

PRODUÇÃO PERSONALIZADA DE ÓRTESE PARA PÉ TORTO CONGÊNITO POR TECNOLOGIAS DE BAIXO CUSTO

Maria Fernanda Pioli Torres

Sérgio Fernando Lajarin

Carlos Henrique Ramos

Universidade Federal do Paraná (UFPR). Centro Politécnico, Jardim das Américas, Curitiba/PR.

torres.fernanda88@gmail.com; fer.espanhol@gmail.com; chramos5673@gmail.com

Bruno Benegra Denadai

Carolina Pulido Arce

Rafaela Yukari Sakai

José Aguiomar Foggiatto

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Ecoville, Curitiba/PR.

bruno.2000@alunos.utfpr.edu.br; carolinaarce@alunos.utfpr.edu.br; rafaelasakail@alunos.utfpr.edu.br;

foggiatto@utfpr.edu.br

Resumo. Órteses são dispositivos utilizados para alinhar, estabilizar e corrigir deformidades de uma parte do corpo. Este estudo propõe utilizar a digitalização das pernas e pés de uma criança para a fabricação de órteses por manufatura aditiva. A anatomia foi obtida por escaneamento com scanner Sense® para a geração da superfície 3D a partir da qual as órteses foram modeladas no Meshmixer®. A impressão em TPU foi realizada em uma impressora Ender-3 Pro do NUFER da UTFPR. As órteses apresentaram características adequadas para a correção da posição dos pés demonstrando que a produção personalizada é viável empregando-se tecnologias de baixo custo.

Palavras chave: Manufatura aditiva. Impressão 3D. Pé torto congênito. Órtese.

1. INTRODUÇÃO

Tecnologia Assistiva (TA) abrange recursos e serviços que beneficiam pessoas com deficiência cujo objetivo é promover qualidade de vida, independência, autonomia e inclusão social. Existem diversas categorias de TA com objetivos diferentes, entre elas estão aquelas que auxiliam no cotidiano, na acessibilidade tecnológica, no controle de ambientes, em projetos arquitetônicos para acessibilidade e mobilidade, órteses e próteses, adequação postural, auxílio para ampliação da função visual e recursos que traduzem conteúdos em áudio, língua de sinais ou informação tátil, além de beneficiar atividades esportivas e de lazer (Bersch 2017).

No caso das órteses, termo de origem grega que significa “tornar correto”, o objetivo é alinhar, apoiar, posicionar e corrigir deformidades visando melhorar a funcionalidade de um determinado segmento do corpo (Edelstein; Buckner, 2002) que pode ser membros superiores, membros inferiores, coluna vertebral e também para proteger regiões afetadas por queimaduras. Também existem as órteses cirúrgicas internas como pinos, parafusos e placas (Bersch, 2017).

As órteses podem ser pré-fabricadas ou personalizadas. As pré-fabricadas são produzidas em larga escala e podem ser encontradas em lojas de produtos ortopédicos disponíveis em tamanhos padrão, o que pode comprometer a efetividade do tratamento por não possuírem tamanhos e ajustes adequados a cada paciente. Essas órteses genéricas são mais vantajosas do que as personalizadas em termos de custo e rapidez de fabricação, porém, não permitem variação de tamanhos ou ajustes para cada paciente podendo comprometer a efetividade do tratamento (Paterson *et al.*, 2017).

Já as órteses personalizadas são produzidas a partir de um processo que envolve etapas de obtenção do molde negativo da região em atadura gessada, obtenção do molde positivo também em gesso, e confecção da órtese em material termoplástico por processo de termomoldagem a vácuo que é um processo demorado, produz grande quantidade de resíduos de gesso, requer mão de obra e maquinário especializado, o tempo de fabricação é longo e o custo é maior. Entretanto, as órteses personalizadas adaptam-se anatomicamente ao usuário o que garante maior conforto (Paterson *et al.*, 2017).

