

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA E DE
MATERIAIS**

JÉSSICA CRISTINA DIAS DOS SANTOS FORTE HENSEN

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROCEDIMENTO PARA A FABRICAÇÃO DE
ÓRTESES NÃO ARTICULADAS DE TORNOZELO E PÉ POR MANUFATURA
ADITIVA**

DISSERTAÇÃO

CURITIBA

2019

JÉSSICA CRISTINA DIAS DOS SANTOS FORTE HENSEN

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROCEDIMENTO PARA A FABRICAÇÃO DE
ÓRTESES NÃO ARTICULADAS DE TORNOZELO E PÉ POR MANUFATURA
ADITIVA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestra em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. José Aguiomar Foggiatto

CURITIBA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Hensen, Jéssica Cristina Dias dos Santos Forte

Desenvolvimento de um procedimento para a fabricação de órteses não articuladas de tornozelo e pé por manufatura aditiva [recurso eletrônico] / Jéssica Cristina Dias dos Santos Forte Hensen.-- 2019.

1 arquivo texto (164 f.): PDF; 5,05 MB.

Modo de acesso: World Wide Web

Título extraído da tela de título (visualizado em 06 maio 2019)

Texto em português com resumo em inglês

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Curitiba, 2019

Bibliografia: f. 102-110

1. Engenharia mecânica - Dissertações. 2. Aparelhos ortopédicos - Produção. 3. Prótese - Produção. 4. Modelagem de produtos. 5. Impressão tridimensional. 6. Equipamentos de autoajuda para deficientes. 7. Tornozelos. 8. Membros artificiais. 9. Pés. I. Foggiatto, José Aguiomar. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais. III. Título.

CDD: Ed. 23 – 620.1

Biblioteca Central da UTFPR, Câmpus Curitiba
Bibliotecário: Adriano Lopes CRB-9/1429

TERMO DE APROVAÇÃO DE DISSERTAÇÃO Nº354

A Dissertação de Mestrado intitulada: **DESENVOLVIMENTO DE UM PROCEDIMENTO PARA A FABRICAÇÃO DE ÓRTESES NÃO ARTICULADAS DE TORNOZELO E PÉ POR MANUFATURA ADITIVA**, defendida em sessão pública pela Candidata **Jéssica Cristina Dias dos Santos Forte Hensen**, no dia 15 de março de 2019, foi julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia, área de concentração: Engenharia de Manufatura, e aprovada em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais – PPGEM.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. José Aguiomar Foggiatto - Presidente - UTFPR

Prof^a. Dr^a. Carla Cristina Amódio Estorilio - UTFPR

Prof^a. Dr^a. Maria Lucia Leite Ribeiro Okimoto - UFPR

A via original deste documento encontra-se arquivada na Secretaria do Programa, contendo a assinatura da Coordenação após a entrega da versão corrigida do trabalho.

CURITIBA, ____ de _____ de 20__.

Carimbo e assinatura do Coordenador do Programa

Dedico esse trabalho ao meu esposo, Vagner Forte Hensen, e aos meus pais, Eros Schimerski dos Santos e Nadja Janete Polli Dias dos Santos, por todo apoio, colaboração e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, principalmente, porque sem Ele e sem seu infinito amor eu não teria forças para essa longa jornada. Agradeço-O também pela capacitação e oportunidade de realização desse projeto que me permitiu aplicar o segundo mandamento.

Aos meus colegas de pós-graduação, Paloma Hohmann Poier e Marcelo Shigueoka que, além do apoio, me auxiliaram em questões técnicas durante o período do mestrado. Aos alunos Bruna Woltmann e Marcel Eiji pelo auxílio na parte prática na clínica e também no laboratório, e aos demais alunos que também colaboraram de alguma forma. Aos profissionais da Clínica Vitória que permitiram e colaboraram para a realização do trabalho em parceria; em especial à fisioterapeuta Fernanda Ferreira Lang que compartilhou seu conhecimento sobre órteses e se dispôs a colaborar no processo de aquisição de anatomia de todas as crianças do estudo.

Ao Professor Dr. José Aguiomar Foggiatto pela sua orientação durante a realização desse trabalho. Agradeço às professoras da banca examinadora pela atenção e contribuição dedicadas a este estudo.

Registro também, o meu reconhecimento especial à minha família, sem o apoio e contribuição deles seria muito difícil vencer esse desafio e dificilmente chegaria aonde cheguei. Agradeço aos meus pais, Sr. Eros Santos e Sra. Nadja Santos, pelo incentivo desde a infância e também a partir da realização do curso Técnico em Mecânica, seguindo no curso de Engenharia Mecânica na Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Agradeço ao meu esposo, Vagner Hensen, que também se dispôs para o que fosse necessário e que sempre me motivou a não desistir em meio às dificuldades. Aos três, que foram fundamentais para a realização e finalização desse trabalho, minha completa gratidão.

“Amarás, pois, ao Senhor teu Deus de todo o teu coração, e de toda a tua alma, e de todo o teu entendimento, e de todas as tuas forças; este é o primeiro mandamento. E o segundo, semelhante a este, é: Amarás o teu próximo como a ti mesmo. Não há outro mandamento maior do que estes.”

(BÍBLIA, Marcos, 12, 30-31)

RESUMO

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.

Órteses de membro inferior são dispositivos assistivos comumente prescritos pelos médicos para auxiliar no tratamento de pacientes com deficiência motora ou com deformidades nos membros inferiores. Essas visam melhorar a função do membro e impedir a progressão da deformidade. Elas podem ser compradas em tamanhos padrão ou serem fabricadas especificamente para o usuário, ou seja, personalizadas. Tradicionalmente, essas órteses personalizadas são fabricadas por um processo que muitas vezes não resulta em uma órtese confortável ou atraente para o paciente, desestimulando o uso. Aliando tecnologias de Digitalização 3D à Manufatura Aditiva (AM), também conhecida como impressão 3D, é possível fabricar produtos anatômicos. Dessa forma, essas tecnologias podem contribuir na fabricação de órteses de tornozelo e pé (AFO) anatômicas e também personalizados de acordo com os desejos do usuário. O presente estudo visa desenvolver um procedimento para a fabricação de órteses não articuladas de tornozelo e pé por Manufatura Aditiva. A pesquisa foi dividida em três fases principais: revisão bibliográfica, desenvolvimento do procedimento, com base na revisão bibliográfica; e aplicação e avaliação dos produtos fabricados por meio do procedimento desenvolvido. Uma revisão bibliográfica foi realizada tanto sobre os procedimentos já existentes para fabricação de órteses por AM, bem como as órteses AFO e órteses de pé (FO) que já foram produzidas por Manufatura Aditiva. Um método de desenvolvimento de órteses personalizadas para membros superiores por AM foi adaptado para aplicação à órteses de membros inferiores. As etapas envolvidas no processo de desenvolvimento de órteses de tornozelo e pé foram: aquisição da geometria; digitalização 3D; tratamento da malha; modelagem 3D; planejamento do processo; impressão 3D; pós-processamento; entrega e avaliação. Como a aquisição de modernos equipamentos ainda é uma limitação considerando a realidade brasileira, buscou-se utilizar apenas tecnologias de baixo custo, tais como o sensor Kinect 360 para a digitalização 3D e a impressora 3D Anet[®] A8 DIY, baseada no princípio de extrusão de material. O método desenvolvido foi aplicado no desenvolvimento de órteses AFO para quatro crianças de um a quatro anos, atendidas no Centro Vitória em Curitiba/PR. Como resultados do estudo, obteve-se, primariamente, o procedimento para a fabricação de órteses de tornozelo e pé por AM e também quatro pares de órteses não articuladas de tornozelo e pé, ou seja, um par para cada criança atendida, que comprovaram a efetividade do procedimento. As órteses fabricadas em TPU (poliuretano termoplástico) por impressão 3D foram aprovadas pelos fisioterapeutas em avaliações estáticas e resistiram aos esforços durante a fisioterapia. Uma avaliação da satisfação foi realizada obtendo-se a opinião dos responsáveis e dos fisioterapeutas por meio do questionário B-QUEST e de um questionário complementar, em relação a satisfação deles com a órtese convencional bem como com a órtese impressa. Foi possível perceber que a satisfação foi maior tanto para os responsáveis quanto para os fisioterapeutas para as órteses fabricadas por impressão 3D, sendo que para esses últimos os resultados apresentaram-se em média 18% maiores do que para as órteses tradicionais. O tempo máximo envolvido na fabricação de cada órtese foi de duas

semanas e o custo dos materiais de cada órtese foi de menos de R\$50. Com a avaliação das órteses produzidas pode-se afirmar que o procedimento desenvolvido foi adequado, atingindo o objetivo da pesquisa.

Palavras-chave: Digitalização 3D. Manufatura Aditiva. Tecnologia Assistiva. Órteses de membro inferior. Órteses de tornozelo e pé.

ABSTRACT

HENSEN; Jéssica C. D. dos S. F. **Development of a manufacturing procedure for non-articulated ankle-foot orthoses by Additive Manufacturing.** 2019. 172f. Dissertation (Master Degree in Mechanical Engineering) – Federal University of Technology – Paraná. Curitiba, 2019.

Lower limb orthoses are assistive devices commonly prescribed by physiotherapists to assist in the treatment of patients with motor deficiency or with deformities in the lower limbs. They are intended to improve limb function and prevent progression of deformity. They can be purchased in standard sizes or manufactured specifically for the user, *i. e.*, customized. Traditionally, these customized orthoses are manufactured by a process that often does not result in a comfortable or attractive orthosis for the patient, discouraging the use. Combining 3D Scanning Technologies to Additive Manufacturing (AM), also known as 3D printing, it is possible to manufacture anatomical products. In this way, these technologies can contribute to the manufacture of anatomical ankle-foot orthoses (AFO) and, also customized according to the user's wishes. The present study aims to develop a procedure for the manufacture of non-articulated ankle-foot orthoses by Additive Manufacturing. The research was divided into three main phases: bibliographic review, process development, based on the bibliographic review; the application and evaluation of products manufactured through the developed procedure. The bibliographic review was performed to mitigate the existing knowledge about manufacturing process for orthoses by AM, as well for the AFO and foot orthoses (FO) already produced by Additive Manufacturing. A method of developing customized orthoses for upper limbs by Additive Manufacturing has been adapted for application to lower limb orthoses. The steps involved in the process of developing non-articulated ankle-foot orthoses by Additive Manufacturing were acquisition of geometry; 3D scanning; mesh treatment; 3D modeling; process planning; 3D printing; post-processing; delivery and evaluation. As the acquisition of modern equipment is still a limitation considering the Brazilian reality, it was applied only low-cost technologies such as the 3D-scanning from Kinect 360 sensor and low-cost Anet® A8 DIY 3D printer, based on the principle of material extrusion. The developed method was applied in the development of AFO orthoses for four children from one to four years, attended at Centro Vitória in Curitiba / PR. As results of the study, the procedure for manufacturing non-articulated ankle-foot orthoses by Additive Manufacturing was obtained, as were four pairs of non-articulated ankle and foot orthoses, one pair for each child. Orthoses made of TPU (thermoplastic polyurethane) by 3D printing were approved by physiotherapists on static evaluations and resisted efforts during physical therapy. A satisfaction assessment was performed by obtaining the opinion of the caregivers and physiotherapists through the B-QUEST questionnaire and a complementary questionnaire regarding their satisfaction with the conventional orthosis as well as the 3D printed orthosis. It was possible to perceive that the satisfaction was greater for both the caregivers and the physiotherapists for the orthoses manufactured by 3D printing, and for the latter one the results presented for 3D printed orthoses were on average 18% higher than for traditional orthoses. The maximum time involved in the manufacture of each orthosis was two weeks and the cost of the materials of each orthosis was less than R\$50 (about US\$12,50). With the evaluation of the orthoses produced it can be affirmed that the developed procedure was proper, reaching the objective of the research.

Keywords: 3D scanning. Additive Manufacturing. Ankle-foot orthoses. Assistive Technology. Lower limb orthoses.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DE ÓRTESE DE MEMBRO SUPERIOR.....	18
FIGURA 2 – EXEMPLO DE: (A) ÓRTESE E (B) PRÓTESE.....	22
FIGURA 3 – EXEMPLO DE ÓRTESES DE TORNOZELO E PÉ: (A) NÃO ARTICULADA E (B) ARTICULADA, SIMULANDO O MOVIMENTO.....	26
FIGURA 4 – PRINCÍPIOS DA TECNOLOGIA DE AM POR EXTRUSÃO DE MATERIAL.....	34
FIGURA 5 – DIGITALIZAÇÃO DIRETA.....	37
FIGURA 6 – MODELO EM GESSO.....	37
FIGURA 7 – MOLDE EM ATADURA GESSADA.....	37
FIGURA 8 – MOLDE EM ESPUMA.....	37
FIGURA 9 – ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DE ÓRTESES UTILIZANDO DIGITALIZAÇÃO E IMPRESSÃO 3D.....	39
FIGURA 10 – MOLDE PARCIAL DE MEMBRO SUPERIOR EM ATADURA GESSADA.....	40
FIGURA 11 – ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DE ÓRTESES UTILIZANDO DIGITALIZAÇÃO E IMPRESSÃO 3D.....	40
FIGURA 12 – ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DE ÓRTESES DE MEMBRO SUPERIOR UTILIZANDO DIGITALIZAÇÃO E IMPRESSÃO 3D.....	41
FIGURA 13 – ÓRTESE DE PUNHO, MÃO E DEDOS CUSTOMIZADA FABRICADA POR EXTRUSÃO DE MATERIAL.....	42
FIGURA 14 – ALGUMAS ETAPAS DO PLANEJAMENTO DE PROCESSO DE IMPRESSÃO DE UMA ÓRTESE DE TORNOZELO E PÉ (AFO).....	42
FIGURA 15 – ORIENTAÇÃO DE IMPRESSÃO E SUA INFLUÊNCIA.....	43
FIGURA 16 – CORPO DE PROVA PARA ENSAIO DE TRAÇÃO.....	44
FIGURA 17 – ÓRTESE DE TORNOZELO E PÉ PRODUZIDA POR SLS.....	45
FIGURA 18 – ÓRTESE DE PÉ PARA CRIANÇAS COM PÉ TORTO CONGÊNITO.....	46
FIGURA 19 – ÓRTESE DE TORNOZELO E PÉ PRODUZIDA PELO MÉTODO TRADICIONAL (À ESQUERDA) E POR SLS (À DIREITA).....	47
FIGURA 20 – ÓRTESE DE TORNOZELO E PÉ FLEXÍVEL FABRICADA POR SLA.....	47
FIGURA 21 – (A) ÓRTESE DE PÉ E (B) ÓRTESE DE TORNOZELO E PÉ PRODUZIDAS POR SLS.....	48

