

FABRICAÇÃO DE ÓRTESES PERSONALIZADAS PARA PESSOAS COM PARALISIA CEREBRAL ATRAVÉS DAS TECNOLOGIAS ENGENHARIA REVERSA E MANUFATURA ADITIVA

Landimar Mendes Duarte ¹, Marcelo Augusto Rozan dos Santos ², Ruís Camargo Tokimatsu ³,

1. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira-SP, Brasil, e-mail: landimarduarte15@gmail.com
2. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira-SP, Brasil, e-mail: marcelorozan@gmail.com
3. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira-SP, Brasil, e-mail: ruisctok@gmail.com

Resumo

Em todo o mundo, mais de 17 milhões de pessoas possui a coordenação motora de seus corpos limitadas devido à Paralisia Cerebral. Um diagnóstico de Paralisia Cerebral pode ser espantoso para os pais, gerando diversos questionamentos e incertezas, se seu filho vai sentar, ficar de pé, andar, alimentar-se ou ter uma vida normal.[1] A fim de sustentar as crianças em sua busca por mobilidade, Fisioterapeutas e Médicos comumente indicam órteses designada a corrigir distúrbios dos membros inferiores, membros superiores ou da coluna, melhorando o alinhamento ou fornecendo suporte ao movimento. Durante o tempo em que o ramo da medicina progrediu rapidamente devido a tecnologia moderna, as órteses são confeccionadas da mesma forma a partir da década de 1950.[2] As órteses pré-fabricadas estão disponíveis prontas para uso em formatos e tamanhos padrão e, embora algumas possam ser ligeiramente adaptadas ao paciente, tentar lidar com vários sintomas com o mesmo dispositivo podem ocorrer algumas limitações ao paciente. As órteses fabricadas sob medida de cada paciente são produzidas à mão e usinadas em CNC baseado em uma impressão de gesso ou caixa de espuma do pé do paciente, porém possui um prazo de entrega de algumas semanas e também requerem ajustes adicionais após a adaptação.[3] O objetivo deste projeto é empregar a Engenharia Reversa para digitalizar os membros que necessitam de auxílio e confeccionar as órteses com a tecnologia de Manufatura Aditiva, para que possa proporcionar as pessoas com Paralisia Cerebral uma melhor qualidade de vida oferecendo órteses personalizadas e adaptadas ao paciente e, com custo relativamente acessível. Foram confeccionadas duas órteses do Modelo AFO, uma estática e outra dinâmica. O tempo médio de produção ficou relativamente abaixo do método convencional de confecção das órteses, levando em consideração desde a aquisição dos dados até a manufatura final, a órtese AFO foi finalizada em 28h e 58min, utilizando 212g de filamentos.

Palavras-chave: prototipagem rápida; impressão 3D; digitalização 3D.

Abstract

Worldwide, more than 17 million of people have limited motor coordination in their bodies due to Cerebral Palsy. A diagnosis of Cerebral Palsy can be astounding for parents, generating many questions and uncertainties as to whether their child will sit, stand, walk, eat, or have a normal life.[1] In order to support children in their quest for mobility, Physiotherapists and Physicians commonly recommend orthotics designed to correct disorders of the lower limbs, upper limbs or spine, improving alignment or providing movement support. During the time when the branch of medicine progressed rapidly due to modern technology, orthoses were made in the same way from the 1950s onwards.[2] Prefabricated orthoses are available ready-to-use in standard shapes and sizes, and while some may be slightly patient-tailored, trying to deal with multiple symptoms with the same device may pose some limitations to the patient. Each patient's custom-made orthoses are hand produced and CNC machined based on a plaster or foam box impression of the patient's foot, but have a delivery time of a few weeks and also require additional adjustments after fitting.[3] The objective of this project is to use Reverse Engineering to digitize the limbs that need assistance and make the orthoses with Additive Manufacturing technology, so that it can provide people with Cerebral Palsy with a better quality of life by offering personalized and adapted orthotics to the patient and , at a relatively affordable cost. Two orthoses of the AFO Model were made, one static and the other dynamic. The average production time was relatively below the conventional method of making orthoses, taking into account from data acquisition to final manufacture, the AFO orthosis was completed in 28h and 58min, using 212g of filaments.