Nesse contexto, a Manufatura Aditiva (AM, do inglês *Additive Manufacturing*) e a digitalização 3D têm sido aplicadas para aprimorar o processo de fabricação de órteses personalizadas. A AM ou impressão 3D é um processo de fabricação baseado no princípio de adição de material camada a camada que envolve diferentes tecnologias com diferentes custos e particularidades (Volpato; Carvalho, 2017). A digitalização 3D consiste em transformar geometrias obtidas de modelos reais em modelos digitais e pode ser aplicada ao corpo humano de maneira direta sobre o próprio membro, ou indireta pela utilização de um molde (Telfer *et al.*, 2012).

Dentre as deformidades com indicação para o uso de órtese está a condição denominada de *Talipes equinovarus* ou pé torto congênito (PTC), que consiste em uma deformidade complexa causada pelo desenvolvimento anormal dos ossos, ligamentos e músculos durante a gestação muito prevalente em todo o mundo. Essa deformidade é caracterizada por

tendões dos pés curtos e tensos, o que, na maior parte dos casos, gera adução do pé. A maioria dos casos é tratada logo na infância com sucesso por métodos não cirúrgicos que incluem a utilização de órteses que devem ser trocadas periodicamente durante o tratamento, que dura em média 3 anos (Andreoli *et al.*, 2014).

As órteses de tornozelo e pé (AFO) podem ser do tipo articuladas ou não articuladas, de forma que a órtese permita ou restrinja o movimento da articulação respectivamente, dependendo da necessidade do tratamento e do quadro clínico do paciente. Órteses não articuladas controlam pés e tornozelos flácidos, oferecem resistência para o caso de contrações involuntárias dos músculos da região e podem ser usadas por pacientes com ou sem marcha. Já as órteses articuladas permitem movimentação livre ou limitada do movimento de flexão do membro (Edelstein; Bruckner, 2002). Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi digitalizar a anatomia de uma paciente, planejar virtualmente e fabricar um par de órteses não-articuladas, personalizadas, com tecnologias de baixo custo para uma menina que tem indicação para o uso de AFO para a correção de PTC.

2. METODOLOGIA

I.L., sexo feminino, 2 anos e 6 meses de idade, com diagnóstico de PTC recebeu indicação para o uso de órteses AFO não articuladas para correção da adução bilateral dos pés. Para a obtenção da anatomia dos membros inferiores da paciente foi realizada digitalização direta com o scanner manual Sense RS da 3D Systems que gerou uma superfície em 3D de malha triangular salva na extensão STL (do inglês *STereoLithography*). O arquivo STL foi importado pelo programa Meshmixer® (Autodesk, 2021) para o tratamento da malha de triângulos que consistiu em conferência da escala, delimitação da área de interesse, correção dos defeitos e suavização das bordas. A partir da correção da malha e delimitação das superfícies dos pés direito e esquerdo, foi realizado planejamento virtual da órtese. Nessa etapa, foram realizadas torções na malha de forma a reproduzir a posição ideal dos pés e forçar a correção angular e sua abdução, deslocamento paralelo (*offset*) da malha e espessamento da superfície.

A correção angular na órtese foi realizada selecionando-se segmentos transversais da sola e tornozelo e aplicando-se torções com a ferramenta “Transform” conforme pode ser visto na Fig. 1. Na região do pé, três seções foram rotacionadas em torno de 10° médio e na região do tornozelo uma seção foi rotacionada 12°.