FIGURA 22 – ÓRTESE DE TORNOZELO E PÉ PRODUZIDA POR EXTRUSÃO DE MATERIAL QUE PODE SER USADA: (A) SEM CALÇADO OU (B) COM CALÇADO	50
FIGURA 23 – PALMILHA PRODUZIDA POR EXTRUSÃO DE MATERIAL.....	51
FIGURA 24 – ÓRTESE DE TORNOZELO E PÉ FABRICADA EM ABS POR EXTRUSÃO DE MATERIAL	51
FIGURA 25 – (A) ÓRTESE DE TORNOZELO E PÉ TRADICIONAL; (B) ÓRTESE DE TORNOZELO E PÉ PRODUZIDA POR EXTRUSÃO DE MATERIAL	52
FIGURA 26 – ÓRTESE DE TORNOZELO E PÉ PERSONALIZADA PARA BONECA	53
FIGURA 27 – FASES DA PESQUISA.....	55
FIGURA 28 – ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DE ÓRTESE DE MEMBRO INFERIOR	56
FIGURA 29 – MOLDE DE MEMBRO INFERIOR EM ATADURA GESSADA	59
FIGURA 30 – (A) MOLDAGEM PARCIAL DO MEMBRO INFERIOR DE UMA CRIANÇA COM DEFICIÊNCIA; (B) FISIOTERAPEUTA POSICIONANDO O MEMBRO	60
FIGURA 31 – (A) MOLDE PARCIAL EM ATADURA GESSADA; (B) MOLDE DIGITALIZADO INVIÁVEL PARA USO POR CAUSA DO DESVIO NA PLANTA DO PÉ.....	60
FIGURA 32 – AQUISIÇÃO DA ANATOMIA POR MOLDAGEM TOTAL DO MEMBRO COM ATADURA GESSADA	63
FIGURA 33 – MÉTODOS PARA SE OBTER UMA SUPERFÍCIE PLANA NA BASE DO PÉ: (A) ADIÇÃO DE UMA PALMILHA; (B) ADIÇÃO DE UMA MISTURA DE GESSO E LIXAMENTO.....	64
FIGURA 34 – MOLDAGEM DO MEMBRO INFERIOR DE UMA BONECA PARA CRIAR UM AMBIENTE DESCONTRAÍDO NO MOMENTO DA AQUISIÇÃO DA ANATOMIA.....	65
FIGURA 35 – ESQUEMA DA UTILIZAÇÃO DO KINECT 360.....	66
FIGURA 36 – DIGITALIZAÇÃO DE MOLDES DE ÓRTESES USANDO O KINECT 360: (A) AMBIENTE ESCOLHIDO PARA A DIGITALIZAÇÃO; (B) DETALHE DO MOLDE COM LINHAS XADREZ DESENHADAS	67
FIGURA 37 – CAPTURA DE TELA DO PROGRAMA SKANECT DURANTE A DIGITALIZAÇÃO 3D.....	67

FIGURA 38 – CAPTURA DE TELA DO PROGRAMA SKANECT APÓS A DIGITALIZAÇÃO 3D.....	68
FIGURA 39 – (A) ARQUIVO RESULTANTE DA DIGITALIZAÇÃO 3D; (B) ARQUIVO APÓS O TRATAMENTO DA MALHA	70
FIGURA 40 – ORELHA DE FIXAÇÃO PARA AS ARGOLAS: (A) APLICADA NA ÓRTESE; (B) DIMENSÕES.....	72
FIGURA 41 – MODELO 3D DE UMA ÓRTESE DE TORNOZELO E PÉ	72
FIGURA 42 – MOVIMENTO DE FLEXÃO PLANTAR	73
FIGURA 43 – IMPRESSORA ANET® A8 DIY	75
FIGURA 44 – ÓRTESES COM EFEITO TEIA APÓS A IMPRESSÃO 3D	76
FIGURA 45 – APLICAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE FIXAÇÃO E VELCROS.....	78
FIGURA 46 – PROCEDIMENTO PARA FABRICAÇÃO DE ÓRTESES NÃO ARTICULADAS DE TORNOZELO E PÉ (AFO) POR MANUFATURA ADITIVA	82
FIGURA 47 – DESMEMBRAMENTO DAS ETAPAS DO PROCEDIMENTO PARA FABRICAÇÃO DE ÓRTESES NÃO ARTICULADAS DE TORNOZELO E PÉ (AFO) POR MANUFATURA ADITIVA	83
FIGURA 48 – RESULTADOS DE CADA ETAPA PARA O CASO 1	85
FIGURA 49 – ÓRTESES DE TORNOZELO E PÉ FABRICADAS POR MANUFATURA ADITIVA – CASO1.....	85
FIGURA 50 – USUÁRIO 1 EXPERIMENTANDO A ÓRTESE IMPRESSA	86
FIGURA 51 – RESULTADOS DE CADA ETAPA PARA O CASO 2	88
FIGURA 52 – ÓRTESES DE TORNOZELO E PÉ FABRICADAS POR MANUFATURA ADITIVA – CASO 2.....	88
FIGURA 53 – USUÁRIO 2 EXPERIMENTANDO A ÓRTESE IMPRESSA	89
FIGURA 54 – DETALHE DA REGIÃO DO TORNOZELO DA ÓRTESE TRADICIONAL JÁ DESGATADA COM O USO.....	90
FIGURA 55 – (A) FITA PARA AUMENTAR A RESISTÊNCIA AO DESGASTE DO VELCRO E (B) MODELO 3D DA ÓRTESE AFO COM UMA ABA LATERAL VAZADA PARA PASSAGEM DO VELCRO	91
FIGURA 56 – (A) ÓRTESE AFO TRADICIONAL (B) ÓRTESE AFO IMPRESSA COM SUGESTÕES DE MELHORIAS, PARA O USUÁRIO DO CASO 3.....	91
FIGURA 57 – ÓRTESES DE TORNOZELO E PÉ FABRICADAS POR MANUFATURA ADITIVA – CASO 4.....	93

FIGURA 58 – USUÁRIO 4 EXPERIMENTANDO A ÓRTESE IMPRESSA93

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – RESULTADOS DOS QUESTIONÁRIOS PARA ÓRTESES TRADICIONAIS.....	96
GRÁFICO 2 – RESULTADOS DOS QUESTIONÁRIOS PARA ÓRTESES IMPRESSAS.....	96

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – ALGUNS TIPOS DE ÓRTESES E SUA APLICAÇÃO	25
QUADRO 2 – CLIENTES PRIMÁRIOS PARTICIPANTES DO ESTUDO	57

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – PARÂMETROS DE IMPRESSÃO DAS ÓRTESES.....	74
TABELA 2 – RECURSOS, FERRAMENTAS E MATERIAIS NECESSÁRIOS AO PROJETO.....	80
TABELA 3 – RESULTADOS DOS QUESTIONÁRIOS DO RESPONSÁVEL PELO USUÁRIO DO CASO 1.....	86
TABELA 4 – RESULTADOS DOS QUESTIONÁRIOS DO RESPONSÁVEL DO PELO USUÁRIO DO CASO 2.....	89
TABELA 5 – RESULTADOS DOS QUESTIONÁRIOS DO RESPONSÁVEL DO PELO USUÁRIO DO CASO 3.....	92
TABELA 6 – RESULTADOS DOS QUESTIONÁRIOS DO RESPONSÁVEL DO PELO USUÁRIO DO CASO 2.....	94
TABELA 7 – MÉDIA PONDERADA E VARIAÇÃO PERCENTUAL DO GRAU DE SATISFAÇÃO DOS FISIOTERAPEUTAS COM AS ÓRTESES TRADICIONAIS E COM AS ÓRTESES IMPRESSAS EM 3D.....	95
TABELA 8 – TEMPO APROXIMADO DE CADA ETAPA PARA A FABRICAÇÃO DE CADA ÓRTESE.....	98
TABELA 9 – CUSTO DOS MATERIAIS DE CADA ÓRTESE IMPRESSA EM 3D....	98

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	- Tridimensional
ABS	- Acrilonitrila Butadieno Estireno
AFO	- Órtese de Tornozelo e Pé (<i>Ankle-Foot Orthosis</i>)
AM	- Manufatura Aditiva (<i>Additive Manufacturing</i>)
ASTM	- <i>American Society for Testing and Materials</i>
CAA	- Comunicação Aumentativa e Alternativa
CAD	- Projeto Auxiliado por Computador (<i>Computer-Aided Design</i>)
CAPES	- Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CAT	- Comitê de Ajudas Técnicas
cm	- centímetro
DMD	- Distrofia Muscular de Duchenne
EVA	- Espuma Vinílica Acetinada
FDM	- Modelagem por Fusão e Deposição (<i>Fused Deposition Modeling</i>)
FO	- Órtese de Pé (<i>Foot Orthosis</i>)
g	- gramas
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISO	- Organização Internacional de Normalização (<i>International Organization for Standardization</i>)
m	- metro
mm	- milímetro
ME	- Extrusão de Material (<i>Material Extrusion</i>)
MPa	- Megapascal
NUFER	- Núcleo de Manufatura Aditiva e Ferramental
PDP	- Processo de Desenvolvimento de Produtos
PGTA	- Programa de Apoio à Pós-Graduação e à Pesquisa Científica e Tecnológica em Tecnologia Assistiva
PLA	- Poliacido Láctico
PVC	- Policloreto de Vinila
QUEST	- Avaliação da Satisfação do Usuário com a Tecnologia Assistiva (<i>Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology</i>)
RPDTA	- Rede de Pesquisa e Desenvolvimento em Tecnologia Assistiva

SNPD	- Secretaria Nacional de Promoção dos Direitos das Pessoas com Deficiência
SLA	- Estereolitografia (<i>Stereolithography</i>)
SLS	- Sinterização Seletiva a Laser (<i>Selective laser sintering</i>)
STL	- <i>STereoLithography</i>
SUS	- Sistema Único de Saúde
TA	- Tecnologia Assistiva
TPU	- Poliuretano termoplástico
UTFPR	- Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	17
1.2 OBJETIVOS	18
1.2.1 Objetivo geral	18
1.2.2 Objetivos específicos.....	18
1.3 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	19
1.4 JUSTIFICATIVA	19
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 TECNOLOGIA ASSISTIVA	21
2.2 ÓRTESES	23
2.2.1 Tipos de órteses de membro inferior	24
2.2.2 Processo tradicional de fabricação de órteses de membro inferior	27
2.2.3 Causas de abandono de órteses.....	28
2.2.4 Avaliação de órteses	30
2.3 MANUFATURA ADITIVA.....	32
2.3.1 Extrusão de Material.....	33
2.4 DIGITALIZAÇÃO 3D	36
2.5 DESENVOLVIMENTO DE ÓRTESES UTILIZANDO DIGITALIZAÇÃO 3D E MANUFATURA ADITIVA.....	39
2.6 PLANEJAMENTO DO PROCESSO DE MANUFATURA ADITIVA	42
2.7 DIGITALIZAÇÃO 3D E MANUFATURA ADITIVA (AM) PARA ÓRTESES DE TORNOZELO E PÉ (AFO) E ÓRTESES DE PÉ (FO).....	45
2.8 CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	53
3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	55
3.1 DESENVOLVIMENTO DO PROCEDIMENTO PARA A FABRICAÇÃO DE ÓRTESES NÃO ARTICULADAS DE TORNOZELO E PÉ POR MANUFATURA ADITIVA	55
3.2 DETALHAMENTO DO PROCEDIMENTO PARA A FABRICAÇÃO DE ÓRTESES NÃO ARTICULADAS DE TORNOZELO E PÉ POR MANUFATURA ADITIVA.....	56
3.2.1 Etapa zero	56
3.2.2 Aquisição da anatomia	59

3.2.3 Digitalização 3D	65
3.2.4 Tratamento da malha	68
3.2.5 Modelagem 3D	70
3.2.6 Planejamento do processo	73
3.2.7 Impressão 3D	75
3.2.8 Pós processamento.....	76
3.2.9 Avaliação.....	79
3.3 CUSTOS DO PROJETO	80
3.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROCEDIMENTO METODOLÓGICO E PROCEDIMENTO DESENVOLVIDO.....	81
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	82
4.1 PROCEDIMENTO PARA FABRICAÇÃO DE ÓRTESES NÃO ARTICULADAS DE TORNOZELO E PÉ POR MANUFATURA ADITIVA	82
4.2 APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO EM CASOS REAIS E RESULTADOS OBTIDOS	84
4.2.1 Caso 1	84
4.2.2 Caso 2.....	87
4.2.3 Caso 3.....	90
4.2.4 Caso 4.....	92
4.3 AVALIAÇÃO DOS FISIOTERAPEUTAS	94
4.4 TEMPO DE FABRICAÇÃO E CUSTOS DE CADA ÓRTESE FABRICADA	97
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	99
5.1 CONCLUSÕES	99
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	101
REFERÊNCIAS.....	102
APÊNDICE 1 – PROCESSO TRADICIONAL DE FABRICAÇÃO DE ÓRTESES DE MEMBRO INFERIOR NO BRASIL	111
APÊNDICE 2 –BENCHMARKING	113
APÊNDICE 3 – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE) E TERMO DE CONSENTIMENTO PARA USO DE IMAGEM (TCUI).....	117
APÊNDICE 4 – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE).....	122
APÊNDICE 5 – TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TALE).....	127

APÊNDICE 6 – AVALIAÇÃO DA SATISFAÇÃO DO USUÁRIO COM A TECNOLOGIA ASSISTIVA – QUESITOS DE ESTÉTICA E PERSONALIZAÇÃO	129
APÊNDICE 7 – FORMULÁRIO DE NECESSIDADES E PREFERÊNCIAS	133
APÊNDICE 8 – CONFIGURAÇÕES DETALHADAS DO PROGRAMA SKANECT	134
APÊNDICE 9 – TRATAMENTO DA MALHA	135
APÊNDICE 10 – MODELAGEM 3D	141
APÊNDICE 11 – PARÂMETROS DE IMPRESSÃO	149
APÊNDICE 12 – INFORMATIVO SOBRE CUIDADOS COM A ÓRTESE IMPRESSA	161
ANEXO 1 – AVALIAÇÃO DA SATISFAÇÃO DO USUÁRIO COM A TECNOLOGIA ASSISTIVA DE QUEBEC B-QUEST (2.0)	162

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a ciência e tecnologia têm apresentado um desenvolvimento acelerado. Esse desenvolvimento científico e tecnológico deve ser aplicado de modo a aumentar a qualidade de vida dos seres humanos. Dessa forma, a Tecnologia Assistiva deve estar também em constante desenvolvimento para benefício das pessoas com deficiência.

Tecnologia Assistiva (TA) é um termo que abrange recursos e serviços que beneficiem pessoas com deficiência, contribuindo para melhorar a qualidade de vida, independência, autonomia e promover inclusão social. Exemplos de produtos assistivos são: colheres adaptadas, órteses, próteses e aparelhos auditivos (BERSCH, 2017, p. 2).

Especificamente sobre órteses, do grego, “órtese” significa “tornar correto”, dessa forma, as órteses são dispositivos utilizados juntos ao corpo com a função de alinhar, apoiar e corrigir deformidades, dentre outras funções. Existem vários tipos e geralmente são denominadas de acordo com o segmento do corpo (EDELSTEIN; BUCKNER, 2006, p. 2). A prescrição de órteses de membro inferior é muito comum para crianças, devido a ocorrência de distrofias musculares, disfunções e patologias durante o desenvolvimento motor (PEREIRA; VIEIRA, 2007, p. 13). Cerca de 85% das crianças com Paralisia Cerebral utilizam órteses de membro inferior, segundo Lucareli et al. (2007).