Keywords: rapid prototyping; 3D printing; 3D scanning.

1. Introdução

A paralisia cerebral (PC) é a disfunção no controle do movimento e da postura que se desenvolve a partir de danos não progressivos ao cérebro em desenvolvimento. Uma criança com PC frequentemente apresenta deformidades do sistema musculoesquelético. Essas deformidades podem surgir de (i) falta de controle motor, (ii) alinhamento biomecânico anormal, (iii) tempo de ativação muscular comprometido, (iv) equilíbrio muscular normal agonista/antagonista comprometido, (v) falta de geração de energia, e (vi) distúrbio do equilíbrio. Além da reabilitação e intervenção cirúrgica ortopédica, o manejo ortopédico pode prevenir e corrigir essas deformidades [4].

A busca por dispositivos que pudessem auxiliar o homem diante de perdas de segmentos do corpo ou perdas funcionais tem sido descrita desde épocas remotas, datadas de 3.500 a.C. Contudo, apenas a partir da guerra civil americana e das primeira e segunda guerras mundiais, quando ocorreu um maior compromisso dos governos em assistir seus soldados, puderam ser observado avanços nos processos relacionados às técnicas cirúrgicas das amputações e na confecção de Órtese Prótese ou Meio Auxiliar de Locomoção (OPM) [5]. No século passado, após a primeira guerra mundial, foram criados fóruns e instituições, como a Associação Americana de Órteses e Próteses, com a intenção de discutir e desenvolver padrões éticos, programas científicos e educacionais, além de alternativas para melhorar o relacionamento entre os protesistas e os profissionais da área da saúde. Avanços na restauração protética e ortética sempre vêm de múltiplas frentes, do desenvolvimento de novas técnicas cirúrgicas, da melhoria no tratamento de pré e pós-operatório, dos avanços na tecnologia de materiais,

design e técnicas utilizadas pela indústria de OPM e do melhor entendimento das implicações psicossociais decorrentes de perdas funcionais ou da perda de um membro [6].

Durante a década de 1980 foi o surgimento de um novo método de produção de objetos usando a fusão de camadas planas. Atualmente este modelo de fabricação é denominado por Manufatura Aditiva (MA). A MA permite a criação de diversos objetos com geometrias simples e complexas usando um modelo concebido tridimensionalmente [7].

De modo que a finalidade proposta desta pesquisa é de produzir Órteses do modelo AFO personalizada para obter um produto prático, funcional com uma boa resistência mecânica e com custo relativamente baixo. Assim eliminando problemas gerados pela órtese convencional. O novo modelo possuirá um novo design com furos estratégicos na parte de trás para que possa ocorrer a ventilação na superfície da pele buscando evitar doenças e entre outros problemas ocasionados pela órtese convencional.

2. Órteses

Pacientes com paralisia cerebral (PC) são os participantes mais comumente observados em laboratórios de marcha. Acredita-se que a PC seja a causa mais comum de deficiência física grave na infância, embora afete apenas dois a três por 1.000 nascidos vivos. A PC é caracterizada principalmente por anormalidades do sistema nervoso central, como perda do controle motor seletivo e tônus muscular anormal. Como resultado do crescimento, essas características primárias muitas vezes levam a déficits secundários, incluindo deformidades ósseas, contraturas musculares e anormalidades da marcha [8]. Além das intervenções cirúrgicas e terapêuticas, as

órteses desempenham um papel importante no manejo da criança com PC. Uma órtese é definida pela *International Standards Organization* como um dispositivo aplicado externamente usado para modificar as características estruturais e funcionais do sistema neuromuscular e esquelético. As órteses tornozelo-pé (AFO) são comumente prescritas para crianças com PC na tentativa de melhorar a marcha, são definidas como órteses que englobam a articulação de todo tornozelo ou parte do pé. As órteses AFO destinam-se a controlar o movimento, corrigir deformidades ou compensar fraquezas. Existe uma grande variedade de AFO utilizadas na prática clínica, que se caracterizam pelo seu desenho, pelo material utilizado e pela rigidez desse material [9]. A alteração de qualquer um desses três componentes alterará o controle que a AFO tem sobre a marcha do paciente. Demonstrou-se que a rigidez inerente de uma AFO desempenha um papel importante na determinação de sua função biomecânica e precisa ser ideal para influenciar positivamente a marcha patológica. A rigidez de uma AFO pode ser determinada por diversos fatores, como as propriedades mecânicas do material, as linhas de acabamento, a espessura do material e o formato da sua estrutura. Variação nas propriedades do material utilizado na fabricação de uma AFO pode influenciar na flexibilidade das articulações do tornozelo, está documentado na literatura atual que diferenças nas propriedades mecânicas da AFO ocorrem como consequência de variações relativamente pequenas no projeto [10].