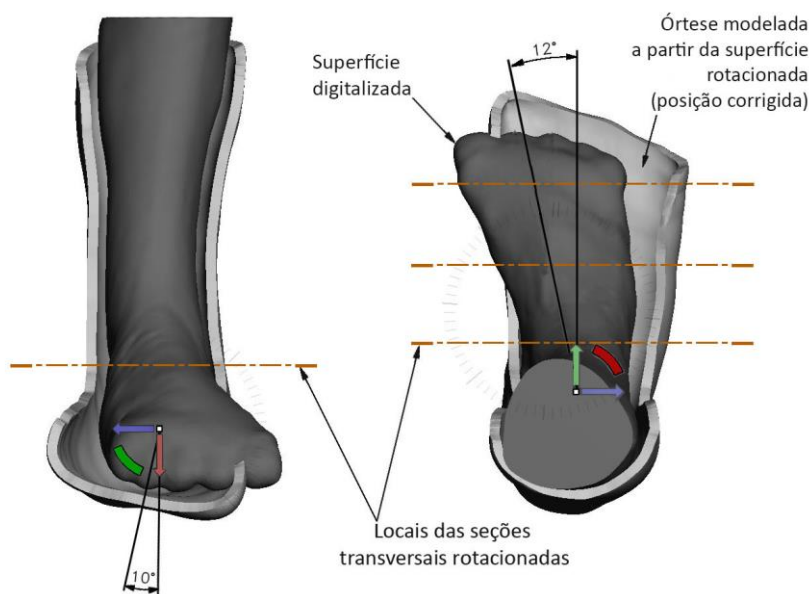


Figura 1. Posição aduzida do pé direito digitalizado e órtese modelada com torção para forçar a abdução.

Para promover maior conforto, a superfície original foi aumentada aplicando-se um *offset* de 3,5 mm para fora, de modo que esse espaço fosse ocupado pelo material de revestimento Espuma Vinílica Acetinada (EVA) com 3 mm de espessura e sobrasse uma folga de 0,5 mm. Em seguida, foi realizado o espessamento da superfície para a geração de um corpo sólido pela extrusão de 3,5 mm a partir da superfície externa aumentada do modelo criando-se, assim, o modelo geométrico 3D da órtese para a fabricação (Fig. 2).

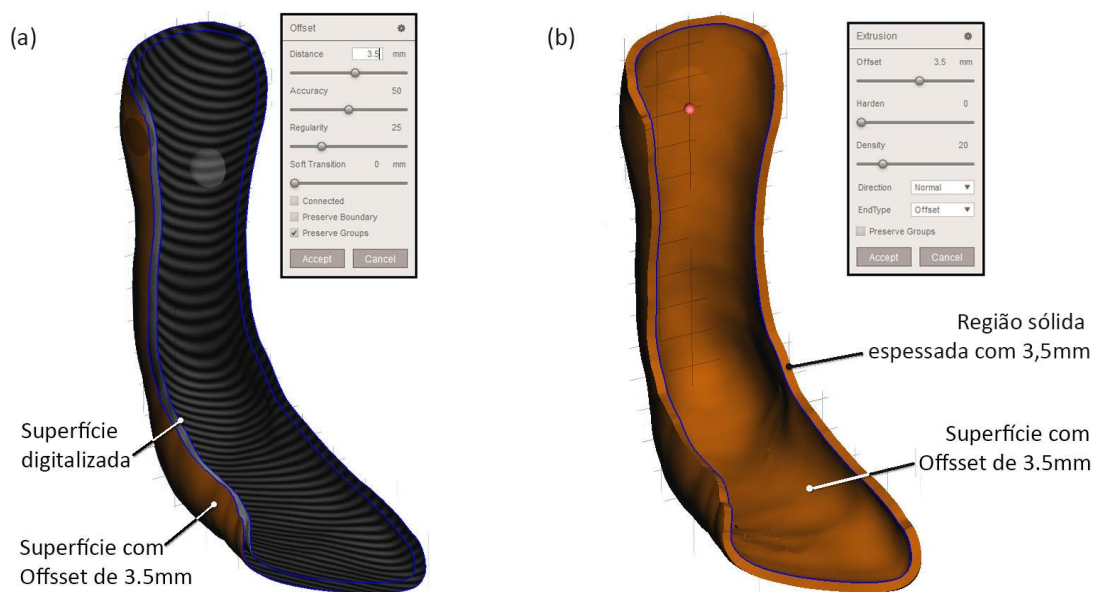


Figura 2. Edição da malha, em (a) aumento da superfície por *offset*, em (b) espessamento da parede por extrusão.