Existem as órteses pré-fabricadas, encontradas em lojas de produtos ortopédicos e disponíveis em tamanhos padrão, e as órteses personalizadas de acordo com a anatomia de cada usuário. Por serem produzidas em larga escala, as órteses pré-fabricadas são mais baratas, entretanto, podem comprometer a efetividade do tratamento, por não possuírem tamanhos e ajustes suficientes para cada paciente (PATERSON et al., 2017, p. 266). O método tradicional de produção de órteses personalizadas para membro inferior no Brasil envolve as etapas de obtenção de um molde negativo em atadura gessada da região, a obtenção do molde positivo também de gesso e, posteriormente, a confecção da órtese por termomoldagem a vácuo para conformação de um material termoplástico (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2014). Esse processo é demorado, produz grande quantidade de resíduos de gesso e requer necessidade de mão de obra especializada para trabalhar com placas

aquecidas de termoplásticos e maquinário de termomoldagem. Além disso, o conforto ainda é precário e a estética não estimula o uso (PATERSON et al., 2017, p. 266).

Nesse contexto, nos últimos anos a Manufatura Aditiva (AM) e a digitalização 3D têm sido aplicadas para aprimorar o processo de fabricação de órteses personalizadas. Basicamente, a Manufatura Aditiva, ou impressão 3D, é um processo de fabricação baseado no princípio de adição de material camada a camada. Existem várias tecnologias de AM, com diferentes custos e particularidades (VOLPATO; CARVALHO, 2017, p. 16-17). A digitalização 3D consiste em transformar em modelos virtuais as informações geométricas obtidas de modelos reais (WEIGERT, 2017, p. 30); e pode ser aplicada ao corpo humano de maneira direta sobre o próprio membro ou indiretamente, por exemplo, através de um molde do membro (TELFER et al., 2012a).

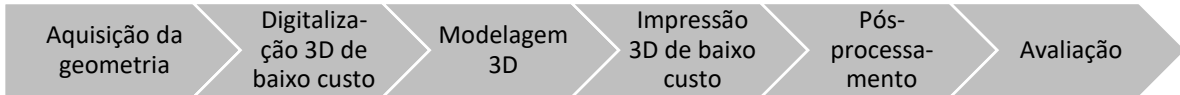
1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Telfer et al. (2012b) afirmam que o projeto de órteses para membro inferior é limitado pelos métodos de fabricação tradicional e que a Manufatura Aditiva pode superar essas limitações e permitir inovações no projeto, sendo as inovações tanto funcionais como de design. Alguns estudos já mostraram órteses de membro inferior produzidas aliando a digitalização 3D e a Manufatura Aditiva (FAUSTINI et al., 2008; JIN et al., 2015; TELFER et al., 2012b). Porém, a maioria deles foram realizados empregando tecnologias de impressão e digitalização 3D de alto custo, o que, em muitas situações, os torna inviáveis para o uso clínico no Brasil.

Brendler et al. (2014) e Dombroski et al. (2014) utilizaram uma tecnologia de digitalização de baixo custo, porém aplicando-a diretamente a pessoas saudáveis. Entretanto, esse procedimento de difícil aplicação em crianças, que apresentam pés com deformidades devido às questões ortopédicas ou neurológicas, pois elas, geralmente, não apresentam o cognitivo preservado e não conseguem permanecer imóveis durante a etapa de obtenção do molde pelo período necessário (WALBRAN et al., 2016). Já Rosenmann et al. (2017) digitalizaram indiretamente, através de um molde em atadura gessada, e fabricaram por Extrusão de Material uma órtese de punho, mão e dedos para uma criança com paralisia cerebral; além disso, fabricaram com material na cor que a criança solicitou. As etapas do estudo foram: aquisição da geometria; digitalização 3D de baixo custo; modelagem 3D; impressão 3D de baixo

custo; pós-processamento; e avaliação, conforme FIGURA 1, e necessitam de avaliação da aplicabilidade para membros inferiores.

FIGURA 1 – ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DE ÓRTESE DE MEMBRO SUPERIOR



FONTE: Adaptado de ROSENMANN et al. (2017).

Dessa forma, percebe-se a oportunidade de utilizar apenas as tecnologias de Manufatura Aditiva e de digitalização 3D de baixo custo para a fabricação de órteses personalizadas de membro inferior, visando melhorar o conforto das órteses produzidas e explorar as vantagens das tecnologias para produzir órteses mais atraentes ao usuário, estimulando o uso e a continuidade do tratamento. Com isso, desenvolvendo um procedimento para a fabricação de órteses não articuladas de tornozelo e pé por Manufatura Aditiva, utilizando tecnologias de baixo custo, pode-se fomentar o desenvolvimento tecnológico e permitir a aplicação desse procedimento para a fabricação de órteses no Brasil.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver um procedimento para a fabricação de órteses não articuladas de tornozelo e pé por Manufatura Aditiva, utilizando tecnologias de baixo custo.

1.2.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral, têm-se os seguintes objetivos específicos:

- a) Caracterizar as abordagens clássicas do desenvolvimento e fabricação de órteses de membro inferior;
- b) Realizar a aquisição da geometria dos membros inferiores e o levantamento das necessidades do cliente;
- c) Realizar a digitalização 3D do molde do membro inferior;
- d) Realizar a modelagem 3D das órteses em programa gratuito;

- e) Determinar os parâmetros de impressão para fabricar as órteses através de uma tecnologia de impressão 3D de baixo custo;
- f) Avaliar as órteses produzidas em conjunto com o cliente.

1.3 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Essa pesquisa tem natureza aplicada e é de abordagem qualitativa, seus objetivos a caracterizam como exploratória (SILVA; MENEZES, 2005, p. 20; GIL, 2002, p. 41). A pesquisa foi dividida em três fases principais: revisão bibliográfica, desenvolvimento do procedimento, com base na revisão bibliográfica; e aplicação e avaliação dos produtos fabricados por meio do procedimento desenvolvido.

1.4 JUSTIFICATIVA

O edital CAPES/PGPTA 59/2014 foi lançado em 2014 pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação juntamente com a Secretaria de Direitos Humanos da Presidência da República e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e prevê recursos para inovação em Tecnologia Assistiva para grupos de pesquisa formados por universidades brasileiras. Nesse contexto, foi criada a Rede de Pesquisa e Desenvolvimento em Tecnologia Assistiva: ações integradas entre Engenharia Mecânica e Design (RPDTA), da qual a Universidade Tecnologia Federal do Paraná (UTFPR) e este trabalho fazem parte, cujo objetivo é fomentar e consolidar a área de Pesquisa em Tecnologia Assistiva, através da formação de uma rede de cooperação, bem como desenvolver produtos assistivos.

O desenvolvimento de órteses de membro inferior, por meio de digitalização e impressão 3D de baixo custo, têm-se as seguintes vantagens:

- a) Eliminar o desperdício de material (gesso) do modelo positivo;
- b) Reduzir o tempo de fabricação de uma órtese de membro inferior;
- c) Reduzir o custo final da órtese, se comparado com métodos de alto custo de digitalização e impressão 3D;
- d) Eliminar a necessidade de mão de obra e maquinário especializados em termomoldagem de placas de termoplásticos;
- e) Reduzir o desconforto para o paciente durante o uso da órtese;

- f) Estimular o uso das órteses personalizadas e reduzir o abandono;
- g) Aumentar o acesso às novas tecnologias de impressão 3D.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

No Capítulo 1 apresentam-se o tema, a oportunidade encontrada para o desenvolvimento do trabalho de mestrado, os objetivos e justificativas do estudo. No Capítulo 2 tem-se a revisão bibliográfica que identifica a oportunidade de pesquisa encontrada. No Capítulo 3 apresenta-se o procedimento metodológico e o procedimento para fabricação de órteses não articuladas de tornozelo e pé por Manufatura Aditiva, bem como são apresentados os custos envolvidos no projeto. Os resultados obtidos nos casos reais e avaliações das órteses fabricadas são mostrados no Capítulo 4. E, por fim, apresentam-se as conclusões do estudo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo, inicialmente é elucidada a importância da Tecnologia Assistiva para pessoas com deficiência e da opinião do usuário e do cuidador, com foco em órteses de membro inferior. Adicionalmente, o método tradicional de fabricação e suas desvantagens são expostos. Em seguida, apresenta-se a possibilidade de unir tecnologias de digitalização 3D e de impressão 3D no processo de fabricação, incluindo um levantamento dos estudos que utilizam tais tecnologias para a fabricação de órteses de membro inferior.

2.1 TECNOLOGIA ASSISTIVA

De acordo com o censo do IBGE de 2010, cerca de 23,9% da população brasileira e 21,7% dos paranaenses possuem algum tipo de deficiência, seja ela: mental ou intelectual, visual, auditiva ou motora. Como todos os brasileiros têm seus direitos humanos assegurados por lei, políticas públicas que promovam a inclusão de pessoas com deficiência são necessárias, sendo responsabilidade da Secretaria Nacional de Promoção dos Direitos das Pessoas com Deficiência (SNPD) estimular e promover essas iniciativas (BRASIL, 2012, p. 8-11). Nesse contexto, em 2006 foi instituído o Comitê de Ajudas Técnicas (CAT) que visa apoiar o desenvolvimento de Tecnologias Assistivas no Brasil (BRASIL, 2009, p. 9).

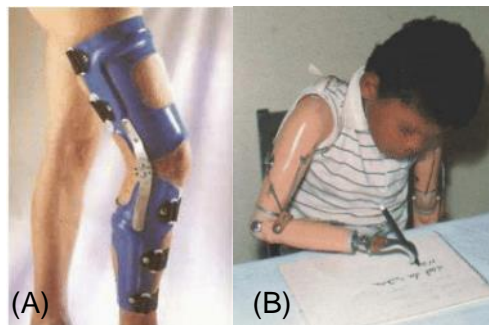
Tecnologia Assistiva (TA) – anteriormente denominada como Ajudas Técnicas ou Tecnologias de Apoio – é um termo amplo que se refere a todo recurso (produto, equipamento ou parte dele, fabricado sob medida ou em série) ou serviço em benefício de pessoas com deficiência que visa aumentar a autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social, como definido pelo Comitê de Ajudas Técnicas:

Tecnologia Assistiva é uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação, de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social (BRASIL, 2009, p. 9).

Existem diversas classificações de TA, cada uma com um objetivo diferente. Dentre elas, destaca-se a que foi utilizada pelo governo brasileiro para tratar dos assuntos relacionados a linhas de crédito para aquisição de Tecnologia Assistiva para pessoas com deficiência, cujo objetivo dessa classificação é didático e compreende tanto recursos quanto serviços de TA. As categorias são: auxílios para a vida diária e vida prática; comunicação aumentativa e alternativa (CAA); recursos de acessibilidade ao computador; sistemas de controle de ambiente; projetos arquitetônicos para acessibilidade; órteses e próteses; adequação postural; auxílios de mobilidade; auxílios para ampliação da função visual e recursos que traduzem conteúdos visuais em áudio ou informação tátil; auxílios para melhorar a função auditiva e recursos utilizados para traduzir os conteúdos de áudio em imagens, texto e língua de sinais; mobilidade em veículos; e esporte e lazer (BERSCH, 2017, p. 4-11).

Uma das categorias abrange todos os dispositivos utilizados junto a um segmento do corpo para melhorar o posicionamento ou funcionalidade, ou ainda para estabilização – as órteses – e todos os dispositivos que substituem partes ausentes do corpo, como, por exemplo, no caso de amputações – as próteses (BERSCH, 2017, p. 8). Exemplos de órtese e prótese podem ser vistos na FIGURA 2 (A) e (B), respectivamente. As órteses podem ser para membros inferiores, para membros superiores, para coluna vertebral, para sequelas de queimaduras e, também, existem as órteses cirúrgicas internas ou externas (como pinos, parafusos e placas) (ARAÚJO, 2011, p. 3-4).

FIGURA 2 – EXEMPLO DE: (A) ÓRTESE E (B) PRÓTESE



FONTE: Adaptado de BERSCH (2017, p.8).

Visando promover a inclusão, a cidadania e assegurar a igualdade de direitos, o artigo 74 da Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Lei

n.13.146, de 6 julho de 2015) garante o acesso à Tecnologia Assistiva para pessoas com deficiência. Essa lei estabelece também que um dos direitos da pessoa com deficiência é o direito a reabilitação, incluindo o acesso a órteses e próteses através do Sistema Único de Saúde (SUS) e que o poder público deve facilitar o processo de inclusão de novos recursos de TA no rol de produtos oferecidos pelo SUS (BRASIL, 2015). Nas próximas seções, temas relacionados às órteses serão abordados e uma maneira de aprimorar o processo de fabricação das mesmas será apresentado.

2.2 ÓRTESES

As órteses são dispositivos ortopédicos utilizados para apoiar, alinhar ou corrigir deformidades de um segmento corporal, visando melhorar a função dessa parte do corpo. De forma geral, os benefícios terapêuticos das órteses podem ser: controlar movimentação excessiva ou indesejada; limitar amplitude de movimento; manter alinhamento específico; servir de apoio para músculos fracos; transferir cargas de pontos dolorosos específicos para outras regiões, aumentando o conforto; proteger áreas com sensibilidade reduzida, evitando desconforto de choques acidentais; em alguns casos as órteses conseguem corrigir a deformidade, contribuindo para a progressão do tratamento e em outros aplicam-se apenas para melhorar a sensação de conforto do usuário (EDELSTEIN; BRUCKNER, 2006, p. 2-9). Utilizadas como dispositivos auxiliares ao tratamento, as órteses não excluem a necessidade da realização de exercícios físicos e tratamentos fisioterapêuticos, de acordo com a prescrição médica (SOUZA; CEZARINI; MATTIELLO-SVERZUT, 2015).

São comumente classificadas pelas regiões de contato com o corpo do paciente, sendo essencialmente para membros superiores, para membros inferiores e para coluna vertebral (EDELSTEIN; BRUCKNER, 2006, p. 7). Existem também órteses para sequelas de queimaduras e órteses cirúrgicas, tais como: pinos, placas e parafusos, sejam eles internos ou externos. Considerando as órteses para membros inferiores, tem-se as seguintes regiões de contato: quadril, pernas, joelho, tornozelo e pé (ARAÚJO, 2011, p. 3-4).

A prescrição de órteses de membro inferior pode ser feita para pacientes com deficiência motora ou deformidades nos membros inferiores, com ou sem marcha, causadas por quadros neurológicos (por exemplo: paralisia cerebral, esclerose

múltipla, lesão de medula espinhal, acidente vascular cerebral e neuropatia diabética), musculoesqueléticos (como: artrite reumatoide, distrofia muscular de Duchenne e síndrome de dor femoropatelar), ortopédicos (tais como: joanete; esporão calcâneo e luxação de quadril), ou ainda resultantes do envelhecimento, dentre outros (EDELSTEIN; BRUCKNER, 2006, p. 1; LEVITT, 2014, p. 268; SOUZA; CEZARINI; MATTIELLO-SVERZUT, 2015; SWINNEN et al., 2017).