Existem estudos amplos na literatura atual que estudaram uma variedade de resultados com relação ao uso de AFO em crianças com PC, incluindo parâmetros espaço temporais, gasto de energia, cinética, cinemática articular, transferências de sentar e levantar e capacidade de andar. Uma descrição detalhada da variação e eficácia das AFOs está além do escopo deste artigo, mas é amplamente descrita na literatura publicada. Há variabilidade quanto à eficácia das AFOs na marcha de crianças com PC, isso pode ser parcialmente devido ao design da órtese inadequado para corresponder à apresentação do paciente. A base de evidências para o uso de AFO em crianças com PC tem sido repetidamente descrita como de baixa qualidade [11].

2.1. Engenharia Reversa

O método de reproduzir uma parte efetiva, produtos sem desenhos, composição parcial, documentação ou um modelo de computador é denominado como Engenharia Reversa (ER). A ER pode ser determinada como o processo de obtenção de um modelo CAD tridimensional 3D, baseado da digitalização de uma referência física existente por meio de escaneamento de pontos ou nuvem de pontos. Pode-se descrever a ER como a definição básica de efetuar um produto inicial

em um modelo final ou físico sem a utilização de um desenho de engenharia. A ER é o método de recriar as geometrias de produtos manufaturados através da digitalização e modificar um modelo de CAD existente [12].



Figura 1: Fases de ER para geometrias. Fonte: (Raja-2008)

É possível determinar que a ER tem como o procedimento de gerar um objeto computacional, de duas ou três dimensões, derivando de uma referência real (produto parcial ou completo), em que, aplicativos coordenam os arquivos digitalizados. Considera-se aqui por aplicativos os *softwares* de desenho, medição ou manufatura. Isso possibilitará importar em determinados formatos os dados colhidos através da digitalização com apalpadores mecânicos ou leitores ópticos com a finalidade de gerar um modelo ou um protótipo, interligando mecanismos computacionais. Dentre as suas principais aplicações a ER está relacionada à atividade industrial que permite transformar os processos produtivos mais ágeis e flexíveis. Normalmente, as empresas que otimizam produtos, destinaram nas últimas décadas em CAD, CAM, RP e, perante uma série de novas tecnologias que, provem benefícios financeiros, reduzindo o tempo de aperfeiçoamento de produtos e fazendo-se mais competitivas. A engenharia reversa agora é vista como uma das tecnologias que mostram também tais benefícios, principalmente reduzindo o ciclo de concepção do produto [13].

2.2 Manufatura Aditiva

A manufatura aditiva (MA) é uma tecnologia mais recente que pode melhorar o processo de fabricação construindo camadas finas de materiais a partir de projetos tridimensionais digitalizados (3D) construídos

virtualmente usando software CAD avançado. Esta técnica permite a criação de novos tipos de objetos com propriedades materiais únicas [14]. Os produtos são confeccionados de forma livre, mesmo apresentando sua geometria simples ou complexa, desprezando as ferramentas de molde. As técnicas fabricação de MA são baseadas em Pó, Líquidos e Sólidos [15].

