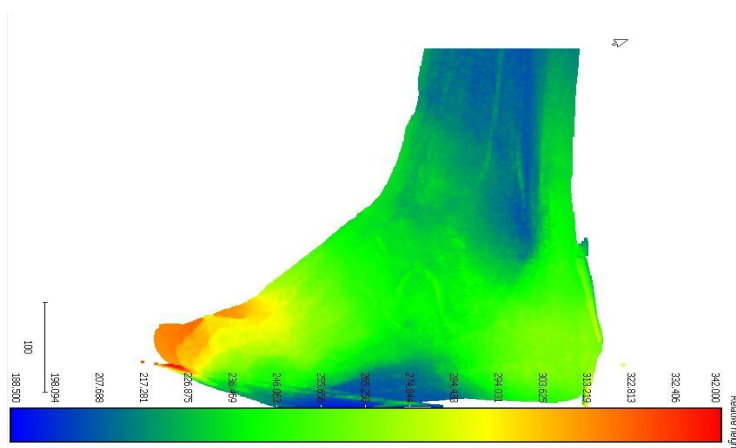
Fonte: Elaborado pelos Autores.

O estudo de Nguyen et al. (2012) 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. 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. (ROSENMAN, 2017)

A digitalização por fotogrametria foi eficaz para o escaneamento do pé sem órtese, porém o escaneamento com a órtese apresentou muitas falhas no modelo digital, provavelmente devido a parte transparente da órtese possuir luminosidade elevada o que impossibilita a digitalização adequada da órtese.

A Figura 5 ilustra o modelo digital tridimensional desenvolvido pelo segundo procedimento (exame de tomografia e script *Python*). O modelo digital apenas do pé sem órtese devido a órtese da participante ser composto de metal, o que impossibilita a realização do exame de tomografia com a órtese utilizada pela mesma.

Figura 5 - Digitalização por tomografia e programa *Python*



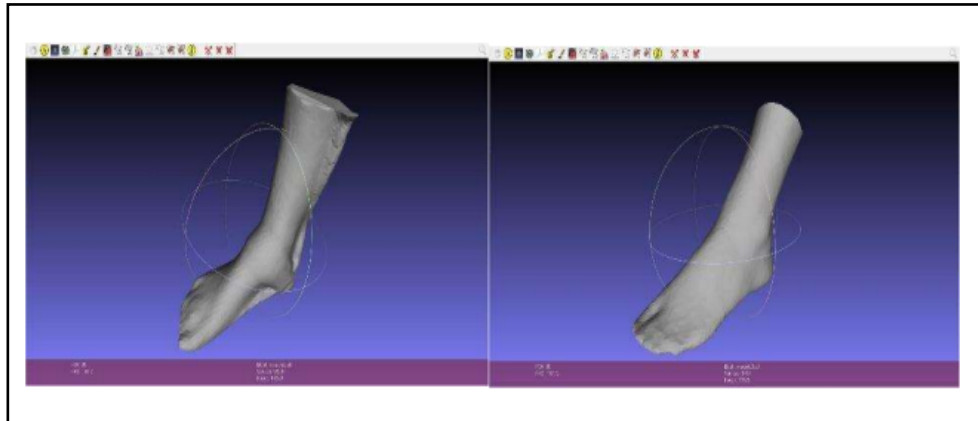
Fonte: Elaborado pelos autores.

A digitalização pela captação da imagem por tomografia foi eficiente. É o modelo digital que melhor simula a posição do tornozelo adequada (ângulo entre pé e perna) o que favorece a modelagem da órtese. o posicionamento do tornozelo é favorecido pelo posicionamento do pé e tornozelo durante a realização do exame (paciente deitada com a planta do pé apoiada).

O último 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 sem órtese 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 6 ilustra o modelo digital com e sem órtese realizado pelo *Kinect*.

Figura 6 – Digitalização do pé com e sem órtese pelo Kinect



Fonte: Elaborado pelos Autores.

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 falta de apoio na região plantar a digitalização na região da articulação do tornozelo não é a mais indicada para o desenvolvimento de órtese. No entanto, é o melhor procedimento de desenvolvimento do modelo digital para a confecção de calçado adaptado à órtese convencional dentre os três analisados neste trabalho.

Tong et al. (2012) destaca o Kinect da Microsoft como uma opção de scanner 3D de baixo custo em relação aos scanners convencionais de digitalização tridimensional no mercado. (BRENDLER et al. 2016)

Segundo alguns autores como: Tong et al. (2012); Aitpayev e Gaber (2012); Gonzalez et al. (2013), 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. 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. (BRENDLER et al. 2016)

5. Considerações finais

Com a finalidade de ampliar e aperfeiçoar o desenvolvimento de órtese personalizada e confeccionar calçados adaptados à órtese convencional este artigo se propôs a realizar três procedimentos de digitalização tridimensional do pé e tornozelo de uma hemiparética (câmera fotográfica e *software Agisoft Metashape*; exame de tomografia e script *Python*, e *Kinect* e *Skaneect*) visando o desenvolvimento e produção de órteses e calçados adaptados anatomicamente e biomecanicamente a órteses.

Pode-se perceber que é possível obter imagens de boa qualidade utilizando os três procedimentos de escaneamento, no entanto, o desenvolvimento do modelo digital pode ser mais apropriado de acordo com a técnica de captação de imagem e do requisito das características para o produto a ser desenvolvido.

Neste estudo, o modelo digital mais eficiente para o desenvolvimento de órtese personalizada foi o procedimento por tomografia e script *Python*. Já o modelo digital mais apropriado para o desenvolvimento de calçado adaptado à órtese foi pelo *Kinect* e *skanect*, ambas técnicas são de baixo custo, porém a captação de imagem por tomografia é necessário que a pessoa não tenha nenhum contra-indicação para a realização do exame e tenha uma solicitação médica para tal.

A digitalização tridimensional de cada segmento do corpo humano exige cuidados para a fidedignidade da construção do modelo digital. Estudos que analisam diferentes procedimentos podem favorecer o desenvolvimento de produtos personalizados, entre eles os produtos de tecnologia assistiva, favorecendo as pessoas com deficiência física.

6. Referências Bibliográficas

- ARCE, Rodrigo Pulido; FOGGIATTO, José Aguiomar. **Modelagem de órteses para fabricação por manufatura aditiva**. 9º Congresso Brasileiro de Engenharia e Fabricação, Joinville, 2017. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- BRENDLER, Clariana Fischer; MULLER, Marcelle Suzete; SILVA, Fábio Pinto; TEIXEIRA, Fábio Gonçalves. **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.
- FERNANDES, Guilherme Gentil. **Design & Saúde: Contribuição do Design Industrial na reabilitação**. 2015. 84p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Design) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.
- HENSEN; Jéssica C. D. dos S. F. **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.
- MOREIRA, Sandro Silva. **Projeto e construção de um scanner tridimensional baseado no método de triangulação a laser utilizando softwares livres**. 2016. 79f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2016.
- ROSENMANN, Gabriel 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.

SILVA, Fábio Pinto. **Usinagem de Espumas de Poliuretano e Digitalização Tridimensional para Fabricação de Assentos Personalizados para Pessoas com Deficiência.** 2011. 192p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.