Para o caso da distrofia muscular de Duchenne (DMD), que tende a progredir com a idade do paciente até cessar a habilidade de marcha aos 9 anos de idade, o uso de órteses de membro inferior retarda o surgimento de encurtamentos, prolongando o tempo de marcha e permitindo maior independência ao paciente (FERNANDES et al., 2012; SOUZA; CEZARNI; MATTIELLO-SVERZUT, 2015). Já os pacientes infantis com paralisia cerebral geralmente apresentam deformidades nos membros inferiores, tal como o pé equino – popularmente conhecido como pé caído –, e o uso de órteses faz parte do tratamento visando melhorar a mobilidade (CURY et al., 2006). O quadro de saúde também demanda tratamento cirúrgico em cerca de um quarto desses pacientes. Entretanto, intervenções cirúrgicas são indicadas nesses casos após os sete anos de idade do paciente, pois quando realizadas em crianças de baixa idade existe a tendência de as deformidades retornarem e a necessidade de se refazer a cirurgia. O uso de órteses pode ser aliado a aplicações de toxina botulínica para esses pacientes até que possuam a idade adequada para a intervenção cirúrgica (ESTELLES et al., 2013).




Órteses de membro inferior podem ser de uso temporário ou de longo tempo de uso e geralmente são constituídas de partes fabricadas em diferentes materiais, como materiais poliméricos ou metálicos, couro, tecido, borracha, dentre outros, dependendo das necessidades de rigidez, peso e estética. Além disso, devem ser suficientemente resistentes para suportar as tensões impostas pelo usuário. A classificação se dá também pelas regiões de contato com o corpo do paciente e as abreviações são feitas de acordo com a nomenclatura em inglês (BRASIL, 2009, p. 7; EDELSTEIN; BRUCKNER, 2006, p. 11, PEREIRA; VIEIRA, 2007).

2.2.1 Tipos de órteses de membro inferior

As órteses de pé (*Foot orthoses* – FO), órteses de tornozelo e pé (*Ankle-foot orthoses* – AFO) e órteses de joelho, tornozelo e pé (*Knee-ankle-foot orthoses* –

KAFO) são alguns dos tipos de órteses de membro inferior. Elas são mostradas no QUADRO 1 acompanhadas da descrição e aplicação das mesmas. Além dessas três categorias de órteses de membro inferior, existem outras órteses destinadas para segmentos isolados do corpo, como: para tornozelo (*Ankle orthoses – AO*), para joelho (*Knee orthoses – KO*) e para quadril (*Hip orthoses – HO*).

QUADRO 1 – ALGUNS TIPOS DE ÓRTESES E SUA APLICAÇÃO

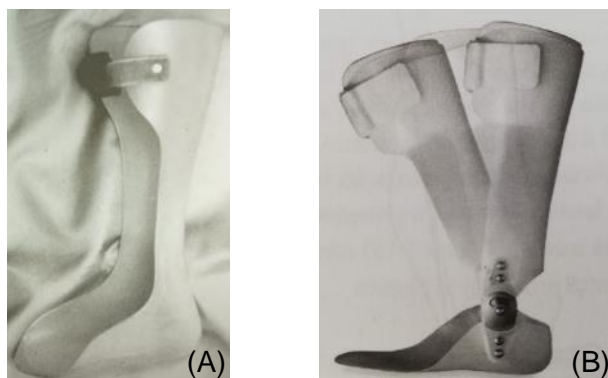
Denominação	Descrição e aplicação	Ilustração
Órteses de pé (<i>foot orthoses – FO</i>)	Geralmente são palmilhas ou dispositivos para adaptação dos calçados e saltos, sob medida ou não, que permitem diminuir a pressão em determinadas regiões do pé, como o calcanhar e a cabeça dos metatarsos; estabilizar o corpo; acomodar deformidades, como joanetes; e aumentar conforto para casos de inflamações, como fascite plantar, por exemplo.	
Órteses de tornozelo e pé (<i>ankle-foot orthoses – AFO, ou órteses suropodálicas</i>)	Têm a função de controlar a movimentação e de manter o alinhamento do tornozelo e do pé, podendo permitir que o paciente alcance os mesmos objetivos funcionais que órteses mais altas (como órteses de joelho, tornozelo e pé), porém com o benefício de ter uma estética bem mais aceitável. O projeto desse tipo de órtese deve ser feito considerando o calçado do paciente, para o caso de pacientes com marcha, que utilizarão a órtese e o calçado ao mesmo tempo.	
Órteses de joelho, tornozelo e pé (<i>knee-ankle-foot orthoses – KAFO</i>)	São órteses que se estendem da coxa até o pé, sendo assim, são maiores e nem sempre podem ser usadas debaixo das vestimentas. São indicadas para casos de fraturas, fraqueza ou paralisia muscular.	

FONTE: Adaptado de EDELSTEIN; BRUCKNER (2006, p. 22-69).

Existem, também, órteses para mais de três segmentos, como é o caso das órteses de quadril, joelho, tornozelo e pé (*Hip-knee-ankle-foot orthoses – HKAFO*) e das órteses de tronco, quadril, joelho, tornozelo e pé (*Thunk-hip-knee-ankle-foot orthoses – THKAFO*) (BRASIL, 2009, p.7).

As órteses que envolvem o tornozelo e o pé podem ser do tipo articuladas ou com tornozelo rígido – também denominadas órteses fixas em 90º, ou somente fixas, ou, ainda, não articuladas –, de forma que a órtese permita o movimento na articulação do tornozelo ou restrinja esse movimento, respectivamente, dependendo da necessidade do tratamento e do quadro clínico do paciente. Órteses não articuladas, FIGURA 3 (A), 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, FIGURA 3 (B), permitem movimentação livre e existem aquelas que controlam o movimento de flexão do membro, limitando a partir de determinada posição. Essa articulação da órtese pode ser de material polimérico ou metálico. Em comparação, órteses articuladas, apesar de facilitarem a marcha, podem apresentar desvantagens para diversos pacientes, tendo em vista que, no caso de contrações involuntárias indesejadas, a órtese sede ao movimento, não oferecendo a resistência necessária. Além disso, o custo dessas órteses articuladas é mais alto, geralmente são menos duráveis e o projeto da posição da articulação deve ser cuidadoso para evitar o desalinhamento em relação aos maléolos (proeminências ósseas na região do tornozelo), que pode resultar numa rotação anormal durante a marcha. (EDELSTEIN; BRUCKNER, 2006, p. 49-52).

FIGURA 3 – EXEMPLO DE ÓRTESES DE TORNOZELO E PÉ: (A) NÃO ARTICULADA E (B) ARTICULADA, SIMULANDO O MOVIMENTO



FONTE: Adaptado de EDELSTEIN; BRUCKNER (2006, p. 50-51).

Os tipos de órtese de membro inferior mais utilizados são: órteses de pé (FO) e de tornozelo e pé (AFO) (CHEN et al., 2016). A prescrição da órtese varia para cada paciente, podendo ser um tipo específico ou mais de um tipo de órtese por paciente. Por exemplo, pacientes com distrofia muscular de Duchenne com marcha,

comumente, utilizam durante o dia órteses de joelho, tornozelo e pé e, durante a noite, órteses de tornozelo e pé; já pacientes cadeirantes utilizam órteses apenas durante a noite do tipo tornozelo e pé (SOUZA; CEZARINI; MATTIELLO-SVERZUT, 2015). O tipo mais comum de paralisia cerebral em crianças é do tipo espástica e cerca de 85% dessas crianças utilizam ou vão utilizar órteses; isso ocorre devido a alteração de tônus muscular, que aumenta a rigidez dos músculos e causa uma contração muscular involuntária (condição denominada por espasticidade). Para esse quadro clínico, as órteses mais prescritas são as de tornozelo e pé (CURY et al., 2006; LUCARELI et al., 2007).

Após a prescrição médica, é necessária a aquisição da órtese para sua utilização, que pode ser feita em lojas de produtos ortopédicos (tamanhos padrão) ou encomendada sob medida com um profissional especializado na fabricação, em oficinas ortopédicas.

2.2.2 Processo tradicional de fabricação de órteses de membro inferior

As órteses são utilizadas junto ao corpo e precisam se adequar as dimensões e anatomia do usuário. No entanto, existem duas subcategorias de órteses: as genéricas – ou de prateleira –, projetadas para qualquer usuário e produzidas em massa em tamanho padrão (geralmente: pequeno, médio e grande); e as específicas para um indivíduo – ou personalizadas. Em termos de processo de fabricação, as órteses genéricas são mais vantajosas do que as específicas e com custo inferior devido à fabricação em massa, porém não permitem uma variedade de tamanhos ou ajustes suficientes para a necessidade de cada paciente, podendo comprometer a efetividade do tratamento. Já as órteses específicas são sob medida, produzidas individualmente, requerem mão de obra especializada, o tempo de fabricação é longo e o custo de fabricação é maior que das órteses genéricas; entretanto, por serem fabricadas baseando-se na anatomia do usuário, tendem a ser mais confortáveis. Todavia, o ajuste e conforto de ambos os tipos ainda é precário e a estética não estimula o uso, contribuindo para o abandono dos dispositivos (PATERSON et al., 2017, p. 241-245).

A Cartilha de Confecção e Manutenção de Órteses, Próteses e Meios Auxiliares de Locomoção, do Ministério da Saúde (2013), define o método tradicional de fabricação de órteses de tornozelo e pé sob medida, que se encontra resumido no

APÊNDICE 1. Basicamente, nesse processo o ortesista, especialista em fabricação da órtese, obtém um molde negativo do membro e, posteriormente, um molde positivo, que é usado para a termomoldagem a vácuo de uma placa de polipropileno.

Semelhantemente, Chen et al. (2016) relatam que para a fabricação de órteses de pé pelo processo tradicional pressiona-se o pé sobre uma espuma onde se obtém um molde negativo do formato do pé. Acrescenta-se uma mistura de gesso e água nesse molde para se obter o modelo positivo do pé. Quando o modelo está em estado sólido, pré-aquece-se uma placa de material termoplástico e aplica-se vácuo para termomoldar a órtese. Acrescenta-se um salto na região do calcanhar e, após o processo ser finalizado, é preciso remover o material excedente e dar acabamento nas bordas.

No contexto clínico, a armazenagem dos moldes por longos períodos de tempo para reaproveitamento é inviável, tendo em vista o tamanho dos moldes e que estes são individuais para cada paciente. Isto, aliado ao fato de que para crianças o crescimento natural impossibilita a reutilização de um molde antigo, demonstra que o processo tradicional de fabricação de órteses gera grandes quantidades de resíduos de gesso.

Pelo apresentado, percebe-se que o processo tradicional não atende adequadamente as necessidades dos pacientes e compromete a continuidade do tratamento, entretanto, existem outros fatores que contribuem para o abandono do uso do dispositivo.

2.2.3 Causas de abandono de órteses

Costa et al. (2015) compilaram os fatores para o abandono de dispositivos de Tecnologia Assistiva (TA), os quais se aplicam também às órteses. Os fatores percebidos foram: dores e desconfortos; não aceitação do dispositivo; limitações funcionais; dificuldade de uso; falta de treinamento do usuário e do profissional, dentre outros. Para diminuir o abandono, os autores sugerem que: as necessidades do usuário e seu contexto não devem ser desconsideradas; o usuário deve participar ativamente no processo de prescrição e seleção do dispositivo de TA adequado; e há a necessidade de realização de reavaliações e ajustes para evitar que esses fatores de abandono permaneçam (COSTA et al., 2015).

Percebe-se, assim, que existe uma interligação entre os fatores de abandono (COSTA et al., 2015), que eles estão relacionados ao projeto e também a questões subjetivas. Por exemplo, um dispositivo mal projetado pode gerar desconforto e dores para o usuário. Entretanto, a não aceitação do usuário, tanto da sua condição pessoal quanto do dispositivo, pode levar ao abandono do uso do equipamento. Ressalta-se que, pelo método tradicional de fabricação de órteses, tanto o ajuste, como o conforto e a estética não estimulam o uso (PATERSON et al, 2017, p. 241-245).

Além disso, alguns obstáculos foram divulgados no relatório do Conselho Nacional de Saúde em 2010 (BRASIL, 2010). De acordo com esse relatório, o SUS disponibiliza alguns modelos de órteses para a população, porém a gestão de filas é ineficiente (existe uma fila única, da mesma forma que ocorre para transplantes). Também se desconhece a real quantidade de pessoas que necessitam de órteses, dessa forma, não há uma programação para se conceder equipamentos em quantidades suficientes à demanda. Relatou-se também que não há procedimento padrão e nem técnicos capacitados para atestar a qualidade das órteses cedidas pelo SUS; assim, a qualidade dos dispositivos não pode ser assegurada e fica sob responsabilidade do fabricante. Além disso, a entrega das órteses geralmente é atrasada pelos processos burocráticos de licitação para a compra, prejudicando o tratamento dos pacientes (BRASIL, 2010).

A demora na entrega de órteses afeta principalmente os pacientes infantis. Existe registro no Reclame Aqui (2017) relatando que, tendo em vista a rapidez do crescimento das crianças, a demora na entrega de uma órtese nova acarreta no uso prolongado da antiga que já não é mais adequada ao tamanho dos membros (podendo causar outras deformidades) ou no abandono do uso desse dispositivo por causa das dores e desconfortos; e quando, por fim, a entrega acontece, a órtese pode não se ajustar adequadamente devido ao crescimento do paciente.

Também relacionado à dimensão da órtese, Edelstein e Bruckner (2006, p. 3-8) comentam que uma maior área de contato da órtese com o corpo aumenta a distribuição de pressão, diminuindo a possibilidade de incômodos e desconfortos. Entretanto, grandes áreas de contato podem aumentar a sudorese, que também pode desestimular o uso. Além dos médicos, fisioterapeutas e ortesistas, a participação do paciente no projeto da órtese é fundamental trazendo suas preferências estéticas, necessidades e o histórico de experiências anteriores. Aliado a isso, a sensação de

conforto deve ser um fator importante a ser considerado para que o paciente não deixe de utilizá-la.

Tendo em vista a importância do uso da órtese na reabilitação dos pacientes e que vários fatores podem desestimular o uso, é fundamental avaliá-las desde antes do início regular de utilização e fazer reavaliações periódicas.

2.2.4 Avaliação de órteses

Ortesistas – profissionais especializados na confecção de órteses –, fisioterapeutas e médicos devem conduzir avaliações para indicar as correções necessárias, a fim de evitar irritações na pele e desconfortos que possam causar dor, além de observar se a órtese está adequada ao paciente de forma a atender todas as necessidades do tratamento.

Edelstein e Bruckner (2006, p. 112) citam que as avaliações podem ser: estática e dinâmica. Na estática são observados o ajuste da órtese ao membro, o sentar e levantar do paciente e o dispositivo em si. Já a avaliação dinâmica é possível para pacientes que possuem marcha e é conduzida durante a caminhada do paciente com a órtese, assumindo que a órtese já foi aprovada na avaliação estática. Essa análise de marcha pode ser: observacional – observando a ação e possíveis desvios do pé, tornozelo, joelho e quadril durante um trajeto –; e/ou analisando os ruídos emitidos durante a caminhada – que podem indicar a possibilidade de quebra prematura da órtese.

Como citado anteriormente, além da percepção dos profissionais, a opinião do usuário é muito importante. Um instrumento pioneiro e muito utilizado para realizar a avaliação estática com a colaboração do usuário é o questionário QUEST 2.0 (*Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology*), desenvolvido no Canadá, que visa medir a satisfação do usuário com relação ao recurso da TA que ele faz uso e aos serviços envolvidos. Esse questionário é composto por doze perguntas, oito sobre o recurso em si e quatro sobre o serviço prestado, e as respostas são dadas com base na escala Likert – de 0 a 5, com zero representando uma total insatisfação e cinco a satisfação total (DEMERS; WEISS-LAMBROU; SKA, 2002).