2.3. Modelagem por fusão e deposição

A modelagem por fusão e deposição (FDM), também conhecida como técnica de fabricação aditiva por extrusão de material, utiliza polímeros como matéria prima (filamento). O filamento geralmente é aquecido até o seu ponto de fusão e depois extrudado através do bico da máquina (impressora 3D). A cabeça do bico pode se mover nos eixos X e Y para depositar o polímero extrudado na placa de construção de acordo com as instruções do código G. O princípio do processo FDM é ilustrado em um diagrama esquemático na figura 2. Como mostrado, o filamento é continuamente alimentado através da extrusora e bocal da máquina através dos dois rolos girando em direções opostas. O material é depositado na placa de construção camada por camada até que a forma e o tamanho do produto sejam alcançados. Durante a estratificação, o bocal da impressora navega para frente e para trás de acordo com as coordenadas espaciais do modelo CAD original nos arquivos de código G até que o tamanho e a forma desejados do componente sejam produzidos. Em alguns sistemas FDM (impressoras 3D), vários bicos de extrusão podem ser usados para depositar os constituintes do polímero, especialmente nos casos em que são necessários componentes de gradientes composicionais. Normalmente, a resolução e a eficácia da extrusão dependem em grande parte das propriedades do filamento termoplástico e, como tal, diferentes impressoras 3D são projetadas para materiais de filamento específicos [16]. De fato, a maioria das impressoras 3D FDM de baixo custo podem processar apenas um tipo de termoplástico e o ácido polilático (PLA) é o material mais comum. Os componentes geralmente são colocados em camadas sobre a placa de construção (plataforma), que após a impressão pode ser removida por meio de quebra ou imersão em um detergente, dependendo do tipo de termoplástico. Em seguida, os componentes impressos podem ser limpos, lixados, pintados ou fresados para melhorar a aparência e a funcionalidade da superfície. [17].

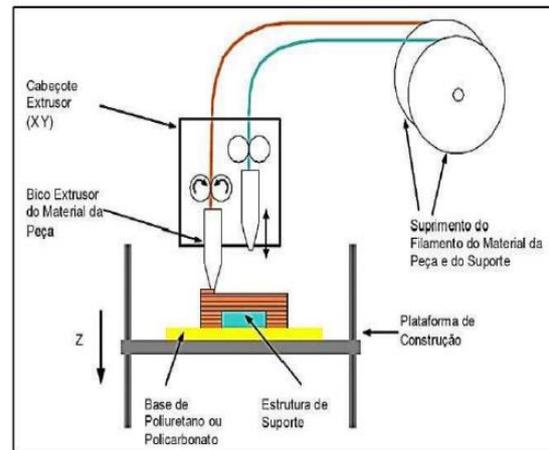


Figura 2: Princípio de MA Modelagem por Fusão e Deposição. Fonte: (Cangiclieri-2015)

2.4. Impressão 3D

No procedimento de manufatura aditiva, a impressão 3D se dá mediante a utilização de filamentos poliméricos e resina fotossensível. Neste caso, certos termoplásticos possuem o papel de formar copolímeros, para facilitar nas características do produto final a ser impresso. As características de rigidez, leveza, maleabilidade e resistência ao impacto são aspectos gerados por tal composição [18].

A técnica de SLA (*Stereolithography*) é baseada na polimerização de uma resina fotossensível, no qual um modelo CAD 3D é alterado em um arquivo de formato STL. A plataforma é elevada até seu topo e um laser ultravioleta é utilizado para curar a resina, modificando em uma camada sólida, na sequência a plataforma se desloca para baixo e uma nova camada é construída em seu topo [19].

3. Materiais e Métodos

Serão desenvolvidos dois exemplos de órteses para membros inferiores do modelo AFO (*Ankle-Foot-Orthoses*). A primeira órtese será do modelo AFO Estática, que é indicada para paralisia do músculo tibial anterior, comumente conhecido como pé caído. A segunda órtese será do modelo AFO Dinâmica, este tipo de órtese é indicado para pacientes com pé caído, mantendo a o pé em posição neutra e também permitindo dorsiflexões, ou seja, mantendo o tornozelo fixo em 90° ou articulado. O procedimento para digitalização do membro será realizado pela ER tempo de voo, esse exemplo de digitalização é realizado por um dispositivo de jogo utilizado para controlar movimentos no aparelho *Xbox one* produzido pela empresa *Microsoft Corporation*, esse dispositivo é denominado por *Kinect one*. Para modelagem e ajustes necessários será utilizado o programa *Zbrush* criado pela empresa *Pixologic*, onde será feita as correções da malha, a modelagem 3D e o aperfeiçoamento do *design*

da órtese. Para a MA das órteses será utilizada a impressora 3D da *Creality Cr10 V2* que utiliza a técnica de Modelagem por Fusão e Deposição montada para as impressões dos protótipos conforme ilustra a figura 3.