Foi utilizado na fabricação por AM o filamento flexível de Poliuretano Termoplástico (TPU) que é um dos produtos mais versáteis dentro do grupo dos termoplásticos de engenharia com propriedades de elastômero. Foi utilizada uma impressora 3D de extrusão de material da marca Creality Ender3 com volume de impressão de 22 cm x 22 cm x 25 cm (largura, comprimento e altura, respectivamente). O planejamento do processo foi feito no *software* Simplify3D (Simplify3D Inc, 2021) e os parâmetros do processo são apresentados na Tabela 1.

Após a impressão, um material de conforto EVA foi adicionado na superfície interna da órtese usando cola de contato. Argolas e alças feitas de velcro e couro sintético foram usadas para fixação após vestimenta.

Tabela 1. Parâmetros do processo definidos na impressão da OTLS e informações relacionadas.

Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor
Altura da camada	0,3 mm	Altura da 1ª camada	100%
Temperatura de impressão	230°C	Largura da 1ª camada	100%
Temperatura da mesa de impressão	60°C	Temperatura da 1ª camada	235°C
Veloc. de extrusão geral	15 mm/s	Direção impres. de contornos	Dentro-fora
Veloc. de extrusão na 1ª camada	10 mm/s	Padrão de preenchimento	Linear cruzado
Veloc. de extrusão contornos	15 mm/s	Distância de retração	0
Veloc. de extrusão preenchimento	15 mm/s	Velocidade de retração	0
Contornos sólidos na parede	4	Diâmetro do filamento	1,75 mm
Camadas sólidas no piso	4	Utilização de ventilador	100%
Camadas sólidas no teto	4	% de preenchimento	100%

3. RESULTADOS

Em virtude da idade da criança, a obtenção da anatomia por digitalização foi um processo desafiador e que exigiu tempo e persistência. Apesar da digitalização dos pés e pernas ter sido bem-sucedida do lado direito, gerando uma superfície que representou satisfatoriamente as suas características anatômicas (Fig. 3), a superfície 3D gerada a partir da digitalização do lado esquerdo apresentou falhas que foram corrigidas com ferramentas do Meshmixer® (Autodesk, 2021).

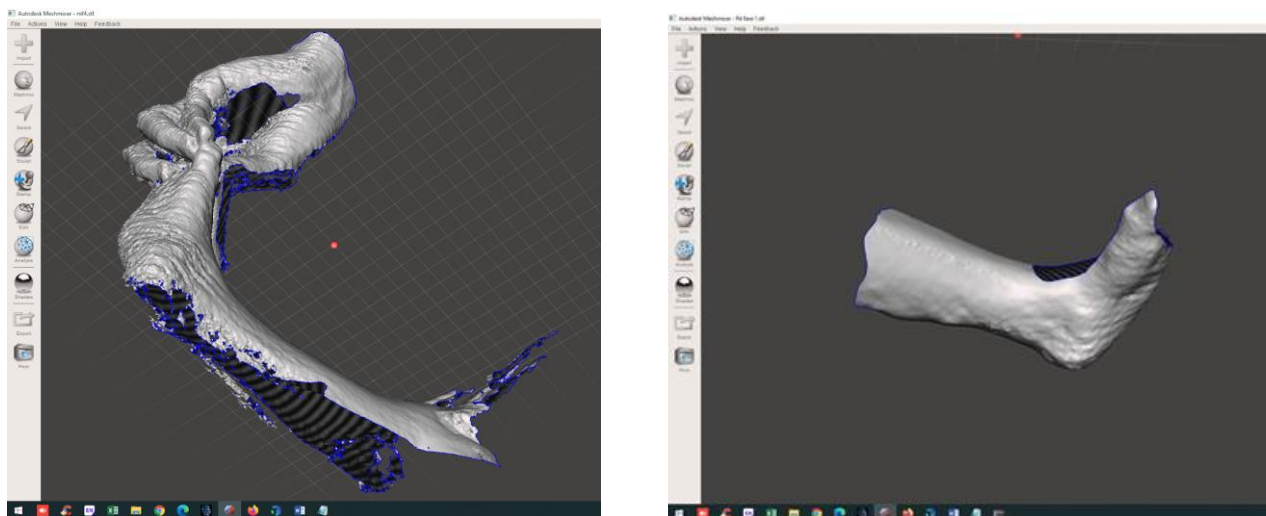


Figura 3. Superfície 3D importada no programa Meshmixer® (esquerda) e após a reconstrução da geometria do pé direito (direita).