Esse questionário foi traduzido e validado para o Brasil com o nome de B-QUEST e é mostrado no ANEXO 1. Após as entrevistas e o preenchimento dos questionários, análises estatísticas podem ser aplicadas, de acordo com o tamanho

da amostra, quantificando a opinião dos usuários acerca de um dispositivo específico de TA. Também é possível usar esse questionário para comparação entre resultados de um mesmo paciente para um recurso novo de TA, por exemplo, e outro recurso padrão de TA (CARVALHO; GOIS JÚNIOR; SÁ, 2014).

O estudo de Carvalho, Gois Júnior e Sá (2014) confirmou a validade, confiabilidade e representatividade que o B-QUEST tem no Brasil para medir a satisfação de usuários de Tecnologia Assistiva. Recentemente, esse questionário foi empregado no Brasil para avaliar recursos de TA de mobilidade para pessoas com deficiência visual (LOURENÇO; HONÓRIO; FIGUEIREDO, 2017) e para órteses de joelho (VILLA-PARRA et al., 2017). Cabral et al. (2017) comentam que o B-QUEST pode ser aplicado como métrica da satisfação do usuário com o produto em avaliações de usabilidade; eles aplicaram esse questionário na avaliação de produtos assistivos, fabricados por impressão 3D, para atividades de vida diária de pessoas com Doença de Parkinson. Além disso, os autores comentam que a aceitação e continuidade de uso de um dispositivo assistivo estão ligadas a aparência do produto, de forma que o projeto precisa contemplar a estética. Chen et al. (2014) aplicaram a versão taiwanesa do questionário QUEST 2.0 em uma amostra de 280 pessoas de Taiwan que usavam órteses, em geral, e destacaram que o questionário contribuiu para mostrar a necessidade de melhoria em vários aspectos, tanto da órtese quanto do serviço, mas principalmente da melhoria do conforto desses dispositivos.

Adicionalmente, para detecção de pontos de pressão a termografia já foi usada em dois estudos desenvolvidos no Brasil aplicando-a a produtos assistivos, um para cadeiras de rodas e outro para órteses de membro superior. Através das imagens térmicas de antes e depois do uso foi possível saber em quais regiões do corpo houve picos de aumento de temperatura, que, associados a apontamentos dos usuários como regiões de desconforto, foram identificadas como pontos de pressão, que podem causar úlceras de pressão, possibilitando a execução de melhorias nos dispositivos (HENSEN et al., 2017; MEDEIROS et al., 2015). Essa tecnologia pode ser uma forma de obter sensações de desconforto do usuário para os casos de pacientes que não podem se comunicar por não possuírem o cognitivo preservado (HENSEN et al., 2017).

Uma das maneiras de melhorar o conforto para o usuário é usando de tecnologias que permitam o projeto customizado das órteses como a digitalização 3D e a Manufatura Aditiva.

2.3 MANUFATURA ADITIVA

Como exposto, o método tradicional de fabricação de órteses de membro inferior no Brasil não se mostra eficiente, demandando mão de obra especializada para um trabalho praticamente artesanal e demorado, além de gerar muitos resíduos.

Um processo de fabricação automatizado que pode contribuir para a melhoria desse método é a Manufatura Aditiva – *Additive Manufacturing* (AM). Também conhecida como impressão 3D, a AM permite fabricar peças personalizadas e de geometria complexa – que não seriam possíveis pelos processos tradicionais, baseados em: remoção de material, fundição, conformação, união ou divisão de componentes –, com rapidez e qualidade (GUO; LEU, 2013; VOLPATO; CARVALHO, 2017, p. 16-17).

Sucintamente, na AM a fabricação da peça ou produto se baseia na adição sucessiva de material camada a camada, a partir de um modelo geométrico 3D que é fatiado em uma sequência de geometrias 2D. As etapas do processo de fabricação por AM podem ser descritas como: modelagem tridimensional; obtenção de uma malha de triângulos no formato específico para AM (geralmente STL, denominação que vem da palavra *STereoLithography*) a partir do modelo 3D; planejamento do processo – fatiamento das camadas, definição da posição de construção do objeto e das estruturas de suporte –; fabricação da peça; e pós-processamento (VOLPATO; CARVALHO, 2017, p.16-27).

Na década de 1980, a AM surgiu com o nome de Prototipagem Rápida, pois seu propósito de criação visava gerar rapidamente protótipos de produtos, mas sua aplicabilidade foi crescendo com o tempo e com a evolução da tecnologia. Principalmente para peças complexas, customizadas e de baixa produção, a AM pode ser aplicada não somente para gerar protótipos, mas também para a fabricação de produtos finais (GUO; LEU, 2013). Nas indústrias aeroespacial e automotiva as tecnologias AM já são bem difundidas (VOLPATO; CARVALHO, 2017, p. 28). Entretanto, nos últimos anos, a AM já tem sido aplicada na área da saúde na fabricação de modelos para facilitar o aprendizado médico e para auxiliar o planejamento cirúrgico (OPOLSKI et al., 2014; WU et al., 2016); na fabricação de medicamentos, implantes, próteses e outros produtos assistivos (LUNSFORD et al., 2016; MIKOLAJEWSKA et al., 2014); na engenharia de tecidos, replicando

estruturalmente e funcionalmente tecidos e órgãos do corpo humano (CABRERA et al. 2017; KENGLA et al., 2016); dentre outras aplicações.

No caso das órteses, Paterson et al. (2017, p. 246) comentam que a AM permite a construção de estruturas treliçadas, reduzindo o peso do dispositivo de TA e permitindo uma melhor ventilação, que dificilmente seriam obtidas pelo método tradicional de fabricação de órteses. Constata-se assim, que o processo de desenvolvimento de produtos a serem fabricados por Manufatura Aditiva, também chamado de *Design for Additive Manufacturing*, deve considerar as restrições e também explorar os benefícios desse processo (THOMPSON et al., 2016).

Existem várias tecnologias de AM com materiais específicos para cada uma, tanto poliméricos, como metálicos e cerâmicos, e cada uma com suas particularidades (VOLPATO; CARVALHO, 2017, p. 16-27). A ISO/ASTM 52900:2015 (2016) classifica as tecnologias de acordo com o princípio de processamento das camadas, sendo elas: fotopolimerização em cuba; extrusão de material; jateamento de material; jateamento de aglutinante; fusão em leito de pó; adição de lâminas; e deposição com energia direcionada.

Para órteses de membro inferior as tecnologias de AM mais empregadas são: Sinterização Seletiva a Laser, Extrusão de Material e Estereolitografia (COOK et al., 2010; MAVROIDIS et al., 2011; TELFER et al., 2012b). Na Sinterização Seletiva a Laser – *Selective Laser Sintering* (SLS) –, o material em pó é adicionado camada a camada e sinterizado ou fundido usando um laser. Na Estereolitografia – *Stereolithography* (SLA) –, uma plataforma móvel imersa em uma cuba com resina fotocurável é movimentada de maneira incremental para que um laser ultravioleta faça a cura nas regiões desejadas. Na Extrusão de Material – *Material Extrusion* (ME) –, o material polimérico é aquecido e extrudado para formar o produto (WONG; HERNANDEZ, 2012). Na próxima seção serão apresentados mais detalhes acerca da tecnologia de Extrusão de Material, que tem se popularizado devido à redução dos preços das máquinas e dos materiais poliméricos.

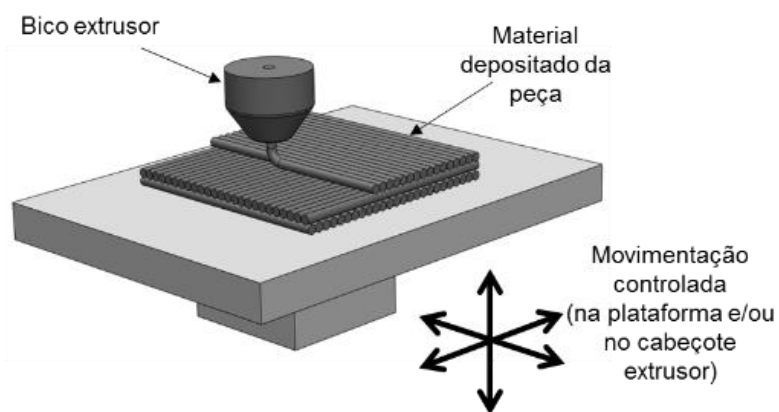
2.3.1 Extrusão de Material

As tecnologias AM por Extrusão de Material (*Material Extrusion* – ME) baseiam-se no princípio da deposição de material extrudado em estado pastoso, fornecido geralmente na forma de filamento. Nesse processo, o material é forçado a

passar por um bico extrusor de diâmetro conhecido e a alimentação do cabeçote extrusor é controlada para que haja extrusão de material somente nas regiões da peça que forem necessárias (VOLPATO, 2017, p. 145-146).

A solidificação deve ser suficientemente rápida para manter a estruturação da peça e suficientemente lenta para que haja adesão da nova camada sobre o que já foi depositado. Para auxiliar no controle da solidificação, algumas impressoras possuem mesa aquecida ou estufa (VOLPATO, 2017b, p. 146). O processo de deposição é representado na FIGURA 4, com destaque para a movimentação do bico extrusor e da plataforma, de forma a produzir a trajetória necessária para construção das camadas de acordo com o formato da peça.

FIGURA 4 – PRINCÍPIOS DA TECNOLOGIA DE AM POR EXTRUSÃO DE MATERIAL



FONTE: VOLPATO (2017b, p. 146).

Os materiais que podem ser usados na ME devem ser possíveis de serem conformados em forma de filamento, com diâmetros típicos de aproximadamente 1,75mm ou 3mm. Comumente se encontram filamentos poliméricos de ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno), PLA (Poliácido Láctico), TPU (poliuretano termoplástico), entre outros. Alguns fabricantes de impressoras não permitem que sejam usados materiais não homologados pela empresa, tal como a Stratasys® Ltd. (VOLPATO, 2017b, p. 148-151).

Essa tecnologia não requer pós-cura do material, porém em alguns casos, uma etapa de pós-processamento é necessária, pois existe a necessidade da retirada de estruturas de suporte que são criadas para dar sustentação à peça no caso de existência de regiões suspensas, podendo ser necessário o lixamento dessas regiões. Algumas impressoras possuem dois bicos de extrusão, sendo um deles dedicado ao

material de suporte que, geralmente, é um material solúvel, o que facilita a remoção. No caso das impressoras que possuem somente um bico, tanto a peça quanto o suporte são do mesmo material e a sua remoção é feita mecanicamente, o que demanda certo tempo e esforço (WONG; HERNANDEZ, 2012). Além disso, quanto maior a quantidade de estruturas de suporte, maior será o tempo total de construção da peça e maior o gasto de material.

Uma das desvantagens da Extrusão de Material é ser relativamente lenta, se comparada com outras tecnologias AM, tendo em vista que, como dito anteriormente, o bico extrusor precisa se deslocar sobre cada região da peça que necessita de deposição de material e que a pequena dimensão do seu furo faz com que a vazão de material seja baixa. Esses fatores acarretam em maior tempo para o preenchimento de grandes áreas em uma única camada (VOLPATO, 2017b, p. 154). Porém, para peças que não precisam ser maciças ou que a solicitação mecânica não seja grande, é possível alterar o percentual de preenchimento da peça, dessa forma diminui-se o tempo de impressão, o peso da peça e o consumo de material (WONG; HERNANDEZ, 2012).

A resolução no eixo z (vertical) é menor do que em outros processos de AM, acarretando no efeito escada, devido às características intrínsecas do processo, podendo ser minimizado com lixamento no pós-processamento, quando necessário (GUO; LEU, 2013). Além disso, como consequência do princípio de processamento das camadas, as peças geradas possuem propriedades anisotrópicas, mesmo assim, dependendo da aplicação, essa tecnologia pode ser usada para fabricar produtos finais (VOLPATO; CARVALHO, 2017, p.16-27). A extrusão de material é um processo mais simples se comparado aos demais e as impressoras 3D podem ser usadas em ambiente de escritório sem necessidade de exaustão (VOLPATO, 2017b, p. 153).

Muitas vezes esse processo específico de AM é identificado por FDM (*Fused Deposition Modeling*), que se refere à primeira tecnologia comercial por extrusão de material, que foi criada pela empresa Stratasys® Ltd. Porém dentro da classificação de AM por ME existem várias impressoras com diferenciações no processo e diferentes faixas de preço. As impressoras 3D de baixo custo que tem se popularizado nos últimos anos, também no Brasil, baseiam-se no princípio de ME e algumas delas inclusive surgiram de iniciativas de projetos de arquitetura aberta – como o RepRap, cuja proposta é a possibilidade de um equipamento gerar peças para se replicar. Além

desse, cita-se a linha de equipamentos 3DCloner, 3D Cube, MakerBot e Cubica (VOLPATO, 2017, p. 154-155).

Existem fatores que influenciam a qualidade das peças produzidas por extrusão de material, o tempo de impressão e a quantidade de material utilizado, devendo ser considerados no planejamento do processo para fabricação de órteses. Pode-se citar: a orientação de construção; a geração de suporte; a estratégia de fatiamento; e a estratégia de preenchimento (JIM; HE; SHIH, 2016).

A impressão 3D depende da existência do modelo digital do objeto. No caso das órteses, a modelagem 3D normalmente é realizada a partir de uma malha gerada na digitalização do membro que a utilizará. A seção a seguir apresentará algumas características dessa etapa.

2.4 DIGITALIZAÇÃO 3D

Para realizar a impressão 3D de uma peça é necessário se ter um modelo 3D da mesma. A modelagem 3D pode ser: totalmente desenvolvida em programas CAD (*Computer Aided Design*, ou seja, Desenho Auxiliado por Computador) ou a partir de um modelo inicial obtido da digitalização 3D. Esse modelo será corrigido e utilizado para impressão, no caso de modelos para uso na medicina, ou servirá como base para a modelagem 3D do produto customizado em programas CAD (THOMPSON et al., 2016).

No caso de produtos assistivos, o modelo físico a ser digitalizado é o próprio corpo humano. Nesse ponto, Mikolajewska et al. (2014) comentam que a associação da impressão 3D e da digitalização 3D podem contribuir ainda mais para o futuro da reabilitação, pois dispositivos customizados na anatomia do usuário tendem a ser mais confortáveis e mais efetivos para o tratamento do paciente. Por exemplo, a fabricação por AM de aparelhos auditivos personalizados utilizando digitalização 3D já está bem estabelecida, dessa forma é possível digitalizar o canal do ouvido do paciente e fabricar por impressão 3D um aparelho auditivo que melhor se adapte ao usuário (PATERSON et al., 2017, p. 244-253).

A digitalização do corpo humano pode ser feita no próprio membro do paciente, chamada também de digitalização direta (FIGURA 5); ou a partir de um molde ou modelo do membro, denominada digitalização indireta. Especificamente para obtenção da geometria do pé, o modelo positivo pode ser feito em gesso

(FIGURA 6), por exemplo, se assemelhando a etapa de obtenção do modelo no processo tradicional de fabricação de órteses de membro inferior. Pode ser feito também um molde, com atadura gessada (FIGURA 7) gerando uma casca no formato do membro ou pressionando o pé sobre uma espuma, moldando a sua geometria inferior e lateral (FIGURA 8) (TELFER et al., 2012a).