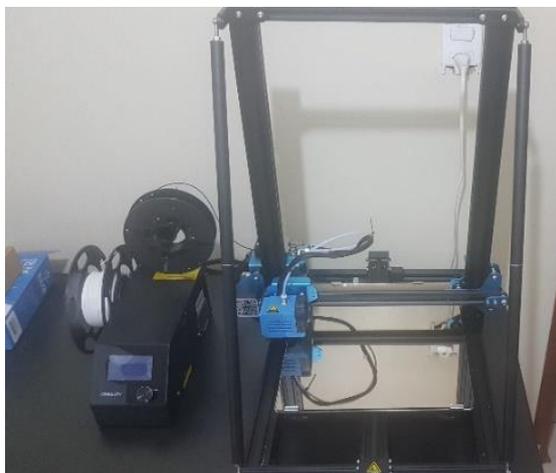


Figura 3: Impressora 3D utilizada na impressão das órteses. Fonte: Elaboração própria.

Os métodos desenvolvidos para esta metodologia foram produzidos em um computador gamer. Esta máquina possui uma tela LED de 24" 1 ms de 144hz, seu processador é um AMD Ryzen 5 3600X, sua placa de vídeo é do modelo NVIDIA Geforce RTX 2060 6gb, sua memória Ram é de 16gb, seu SSD de 1 Terabyte. O sistema Operacional é Windows 10.

4. Resultados e Discussões

Para a confecção da Órtese modelo AFO. A elaboração ocorreu baseado da importação das imagens DICOM do membro inferior, o programa forneceu uma perspectiva multiplanar do exame, mostrando três vistas divididas em fatias, sendo elas: uma fatia axial situada na parte a esquerda superior; uma fatia coronal situada a na parte esquerda inferior; uma fatia sagital situada a direita superior e uma quarta a direita na parte inferior onde mostra o volume gerado tridimensional do modelo captado conforme ilustra o exame na figura 4.

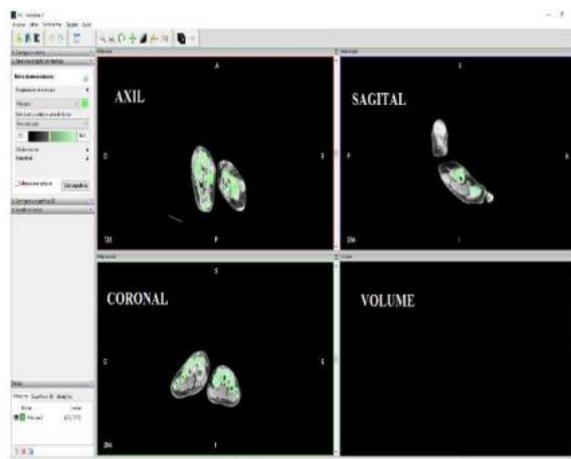


Figura 4: Imagens DICOM. Fonte: Elaboração própria.

Posteriormente o volume da superfície ser produzido, o arquivo tridimensional foi exportado para a modelagem e personalização da Órtese AFO. Os membros inferiores foram devidamente isolados no programa de modelagem Zbrush para a criação de uma nova malha superior buscando preservar as características do membro.



Figura 5: Reconstrução tridimensional do membro inferior. Fonte: Elaboração própria.

Com base nas características gerada pelo programa Zbrush foi gerada uma nova malha superficial, a malha inicial do modelo obtém 2 042 vértices, figura 6. O Zbrush é um programa de modelagem 3D feito para a criação de personagens, veículos ou qualquer tipo de objeto. O processo de modelagem pode ser feito através da retopologia, utilizando formas geométricas, ou, por modelagem, onde um objeto será criado a partir de uma esfera ou uma referência.