O cuidadoso processo de modelagem das órteses garantiu que a anatomia das pernas e das faces plantares dos pés fossem preservadas proporcionando maior conforto que também foi garantido pela utilização de material flexível e resistente. Nesse sentido, o preenchimento de 100% na impressão reduziu a flexibilidade das paredes para que a resistência fosse suficiente para forçar os pés no sentido lateral resultando na abdução indicada no tratamento (Fig. 4).



Figura 4. Resultado da ação da órtese, em (a) pé esquerdo sobre a órtese sem abdução forçada, em (b) posicionado na órtese demonstrando abdução antes da colocação dos recursos para a fixação e em (c) órtese finalizada em uso.

As órteses foram impressas em um tempo médio de impressão de 10 horas e foram utilizados 81,61g de TPU a um custo de R\$250,00 por quilo, o que resultou em um par de órteses a um custo reduzido em termos de mercado.

Após 4 meses de uso, uma avaliação da satisfação do usuário foi respondida pela mãe da paciente. Foi aplicado o questionário (B-QUEST 2.0) proposto por Demers, Weiss e Ska (2002) e traduzido para o português por Carvalho, Goes Junior e Sá (2014). O questionário contém doze perguntas sobre o grau de satisfação com o produto de TA e os serviços relacionados. As respostas são dadas em uma escala de 1 a 5, onde: 1-Insatisfeito, 2-Pouco satisfeito, 3-Mais ou menos satisfeito, 4-Bastante satisfeito e 5-Totalmente satisfeito. As respostas e comentários são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Resultado das doze perguntas sobre o grau de satisfação do B-QUEST

Nº	Qual é o seu grau de satisfação com:	Resposta	Comentários:
1	As dimensões (tamanho, altura, comprimento, largura) do recurso de TA?	5	

2	O peso do seu recurso de TA?	5	
3	A facilidade de ajustar (fixar, afivelar) as partes do recurso de TA?	5	
4	A estabilidade e a segurança do recurso de TA?	5	
5	A durabilidade (força e resistência ao desgaste) do seu recurso de TA?	3	Apresentou leve deformação permanente no sentido da torção dos pés da paciente, mas não comprometeu o uso.
6	A facilidade de uso do seu recurso de TA?	5	
7	O conforto do seu recurso de TA?	5	
8	A eficácia do seu recurso de TA (o quanto seu recurso atende às suas necessidades)?	4	A leve deformação permanente da órtese após alguns meses pode comprometer a eficácia.
9	O processo de entrega (procedimentos, tempo de espera) pelo qual obteve o recurso de TA?	5	
10	Reparos e a assistência técnica (manutenção) prestados para o recurso de TA?	5	
11	A qualidade dos serviços profissionais (informações, atenção) que você recebeu pelo uso do recurso de TA?	5	
12	Os serviços de acompanhamento (serviços de suporte contínuos) recebidos para o recurso de TA?	5	

A órtese foi avaliada com grau de satisfação máxima em 10 dos 12 itens avaliados. O item 8 avaliado como 4- Bastante satisfeito e o item 5 como 3- Mais ou menos satisfeito tem relação a uma leve deformação apresentada na órtese após um mês de uso. Algumas alternativas para contornar esse problema serão avaliadas em trabalhos futuros, tais como: Testar filamento de TPU de maior dureza, aumentar a espessura da órtese e testar materiais mais rígidos.