FIGURA 5 – DIGITALIZAÇÃO DIRETA



FONTE: TELFER; WOODBURN (2010).

FIGURA 6 – MODELO EM GESSO



FONTE: O autor (2019).

FIGURA 7 – MOLDE EM ATADURA GESSADA



FONTE: O autor (2019).

FIGURA 8 – MOLDE EM ESPUMA



FONTE: JIN et al. (2015).

Vários são os princípios de funcionamento dos equipamentos para digitalização, existem aqueles que precisam de contato físico com a superfície a ser digitalizada e os que não precisam. Algumas das tecnologias sem contato físico são: digitalização a laser; digitalização por sistema de luz estruturada; digitalização por infravermelho; e fotogrametria por fotografias digitalizadas (FREITAS, 2006). Existe

também a possibilidade de usar imagens 2D provenientes de Tomografia Computadorizada (THOMPSON et al., 2016).

Dessery e Pallari (2018) afirmam que escâneres de baixo custo podem ser úteis para aplicações clínicas tendo em vista a simplicidade e rapidez do processo. Porém, possuem menor precisão se comparados com os de alto custo para grandes áreas de digitalização, portanto, a aplicabilidade precisa ser analisada de acordo com o tamanho do segmento do corpo.

Rosenmann (2017) avaliou três sistemas de digitalização 3D de baixo custo para aplicação no desenvolvimento de órteses de membro superior por AM. Foram empregados o dispositivo Kinect 360, cujo princípio é luz estruturada, aliado ao programa Skanect, e o Kinect One, em conjunto com o programa 3DScan, e, para um processo baseado em fotos, fotografias digitalizadas obtidas com uma câmera Canon Eos T3i e o programa ReMake (Autodesk, Inc.®). Para a avaliação de desvios geométricos foi utilizado o escâner 3D de alta precisão NextEngine para obter a malha padrão para comparação; esse equipamento emprega digitalização a laser e é de custo elevado se comparado com as demais tecnologias utilizadas. Quanto aos resultados obtidos para um molde em atadura gessada de punho, mão e dedos, tanto as malhas geradas com o sistema ReMake e com o sensor do Kinect 360 foram consideradas viáveis para a aplicação na fabricação de órteses. O Kinect One não mostrou bons resultados com consideráveis perdas geométricas. Com relação ao tempo de digitalização, tanto o sistema Remake como o NextEngine levaram cerca de 25 minutos, já os sistemas Kinect levaram cerca de 2 minutos (ROSENMANN, 2017). Contudo, o programa Remake foi descontinuado no final de 2017 e substituído pelo ReCap Photo (SANTOS, 2017).

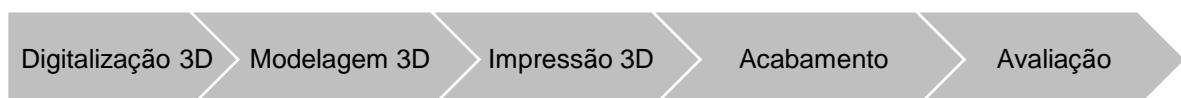
A digitalização 3D é apenas uma das etapas do processo de desenvolvimento de órteses, fornecendo o arquivo digital que, posteriormente, será tratado e utilizado para a modelagem 3D do produto. Todas as etapas do método de fabricação de órteses por Manufatura Aditiva serão abordadas a seguir e faz-se referência também às principais metodologias de desenvolvimento de produto, pois é possível incorporar algumas ferramentas dessas metodologias tradicionais dentro do processo de desenvolvimento de órteses por AM.

2.5 DESENVOLVIMENTO DE ÓRTESES UTILIZANDO DIGITALIZAÇÃO 3D E MANUFATURA ADITIVA

Do ponto de vista do desenvolvimento de um novo produto, muitos autores se dedicaram a criar metodologias para guiar o processo de desenvolvimento de produtos (PDP). Tradicionalmente, na engenharia tem-se as metodologias desenvolvidas por Pahl et al. (2005), Back (1983), Baxter et al. (2000) e Rozenfeld et al. (2006). Algumas ferramentas foram desenvolvidas para auxiliar o desenvolvimento de produtos. Pahl et al. (2005), por exemplo, desenvolveram o *Benchmarking* para a etapa de Planejamento e Esclarecimento da Tarefa, visando elucidar as opções disponíveis no mercado e facilitar a percepção de oportunidades. Entretanto, desenvolver um procedimento para fabricar órteses por Manufatura Aditiva trata-se primariamente do desenvolvimento de um processo, que pode incluir etapas e/ou ferramentas do PDP. A seguir serão abordados os procedimentos de fabricação de órteses por AM encontrados na literatura.

Aliadas à digitalização 3D, tanto órteses de membro superior como de membro inferior já têm sido fabricadas por Manufatura Aditiva (CHEN et al., 2016; JIN et al., 2015). Em se tratando dessas tecnologias aplicadas na fabricação de órteses, existem algumas etapas consolidadas na literatura, tanto para órteses de membro superior como para inferior, são elas: digitalização 3D do membro ou do molde do membro; modelagem 3D do produto a partir do arquivo gerado na digitalização; impressão 3D do produto; uma fase de acabamento e pós-processamento; e, por último, a avaliação do produto em conjunto com o paciente e profissionais (FERNANDES; FOGGIATTO; POIER, 2015; JIN et al., 2015; PAULOSEK et al., 2014; PATERSON; BIBB; CAMPBELL, 2014; ROSENMANN et al., 2017). A FIGURA 9 ilustra tais etapas.

FIGURA 9 – ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DE ÓRTESES UTILIZANDO DIGITALIZAÇÃO E IMPRESSÃO 3D



FONTE: Adaptado de JIN et al. (2015).

Para Jin et al. (2015), com o uso de tecnologias de alto custo de digitalização 3D, como escâneres a laser e tomografia computadorizada, é possível obter diretamente a anatomia do usuário, por isso o processo se inicia com a etapa de digitalização 3D.

Tendo em vista as dificuldades relacionadas à digitalização direta dos membros de crianças com deficiência, evidenciadas por Walbran et al. (2016), Rosenmann (2017) e Weigert (2017), tanto em manter imóvel o membro durante todo o tempo da digitalização como em manter o correto posicionamento para o tratamento, a aquisição da geometria do membro é recomendada pelos dois últimos autores por meio da moldagem com atadura gessada, como mostrado na FIGURA 10, sendo assim uma etapa adicional ao processo ilustrado na FIGURA 11.

FIGURA 10 – MOLDE PARCIAL DE MEMBRO SUPERIOR EM ATADURA GESSADA



FONTE: WEIGERT (2017, p. 49).

FIGURA 11 – ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DE ÓRTESES UTILIZANDO DIGITALIZAÇÃO E IMPRESSÃO 3D



FONTE: Adaptado de ROSENMANN et al. (2017).

Weigert (2017) propôs um método semelhante para o desenvolvimento de órteses de membro superior por Manufatura Aditiva, usando apenas tecnologias de baixo custo, no qual além das etapas mencionadas anteriormente, ele adicionou a etapa de Tratamento de Malha entre as etapas de Digitalização e de Modelagem 3D, conforme FIGURA 11, tendo em vista que a malha obtida na digitalização 3D ainda não está pronta para ser modelada em uma órtese.

FIGURA 12 – ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DE ÓRTESES DE MEMBRO SUPERIOR UTILIZANDO DIGITALIZAÇÃO E IMPRESSÃO 3D



FONTE: Adaptado de WEIGERT (2017).

O autor validou as malhas geradas a partir de tecnologias de baixo custo (digitalização indireta, usando o sensor do Kinect 360 e o programa Skanect, e digitalização por fotos, usando o programa gratuito Autodesk® ReMake) comparando com a malha gerada por um escâner a laser (de alto custo e alta precisão) para uma mesma geometria de referência (um molde para uma órtese de punho, mãos e dedos) e concluiu que ambos os métodos geravam malhas 3D suficientemente boas para serem usadas no desenvolvimento de órteses. O autor descreveu os procedimentos necessários para a correção de uma malha gerada por digitalização de baixo custo para a modelagem da órtese de punho, mãos e dedos, utilizando os programas gratuitos Autodesk® Meshmixer e Blender (Blender Foundation®). Entretanto, o estudo não avançou para além da etapa de modelagem 3D, de forma que os desafios envolvidos em determinar os parâmetros de impressão adequados, e demais dificuldades das etapas posteriores, não foram estudadas (WEIGERT, 2017).

A digitalização indireta também foi escolhida por Rosenmann et al. (2017) para aquisição da geometria do punho, mão e dedos de uma criança com paralisia cerebral tendo em vista o quadro de espasticidade do paciente que não permitiria a manutenção do posicionamento correto pelo tempo necessário para a digitalização direta. O molde negativo foi obtido por moldagem parcial em atadura gessada que foi digitalizado utilizando tecnologia de baixo custo, o sensor do Kinect 360. A órtese foi modelada em programa CAD, com uma geometria que favorecesse a ventilação e foi fabricada em PLA (FIGURA 13) por uma impressora de baixo custo. Destaca-se que a cor da órtese foi escolhida pelo paciente. Como material de conforto foi aplicado o EVA (Espuma Vinílica Acetinada) e foi utilizado o velcro para a fixação. O custo estimado de fabricação dessa órtese foi de 10 dólares, relatado como sendo bem inferior aos custos de órteses convencionais.

FIGURA 13 – ÓRTESE DE PUNHO, MÃO E DEDOS CUSTOMIZADA FABRICADA POR EXTRUSÃO DE MATERIAL



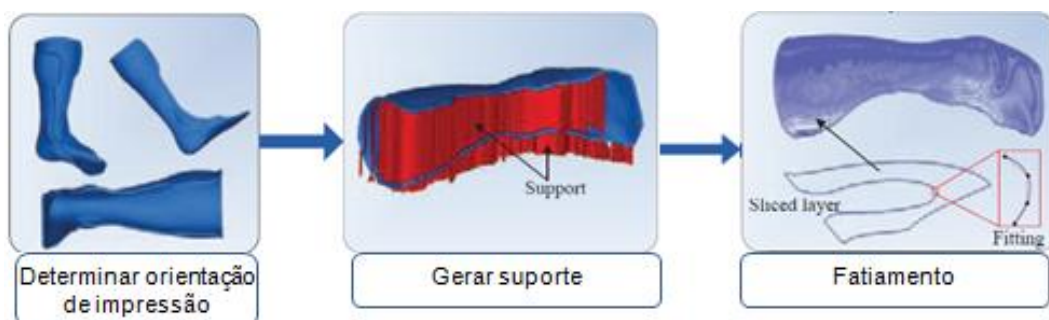
FONTE: ROSENMANN et al. (2017).

Aliando a esses conhecimentos específicos para órteses com as características do processo de fabricação por Manufatura Aditiva, é necessário planejar o processo de impressão antes de iniciar a fabricação do produto, como comentado na seção 2.3 (JIN; HE; SHIH, 2016; VOLPATO; CARVALHO, 2017, p.16-27). Por isso, na próxima seção será abordada essa etapa, que não é citada nos procedimentos até aqui apresentados.

2.6 PLANEJAMENTO DO PROCESSO DE MANUFATURA ADITIVA

Considerando o processo de Manufatura Aditiva por extrusão de material, nessa etapa é determinada a orientação de impressão; são definidos os parâmetros de impressão; também, é gerado o suporte e é realizado o fatiamento do modelo para impressão, como mostra a FIGURA 14 para o caso de uma órtese de tornozelo e pé.

FIGURA 14 – ALGUMAS ETAPAS DO PLANEJAMENTO DE PROCESSO DE IMPRESSÃO DE UMA ÓRTESE DE TORNOZELO E PÉ (AFO)



FONTE: Adaptado de JIN; HE; SHIH (2016).

Para uma órtese de tornozelo e pé (AFO) não articulada, Jin, He e Shih (2016) citam a influência da orientação da impressão na quantidade de material de suporte, no número de camadas, na qualidade superficial e na resistência à flexão; sendo que para esse último quesito a melhor orientação é a “C”, representados na FIGURA 15. Além das propriedades que se deseja na órtese, deve-se considerar também o tamanho da mesa de impressão ao definir a orientação que será utilizada.

FIGURA 15 – ORIENTAÇÃO DE IMPRESSÃO E SUA INFLUÊNCIA



Orientações possíveis	A	B	C
Quantidade de suporte	Menor	Intermediário	Maior
Número de camadas	Maior	Intermediário	Menor
Qualidade superficial	Melhor	Intermediário	Pior
Resistência à flexão	Pior	Intermediário	Melhor

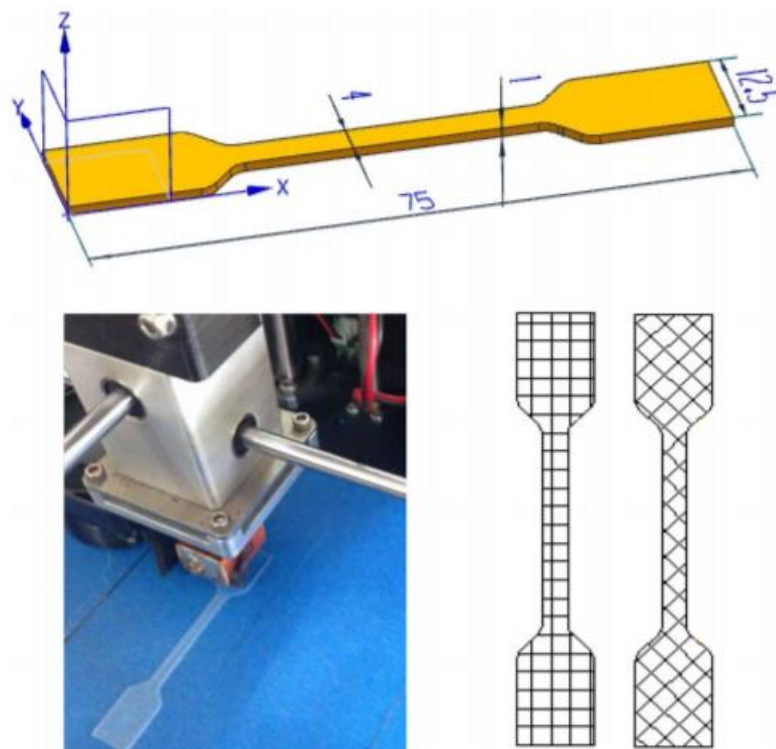
FONTE: Adaptado de JIN; HE; SHIH (2016).

Após determinada a orientação de impressão, é preciso definir os parâmetros de impressão que serão utilizados para fatiar o modelo que será impresso. Os principais parâmetros de impressão são: altura de camada, percentual de preenchimento, tipo de preenchimento, temperatura de extrusão, número de perímetros externos. Esses parâmetros são definidos de acordo com o material que será utilizado e as características tanto da impressora 3D como do produto que será fabricado (JIN; HE; SHIH, 2016).