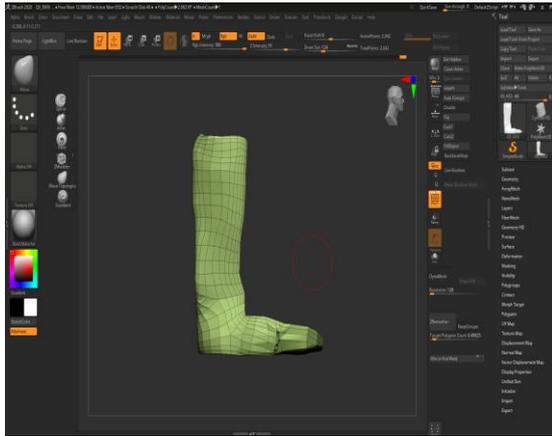


Figura 6: Malha inicial com 2042 vértices. Fonte: Elaboração própria.

A partir do modelo inicial pronto, foi modelado uma Órtese AFO Estática com um design moderno, proporcionando uma resistência mecânica de qualidade com furos de ventilação na parte posterior, melhorando os problemas de ventilação das órteses pré-fabricadas. O novo modelo possui uma malha mais densa com 202602 vértices, figura7.

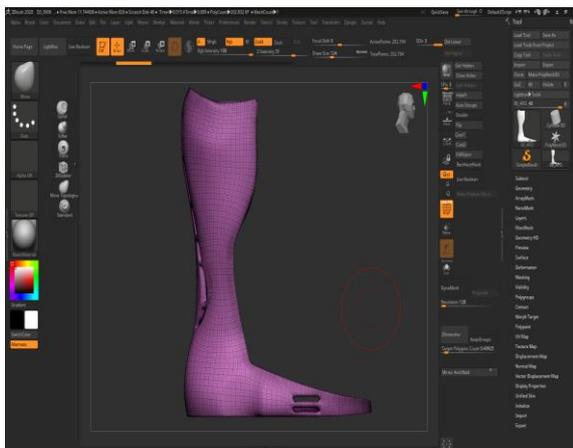


Figura 7: Malha final com 202602 vértices. Fonte: Elaboração própria.

Após a finalização do modelo no Zbrush, a prótese é salva em arquivo STL (Esteriolitografia), onde, será convertida em fatias para a impressão 3D. Foi utilizado o programa Ultimaker CURA para fazer a conversão do modelo em fatias, é um programa de fácil manipulação e gratuito, a figura 8 detalha o modelo fatiado.

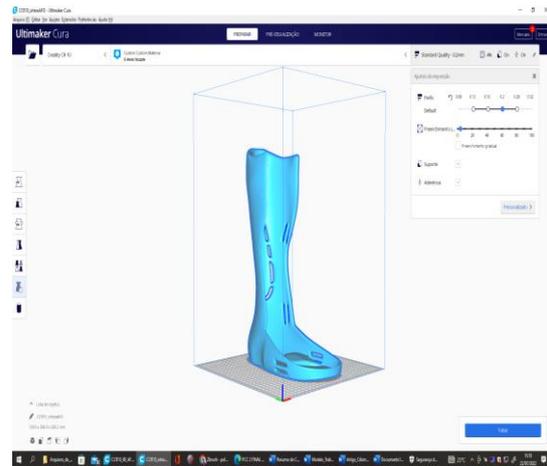


Figura 8: Modelo convertido em fatias no CURA. Fonte: Elaboração própria.

De modo que o resultado deste projeto a confecção de uma Órtese AFO estática para imobilizar o membro inferior, exibiu características adequadas. Empregando a técnica de ER o membro passou pelo processo de digitalização, modelagem e em seguida fabricada pela MA. Na figura 9 mostra a órtese AFO finalizada.



Figura 9: Órtese AFO estática impressa. Fonte: Elaboração própria.

O tempo de impressão ficou dentro do esperado para o tamanho do modelo, sua fabricação ficou em torno de 26h e 58min, utilizando 212g de filamentos. A órtese foi dimensionada para uma pessoa adulta com a numeração 37. Na figura 10 mostra a órtese AFO sendo testada no pé do paciente examinado.



Figura 10: Órtese AFO fixada ao paciente. Fonte: Elaboração própria.