3. CONCLUSÕES

A modelagem e a impressão das órteses não articuladas de tornozelo e pé a partir da digitalização da anatomia da criança produziram um produto de tecnologia assistiva avaliado com grau de satisfação máxima em 10 dos 12 itens avaliados. Os dois itens com menor grau de satisfação serão avaliados em trabalhos futuros. Os parâmetros de impressão definidos resultaram na fabricação de órteses eficientes do ponto de vista clínico, confortáveis e acessíveis financeiramente diante da necessidade frequente de substituição em função do desgaste e crescimento da criança. Adicionalmente, foi possível concluir que as tecnologias, recursos e materiais de baixo custo de digitalização e de AM produziram resultados satisfatórios e reproduzíveis desde que se disponha de uma impressora 3D com capacidade para imprimir as dimensões da órtese.

4. REFERÊNCIAS

- Andreoli, E., Troiani, A., Tucci, V. *et al.*, 2014. "Osteopathic manipulative treatment of congenital talipes equinovarus: A case report". *Journal of Body & Movement Therapies*, v. 18, n. 1, p. 4-10.
- Autodesk, 2021. "Meshmixer®". 05 Fev. 2021. <<http://www.meshmixer.com/>>.
- Bersch, R., 2017. "Introdução a Tecnologia Assistiva". 03 Dez. 2020. <http://www.assistiva.com.br/Introducao_Tecnologia_Assistiva.pdf>
- Carvalho, K.E.C., Goes Junior, M.B., Sa, K.N. 2014. "Tradução e validação do Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology (QUEST 2.0) para o idioma português do Brasil". *Rev. Bras. Reumatol.*, vol.54, n.4, pp.260-267.
- Demers, L., Weiss, R., SKA, B., 2002. "The Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology (QUEST 2.0): An overview and recent progress". *J Tech Disab.* 14:101-105.
- Edelstein, J. E.; Bruckner, J., 2002. *Orthotics: a comprehensive clinical approach*. Thorofare, EUA: Slack Incorporated.
- Paterson, A.; Bibb, R.; Downey, K.; Pallari, J. "Products: Designing products for chronic health". In: *Design for Health*. 1ª edição.
- Simplify3D Inc, 2021. 26 Abr. 2021. <<https://www.simplify3d.com/>>.
- Telfer, S.; Gibson, K. S.; Hennessy, K. *et al.*, 2012. "Computer-Aided Design of Customized Foot Orthoses: Reproducibility and Effect of Method Used to Obtain Foot Shape". *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, New York, v. 93, p. 863-870.
- Volpato, N; Carvalho, J. de, 2017. "Introdução à Manufatura Aditiva ou Impressão 3D". In: *Manufatura Aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3D*. São Paulo: Blucher, p. 15-30.

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

Custom Manufacturing of Clubfoot Orthosis by Low Cost Technology

Maria Fernanda Pioli Torres

Sérgio Fernando Lajarin

Carlos Henrique Ramos

Universidade Federal do Paraná (UFPR). Centro Politécnico, Jardim das Américas, Curitiba/PR.

torres.fernanda88@gmail.com; fer.espanhol@gmail.com; chramos5673@gmail.com

Bruno Benegra Denadai

Carolina Pulido Arce

Rafaela Yukari Sakai

José Aguiomar Foggiatto

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Ecovile, Curitiba/PR.

bruno.2000@alunos.utfpr.edu.br; carolinaarce@alunos.utfpr.edu.br; rafaelasakail@alunos.utfpr.edu.br; foggiatto@utfpr.edu.br.

Abstract. Orthoses are devices used to align, stabilize, and correct deformities of a part of the body. This study proposes to use the digitalization of the legs of a child's feet for the manufacture of orthoses by additive manufacturing. The anatomy was obtained by scanning with a Sense® scanner to generate the 3D surface from which the orthoses were modeled in Meshmixer®. TPU printing was done on an Ender-3Pro printer from UTFPR's NUFER. The orthoses showed adequate characteristics to correct the position of the feet, demonstrating that low-cost production is viable using low-cost technology.

Keywords: Additive manufacturing, 3D printing, clubfoot, orthosis.

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.