Com relação, por exemplo, ao poliuretano termoplástico (TPU), para a temperatura de extrusão e ângulo de orientação entre camadas de preenchimento, tem-se como referência o estudo de Xiao e Gao (2017). Eles fabricaram, numa impressora 3D por extrusão de material, corpos de prova de TPU, conforme FIGURA 40, e submeteram a ensaios de tração de acordo com a norma ASTM D412. Para todos os corpos de prova a altura de camada foi de 0,3mm na primeira camada e 0,2mm nas demais e 100% de preenchimento. As temperaturas de extrusão utilizadas

foram: 200, 215 e 230°C e os ângulos de orientação entre camadas de preenchimento foram de 0° e 45°. No estudo obteve-se melhores resultados de resistência à tração (46,7MPa) e alongamento na ruptura (702%) nas amostras com temperatura de extrusão de 215°C e 45° de ângulo de orientação entre camadas de preenchimento. Acima de 230°C os autores destacam que pode haver degradação do material polimérico, não sendo indicado o uso dessas temperaturas.

FIGURA 16 – CORPO DE PROVA PARA ENSAIO DE TRAÇÃO



FONTE: XIAO; GAO (2017)

LEGENDA: A figura demonstra as dimensões dos corpos de prova de acordo com a norma ASTM D412, ilustra um corpo de prova sendo impresso e mostra os ângulos de orientação entre as camadas de preenchimento.

Com os parâmetros definidos, no programa escolhido para o fatiamento do modelo é gerado o suporte e realizado o fatiamento. Com todo o processo planejado, então é possível realizar a impressão 3D.

Partindo desses conhecimentos, a seguir são mostrados os estudos desenvolvidos que aliam diferentes tecnologias de digitalização 3D e AM especificamente para fabricar órteses de membro inferior.

2.7 DIGITALIZAÇÃO 3D E MANUFATURA ADITIVA (AM) PARA ÓRTESES DE TORNOZELO E PÉ (AFO) E ÓRTESES DE PÉ (FO)

Um dos estudos precursores na aplicação de AM no desenvolvimento de órteses de membro inferior foi o de Faustini et al. (2008) que visava avaliar a viabilidade da fabricação de uma órtese de tornozelo e pé (AFO) por Sinterização Seletiva a Laser (SLS) e determinar dentre materiais próprios para SLS qual o mais adequado. O produto assistivo foi modelado a partir de um arquivo de tomografia computadorizada de uma órtese de fibra de carbono que um paciente, homem de 66 anos com Síndrome de Pós-Pólio, já utilizava. Utilizou-se a impressora Vanguard HS (3D Systems®) e foram impressas três órteses em três materiais: nylon 12, nylon 12 preenchido com fibra de vidro e nylon 11.

Devido ao tamanho da órtese e da restrição de tamanho consequente do volume de impressão permitido pelo equipamento utilizado, cada órtese foi impressa separadamente, levando cerca de 32 horas para ser produzida e pós-processada. Uma das órteses fabricadas pode ser vista na FIGURA 17.

FIGURA 17 – ÓRTESE DE TORNOZELO E PÉ PRODUZIDA POR SLS



FONTE: FAUSTINI et al. (2008).

Foi realizada análise de elementos finitos durante o projeto para determinar as dimensões de acordo com os esforços e, em termos de peso, todas as órteses fabricadas por SLS foram mais leves que a órtese que o paciente utilizava. Ensaio destrutivos e de impacto foram conduzidos. Concluiu-se que o melhor material foi o nylon 11 e confirmou-se a viabilidade do processo (FAUSTINI et al., 2008).

Cook et al. (2010) aliaram duas tecnologias AM para desenvolver órteses de pé (FO) compostas por duas partes: uma rígida – externa – e uma macia – interna. A parte externa foi fabricada em nylon 12 por SLS; já a parte interna foi gerada através da injeção de poliuretano em molde fabricado por estereolitografia (SLA). Essa estratégia foi aplicada considerando que havia a necessidade de utilizar na parte interna da órtese um material que fosse confortável e ao mesmo tempo não causasse nenhuma alergia ou reação no contato com a pele. Como várias peças seriam produzidas com um mesmo molde, as órteses geradas não foram anatômicas. Em seguida, um ortesista fez os ajustes necessários para que se adaptassem a cada pessoa. As órteses produzidas foram testadas em quatro pacientes com pé com deformidade congênita (*clubfoot*); uma parte interna e uma externa precisaram ser substituídas durante os sete meses de uso.

Posteriormente, Liu et al. (2014) complementaram o estudo de Cook et al. (2010), reconstruindo a anatomia dos pés de crianças com pé com deformidade congênita a partir de tomografia computadorizada e também utilizando os dados de medições da pressão na planta do pé dos pacientes para produzir por SLS órteses de pé personalizadas. Os resultados mostraram que, para essa patologia, as órteses produzidas foram eficientes em reduzir a deformidade. A órtese produzida pode ser vista na FIGURA 18.

FIGURA 18 – ÓRTESE DE PÉ PARA CRIANÇAS COM PÉ TORTO CONGÊNITO



FONTE: LIU et al. (2014).

Órteses de tornozelo e pé foram produzidas por SLS em nylon 12 para oito pacientes adultos com quadro unilateral de pé caído (*drop foot*). Também foram produzidas órteses pelo método tradicional, como mostrado na FIGURA 19, cujos modelos de gesso foram aproveitados para a digitalização indireta a laser para a fabricação por AM. Avaliações dinâmicas da marcha dos pacientes foram realizadas

e os resultados obtidos mostraram que as órteses impressas tiveram desempenho similar às órteses obtidas pelo método tradicional (CREYLMAN et al., 2012).

FIGURA 19 – ÓRTESE DE TORNOZELO E PÉ PRODUZIDA PELO MÉTODO TRADICIONAL (À ESQUERDA) E POR SLS (À DIREITA)



FONTE: CREYLMAN et al. (2012).

Mavroidis et al. (2011) desenvolveram órteses de tornozelo e pé utilizando um processo de digitalização a laser e estereolitografia para a impressão 3D da órtese em resina de dois tipos de materiais, uma rígida e outra flexível para efeito comparativo. Uma análise da marcha foi realizada comparando o paciente saudável sem órtese, com órtese não customizada padrão no mercado, órtese impressa com material flexível (mostrada na FIGURA 20) e órtese impressa em material rígido.

FIGURA 20 – ÓRTESE DE TORNOZELO E PÉ FLEXÍVEL FABRICADA POR SLA



FONTE: MAVROIDIS et al. (2011).

Os resultados para as três órteses foram muito semelhantes com os resultados de marcha para o paciente sem órtese em termos de momento e ângulo

no tornozelo, o ajuste e o conforto foram melhores com as órteses customizadas do que com a pré-fabricada. Os autores destacaram que a tecnologia proposta tem o potencial de aumentar o número de pacientes com acesso a órteses tendo em vista a redução permitida no custo de aquisição e tempo de fabricação até entrega de uma órtese customizada (MAVROIDIS et al., 2011).

Telfer et al. (2012b) buscaram explorar o potencial de liberdade de projeto permitido pela AM na fabricação de uma FO e uma AFO (FIGURA 21 (A) e (B), respectivamente). Para tanto, empregaram digitalização direta a laser do pé de uma pessoa adulta e saudável e a impressão foi feita em nylon 12 por SLS. A órtese de pé possuía a possibilidade de ajuste na região das cabeças dos metatarsos para alívio de pressão e a órtese de tornozelo e pé era articulada com possibilidade de ajuste de rigidez do movimento da articulação. Ao fabricar três pares da FO ao mesmo tempo, o custo final de cada par foi de €56. Já a unidade da AFO custou €534. Nesse estudo provou-se a possibilidade de explorar a liberdade de design. Justificando a tecnologia AM escolhida pelos autores, eles citam que a Extrusão de Material tem suas vantagens quanto ao baixo custo das impressoras e dos seus materiais, porém demandam mais tempo de fabricação do que a SLS e a SLA e não permitem a fabricação de geometrias de mesma complexidade que as outras duas tecnologias, tendo em vista a necessidade de impressão também do material de suporte, porém citam como vantagem para menores volumes de produção.

FIGURA 21 – (A) ÓRTESE DE PÉ E (B) ÓRTESE DE TORNOZELO E PÉ PRODUZIDAS POR SLS



FONTE: TELFER et al. (2012b).

Também nessa linha, Pallari et al. (2010) citam que, para produção de AFO e FO, a Manufatura Aditiva permite fabricar geometrias complexas que possibilitam reduzir o peso dos dispositivos e melhorar a ventilação, por exemplo. Além disso,

algumas tecnologias, como SLS, podem permitir a criação de uma superfície com amortecimento diferenciado em cada região do pé.

Pallari, Dalgarno e Woodburn (2010) buscaram desenvolver um processo que fosse possível de ser replicado facilmente para a fabricação em massa de órteses de pé para pacientes com artrite reumatoide. O processo consistia em digitalizar diretamente a anatomia do pé através de um escâner a laser (Cobra 3D scanner), modelar a órtese em programa CAD e fabricar em nylon 12 utilizando a impressora Vanguard SLS (3D Systems®). Como não houve a aplicação de material de conforto no contato da órtese com o pé, os pacientes relataram desconforto. Percebeu-se que o tempo entre a aquisição da geometria e da finalização da órtese de pé foi de no mínimo vinte e quatro horas; nesse caso, para a fabricação em massa seriam necessárias várias impressoras. O custo da órtese foi de 80 dólares nesse estudo. Entretanto, a viabilidade do processo foi provada através da aplicação em uma amostra de sete pacientes e os autores relataram que os custos envolvidos poderiam ser reduzidos com o uso de outra tecnologia AM, que não a SLS.

Uma análise dos custos para a fabricação de órteses customizadas por Extrusão de Material foi proposta por Jumani, Skaikh e Shah (2014). A impressora escolhida para a análise foi a Dimension BST 768 (Stratasys®) que tinha custo de £20000 em 2014. Para esse caso, o custo das órteses fabricadas por Extrusão de Material foi de £462 por par, estimando uma produção de 220 pares por ano, sendo esse valor maior do que às fabricadas pelo método tradicional. Os autores constataram que esse resultado foi consequência, em grande parte, do custo da mão de obra do país em questão (Reino Unido), do alto custo tanto do material e como do equipamento escolhidos.

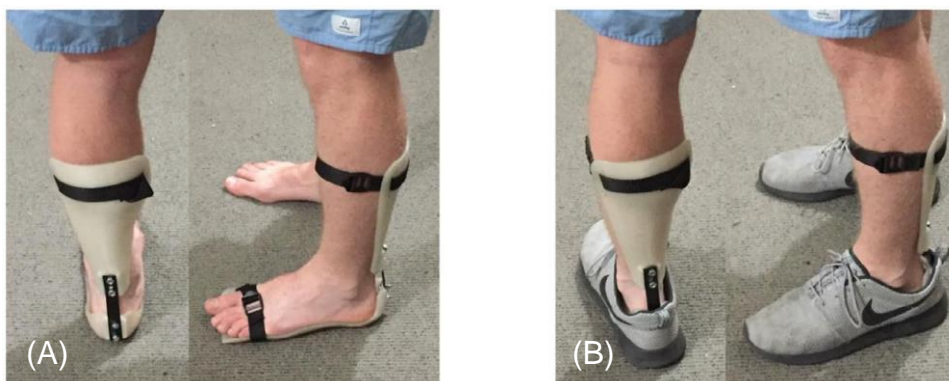
Objetivando reduzir os custos, tecnologias de digitalização 3D de baixo custo, no caso o Kinect 360, foram aplicadas nos trabalhos de: Blender et al. (2014) e Dombroski, Balsdon e Froats (2014).

O estudo de Brendler et al. (2014) foi desenvolvido com uma pessoa adulta e saudável cuja perna foi digitalizada diretamente. Com o uso de ferramentas CAD, obtiveram a modelagem computacional de uma AFO, sem a necessidade de moldes de gesso, entretanto a órtese não foi fabricada. O tempo total de digitalização foi de cerca de um minuto e foi obtido com o pé apoiado no piso, dessa forma não se captou a geometria da planta do pé. Os autores consideraram o uso do sensor Kinect promissor.

Por fim, também utilizando o Kinect 360, Dombroski, Balsdon e Froats (2014) digitalizaram diretamente o pé de uma pessoa adulta e saudável e fabricaram por Extrusão de Material um modelo positivo do pé – com filamento de ABS – para então fabricar uma órtese de pé (palmilha) para uso dentro do calçado. Os autores destacam que o uso do Kinect pode ser uma alternativa de baixo custo nas etapas de fabricação de órteses de pé.

Entretanto, Walbran et al. (2016) citaram como uma desvantagem da digitalização direta a dificuldade que os pacientes têm de, não somente se manter imóveis durante todo o processo de obtenção da anatomia, mas também de manter-se no posicionamento adequado ao tratamento (com os ângulos corretos), tanto os adultos, como, principalmente, as crianças, como corrobora Rosenmann et al. (2016). Para superar isso, os autores desenvolveram um dispositivo para fixação da perna que garantisse o ângulo correto para a digitalização. Contudo, a digitalização a laser foi aplicada em uma pessoa adulta saudável. Uma órtese de tornozelo e pé foi fabricada em ABS por Extrusão de Material em duas partes, possuía 4mm de espessura e permitia o uso junto com o calçado, como pode ser visto na FIGURA 22. Para unir as duas partes e restringir o movimento, uma placa de fibra de carbono foi acrescentada na união das partes.

FIGURA 22 – ÓRTESE DE TORNOZELO E PÉ PRODUZIDA POR EXTRUSÃO DE MATERIAL QUE PODE SER USADA: (A) SEM CALÇADO OU (B) COM CALÇADO



FONTE: WALBRAN et al. (2016).

Além de Walbran et al. (2016), outros estudos recentes têm dado ênfase na aplicação da digitalização a laser e da Extrusão de Material na produção de AFO e FO (BELOKAR; BANGA; KUMAR, 2017; CHA et al., 2017; PEIXOTO; FLORES; SOUTO, 2017). Palmilhas personalizadas, como a palmilha mostrada na FIGURA 23

ainda sem a remoção do material de suporte, foram produzidas em PLA para uma órtese de joelho, tornozelo e pé de um paciente adulto com poliomielite. Cada palmilha teve 25% de redução do peso em comparação com a tradicional, contribuindo na melhora da usabilidade em atividades diárias (PEIXOTO; FLORES; SOUTO, 2017).

FIGURA 23 – PALMILHA PRODUZIDA POR EXTRUSÃO DE MATERIAL



FONTE: PEIXOTO; FLORES; SOUTO (2017).

Visando produzir uma órtese de tornozelo e pé em ABS por Extrusão de Material (FIGURA 24), corpos de prova foram submetidos a ensaios de tração e impacto. Ensaios de compressão também foram conduzidos com um protótipo da órtese. Empregou-se digitalização direta a laser para produzir uma AFO anatômica para um homem de 65kg. Os resultados dos testes mostraram que o módulo de elasticidade e a durabilidade foram considerados suficientes para a aplicação (BELOKAR; BANGA; KUMAR, 2017).