5. Conclusão

Podemos concluir que é provável empregar as técnicas de MA e ER na fabricação de órteses personalizadas, empregando exames do próprio paciente como a ressonância magnética e tomografia computadorizada. Para modelos mais simples, pode-se coletar rapidamente a superfície de um membro afetado com um equipamento tempo de voo e modificando em um arquivo tridimensional para a otimização de uma órtese. O método de fabricação camada por camada acelera a obtenção de criar geometrias simples e até as mais complexas. Com as diversas tecnologias modernas como a ER e a MA é capaz de adquirir uma órtese personalizada com as características de cada paciente sem perder detalhes, gerando assim, um melhor conforto. Na atualidade já estão disponíveis diversos materiais e dispositivos para impressão 3D com o custo relativamente acessível, materiais como o PLA, ABS, TPU e PETG são os mais procurados. As impressoras mais adquiridas são as do modelo FDM. Podendo deste modo, trabalhar com diversas formas geométricas e objetos com inúmeras características de uma maneira geral mais simples.

6. Referências

- [1] Manrique D, Sato J, Salivary gland surgery for control of chronic pulmonary aspiration in children with cerebral palsy. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*; 73(9): 1192-4, Sep, 2009.
- [2] Branco, P.S. et al. *Temas de Reabilitação: Órteses e Outras Ajudas Técnicas*. Servier, Porto: 2008.
- [3] Cardoso, C.M.C.; BARBOSA, D.M.; SILVA, P.N. Órteses: Conceitos, Tipos e Produção. In: BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Gestão do Trabalho e da Educação na Saúde. Técnico em Órteses e Próteses: Livro-Texto. Brasília: Ministério da Saúde, 2014.
- [4] Diamond M, Armento M. Children with disabilities. In: DeLisa JA, Gans BM, editors. *Physical medicine & rehabilitation principles and practice*. 4th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2005. p. 1493-518.
- [5] Norton, K. M. A Brief History of Prosthetics. In *Motion*, v. 17, n.7, 2007. Disponível em: Acesso em 12 nov. 2018.
- [6] Morris C. Definition and classification of cerebral palsy: a historical perspective. *Developmental Medicine & Child Neurology*. 2007; 49:3-7.
- [7] Ahrens, Carlos Henrique, et al, "Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações", Edgard Blucher, 2007.
- [8] Gage JR, Novacheck TF. An update on the treatment of gait problems in cerebral palsy. *J Pediatr Orthop B* 2001; 10:265-274.
- [9] Michael JW. *Lower limb orthoses*. In: Hsu JD, Michael JW, Fisk JR, eds. *AAOS Atlas of orthoses and assistive devices*. Fourth ed. Philadelphia, PA: Mosby Elsevier, 2008:343-355.
- [10] DeToro WW. Plantarflexion resistance of selected ankle-foot orthoses: A pilot study of commonly prescribed prefabricated and custom-moulded alternatives. *J Prosthet Orthot* 2001; 13:39-44.
- [11] Morris C. A review of the efficacy of lower-limb orthoses used for cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol* 2002; 44:205-211.
- [12] Raja, I., Vinesh II, F., and Kiran, J., 2008, "Reverse engineering: an industrial perspective". London: Springer – Verlag. pp. 1-8 (ISBN: 978-1-84628-855-5).
- [13] Santos, Marcelo Augusto Rozan dos, "Engenharia Reversa: um método orientado a imobilizadores ortopédicos", 2016.
- [14] Volpato, Neri, "Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações", Edgard Blucher, 2007.
- [15] Canciglieri Junior, Osiris, Selhorst Junior, Aguilar, & Sant'Anna, Ângelo Márcio Oliveira, "Método de decisão dos processos de prototipagem rápida na concepção de novos produtos", *Gestão & Produção*, 22.2:345-355, 2015.
- [16] Martins, J. R. *Manufatura Rápida - Avaliação das Tecnologias de Impressão 3D e FDM na Fabricação de Moldes Rápidos*. 2005. 126p. Dissertação (Mestrado –

Projeto Mecânico) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

[17] Canciglieri Junior, Osiris, Selhorst Junior, Aguilar, & Sant’Anna, Ângelo Márcio Oliveira, “Método de decisão dos processos de prototipagem rápida na concepção de novos produtos”, *Gestão & Produção*, 22.2:345-355, 2015.

[18] Abreu, Sofia Alexandra Chaves. *Impressão 3D baixo custo versus impressão em equipamentos de elevado custo*. 2015.

[19] Caligano, Flaviana et al. Overview on additive manufacturing technologies. *Proceedings of the IEEE*, v. 105, n. 4, p. 593-612, 2017.