FIGURA 24 – ÓRTESE DE TORNOZELO E PÉ FABRICADA EM ABS POR EXTRUSÃO DE MATERIAL

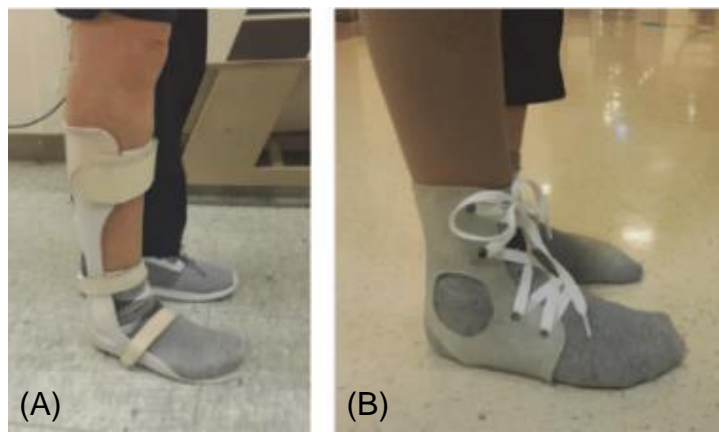


FONTE: BELOKAR; BANGA; KUMAR (2017).

Outra órtese de tornozelo e pé foi fabricada com filamento de poliuretano termoplástico (TPU) em uma impressora Finebot® FB-9600. A digitalização foi direta empregando o escâner Artec® Eva, baseado no princípio de luz estruturada. Nesse

estudo o usuário avaliou a órtese produzida por Manufatura Aditiva, FIGURA 25 (B), comparativamente à sua órtese tradicional, FIGURA 25 (A), por meio do questionário QUEST, após o uso alternado das órteses por dois meses. Os resultados mostraram que, para esse paciente, as três categorias mais importantes são: peso, dimensões e segurança. A AFO produzida por Extrusão de Material foi avaliada como mais leve e mais fácil de usar; entretanto, o paciente não ficou satisfeito com o modo de fixação por cadarços e sentiu-se instável. Na satisfação geral, a órtese impressa foi superior à tradicional (CHA et al., 2017).

FIGURA 25 – (A) ÓRTESE DE TORNOZELO E PÉ TRADICIONAL; (B) ÓRTESE DE TORNOZELO E PÉ PRODUZIDA POR EXTRUSÃO DE MATERIAL



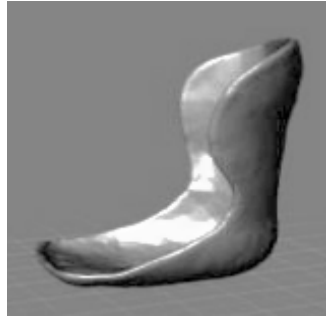
FONTE: CHA et al. (2017).

Toledo et al. (2017) utilizaram uma boneca para simular um bebê e digitalizaram diretamente um dos pés da boneca utilizando um celular e o aplicativo 123D Catch (Autodesk®) – que já foi descontinuado – e utilizaram os programas Blender e Meshmixer para a modelagem da órtese. Tanto o pé quanto a órtese foram impressos em PLA em uma impressora de baixo custo (modelo Stella, Boa Impressão®) para avaliar o encaixe.

Juvenal e Kunkel (2017) aplicaram digitalização direta por meio de fotos para aquisição da geometria do tornozelo e pé de uma boneca. O programa Autodesk® ReMake (também descontinuado) foi utilizado para o processamento das imagens. A malha foi tratada e a órtese foi modelada no programa Meshmixer com espessura de 3mm (FIGURA 26). Para efeito comparativo, digitalizou-se também diretamente utilizando o Kinect 360 e o programa Skanect. As malhas geradas foram comparadas usando o programa gratuito CloudCompare e a amplitude máxima entre elas foi de

0,06mm. As órteses não foram fabricadas. O público visado no estudo era de crianças de 0 a 2 anos com paralisia cerebral, para as quais o custo médio das órteses é de R\$345.

FIGURA 26 – ÓRTESE DE TORNOZELO E PÉ PERSONALIZADA PARA BONECA



FONTE: JUVENAL; KUNKEL (2017).

Pelo exposto, percebe-se que há a preocupação em fabricar órteses, sobretudo de membro inferior, de uma maneira customizada que atenda melhor as necessidades dos pacientes. Entretanto, os custos dos equipamentos para digitalização 3D e Manufatura Aditiva têm limitado a aplicação em contextos clínicos.

2.8 CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Como abordado na seção 2.2, a função das órteses é apoiar, alinhar ou corrigir deformidades. Órteses de tornozelo e pé (AFO) e órteses de pé (FO) são recursos de Tecnologia Assistiva importantes no tratamento de diversos quadros clínicos, sobretudo aqueles de origem neurológica e ortopédica em adultos e crianças.

Um Levantamento do Estado da Arte foi conduzido onde se evidenciou que existem órteses personalizadas e órteses genéricas. Melhores resultados no tratamento são obtidos com órteses personalizadas do que com órteses pré-fabricadas. Além disso, a estética e a sensação de conforto podem estimular ou desestimular o uso. Dentro da categoria das órteses personalizadas, costumeiramente as mesmas são fabricadas pelo processo tradicional, mas a revisão sistemática da literatura, seção 2.6, mostrou que podem ser fabricadas através de digitalização 3D e Manufatura Aditiva com benefícios para o usuário.

Com as informações obtidas na revisão bibliográfica foi possível se obter o quadro comparativo (*Benchmarking*) mostrado no APÊNDICE 2. Foram incluídas também informações sobre uma órtese genérica (de uma loja ortopédica de Curitiba) e de uma órtese personalizada fabricada pelo método tradicional. Com base em Volpato (2017, p. 154-155), classificou-se o custo das tecnologias de impressão 3D em alto e baixo. As tecnologias de digitalização 3D foram classificadas também em alto e baixo custo de acordo com o trabalho de Rosenmann (2017). Com esse comparativo foi possível visualizar mais facilmente a oportunidade de pesquisa.

Nos estudos analisados, percebeu-se que essencialmente três tecnologias de AM têm sido aplicadas na fabricação de órteses de tornozelo e pé (AFO) e órtese de pé (FO), são elas: Sinterização Seletiva a Laser (SLS), Extrusão de Material (ME) e Estereolitografia (SLA). Os materiais mais utilizados são nylon (em SLS) e ABS (em ME), apenas um estudo utilizou o filamento de TPU. Já para a digitalização 3D, a tecnologia mais empregada é digitalização a laser, mas o custo dos aparelhos inviabiliza a sua utilização e autores vêm explorando o uso de soluções de baixo custo como, por exemplo, o sensor Kinect 360.

Grandes esforços têm sido concentrados em pessoas adultas e saudáveis, porém os desafios da digitalização dos membros inferiores de crianças com algum tipo de deformidade e com, ou sem, o cognitivo preservado ainda precisam ser vencidos. Considerando o contexto brasileiro, as tecnologias de baixo custo para impressão e digitalização 3D se apresentam como potencial para a fabricação de órteses de membro inferior.

Métodos para o desenvolvimento de órteses de membro superior por Manufatura Aditiva de baixo custo já foram propostos (ROSENMANN et al., 2017; WEIGERT, 2017), entretanto, a aplicabilidade para membros inferiores precisa ser estudada, além da necessidade de se propor as modificações decorrentes dessa aplicação. Ademais, as etapas de impressão, pós-processamento e avaliação precisam estudadas para se gerar o procedimento completo para fabricação de órteses de tornozelo e pé por Manufatura Aditiva. Adicionalmente, nos trabalhos que descritos na seção 2.6, especificamente para órteses AFO e FO, não foram encontrados registros dos parâmetros de impressão utilizados pelos autores, dificultando, assim, a reprodutibilidade dos estudos e requerendo novos esforços de planejamento do processo antes da impressão 3D.

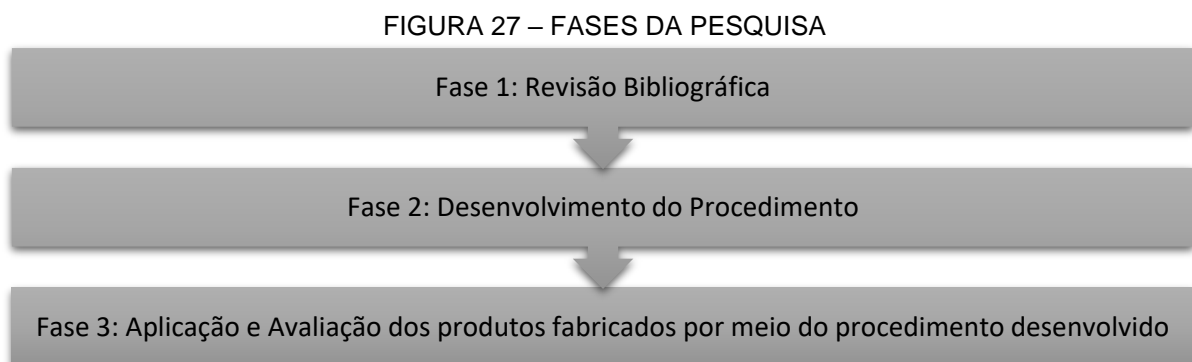
3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Esse capítulo se destina a abordar o procedimento metodológico adotado para desenvolver o procedimento para a fabricação de órteses não articuladas de tornozelo e pé por Manufatura Aditiva (AM), as etapas e os métodos, ferramentas e programas de baixo custo que podem ser empregados para esse fim.

3.1 DESENVOLVIMENTO DO PROCEDIMENTO PARA A FABRICAÇÃO DE ÓRTESES NÃO ARTICULADAS DE TORNOZELO E PÉ POR MANUFATURA ADITIVA

Quanto à sua natureza, essa pesquisa se classifica como aplicada, objetivando gerar conhecimento aplicados a solucionar problemas específicos que envolvem a fabricação de órteses de membro inferior. A abordagem é qualitativa, sendo a opinião dos clientes com relação à sua satisfação tenha sido obtida através de questionários (SILVA; MENEZES, 2005, p. 20). Quanto aos objetivos, é uma pesquisa exploratória, pois visa aumentar a familiaridade com o tema, explicitando o problema de pesquisa, e gerar hipóteses para solucioná-lo. Para tanto, os procedimentos técnicos envolvidos são de pesquisa bibliográfica e estudo de caso (GIL, 2002, p. 41).

Esta pesquisa pode ser dividida em três principais fases, sendo elas: Revisão Bibliográfica, Desenvolvimento do Procedimento; e Aplicação e Avaliação dos produtos fabricados por meio do procedimento desenvolvido, como demonstrado na FIGURA 27.



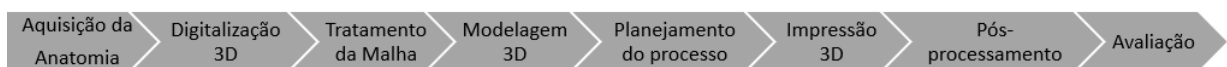
FONTE: O autor (2019).

Na Fase 1 foi realizada uma pesquisa bibliográfica, buscando-se em livros, artigos em periódicos, de congressos e teses e dissertações que fundamentassem a oportunidade de pesquisa encontrada, resultando no conteúdo exposto no Capítulo 2. Na Fase 2 o procedimento em si foi desenvolvido através de uma adequação dos métodos propostos por Rosenmann et al. (2017), Rosenmann (2017) e Weigert (2017) para membros superiores, com adição de uma etapa de planejamento do processo de impressão 3D, tendo em vista a sua importância antes da impressão propriamente dita dos produtos (JIN; HE; SHIH, 2016). A aplicabilidade para membros inferiores foi avaliada e alterações necessárias foram propostas e serão mostradas na próxima seção. Na Fase 3, o procedimento foi aplicado na fabricação de órteses para pacientes reais, dessa forma, o procedimento foi avaliado através da avaliação dos produtos fabricados por meio dele, como será apresentado no Capítulo 4.

3.2 DETALHAMENTO DO PROCEDIMENTO PARA A FABRICAÇÃO DE ÓRTESES NÃO ARTICULADAS DE TORNOZELO E PÉ POR MANUFATURA ADITIVA

As etapas principais do procedimento para o desenvolvimento das órteses de membro inferior foram: aquisição da geometria; digitalização 3D de baixo custo; tratamento da malha; modelagem 3D; planejamento do processo; impressão 3D de baixo custo; pós-processamento; e avaliação, como esquematizado na FIGURA 28.

FIGURA 28 – ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DE ÓRTESE DE MEMBRO INFERIOR



FONTE: O autor (2019).

Nessa seção serão detalhados os métodos, ferramentas e programas de baixo custo que podem ser empregados em cada etapa do procedimento, de acordo com a FIGURA 28. Uma “Etapa zero” inicial foi adicionada e será detalhada.

3.2.1 Etapa zero

Essa etapa consiste na etapa anterior ao início da fabricação da órtese e consiste na definição dos participantes da pesquisa, os compromissos legais envolvidos, as avaliações iniciais e o levantamento das necessidades dos clientes.

Como o método envolve avaliação com participantes usuários de órteses devido ao seu quadro clínico, cabe identificar a existência de três tipos de clientes, sendo eles:

- a) Cliente primário: o usuário da órtese, propriamente dito;
- b) Cliente secundário: o cuidador (pais ou responsáveis);
- c) Cliente terciário: profissionais envolvidos no tratamento (fisioterapeutas e o médico que prescreveu o uso da órtese).

No caso específico desse projeto, dispunha-se de uma impressora 3D com mesa de impressão com área de 20cm por 20cm e altura máxima de impressão de 20cm, dessa forma, as órteses produzidas não poderiam ultrapassar essas dimensões. Por isso, delimitou-se que os usuários das órteses deveriam ser crianças.

Os clientes primários, então, foram quatro crianças entre 1 ano e 8 meses e 4 anos com a patologias neurológicas e/ou ortopédicas que tinham indicação de uso de órtese AFO não articulada. Essas crianças foram selecionadas no Centro de Reabilitação Neurológica Vitória, instituição coparticipante do projeto. Não foram convidadas a participar do projeto crianças: com deformidades acentuadas com indicação de correção cirúrgica; que foram submetidas à cirurgia a menos de seis meses; que possam ter suspeita de lesões nos membros inferiores; que a causa da deformidade seja um quadro degenerativo; e/ou que não tenham acompanhamento por fisioterapeuta. No QUADRO 2 constam as informações dos clientes primários, sem identificá-los pelo nome para resguardá-los, suas idades na data da seleção, sexo, quadro clínico e a informação se já usavam órteses tradicionais anteriormente. O quadro clínico foi descrito pelo familiar.

QUADRO 2 – CLIENTES PRIMÁRIOS PARTICIPANTES DO ESTUDO

Identificação	Idade	Sexo	Quadro Clínico	Utilizava órtese tradicional
Caso 1	3 anos	Masculino	Paralisia Cerebral, decorrente de parto gemelar prematuro, com quadriparesia espástica grave	Sim
Caso 2	1 ano e 8 meses	Feminino	Paralisia Cerebral, acompanhada de seqüela hipóxico-isquêmica decorrente do parto e Microcefalia hipotônica	Não
Caso 3	4 anos	Feminino	Paralisia Cerebral e Microcefalia	Sim
Caso 4	2 anos	Feminino	Paralisia Cerebral	Não

FONTE: O autor (2019).

Tendo em vista que se trata de um projeto envolvendo seres humanos, fez-se necessária a apreciação e aprovação do projeto pelo Comitê de Ética de Pesquisa com Seres Humanos para que então fossem iniciadas as atividades em contato com pacientes. O projeto foi submetido na Plataforma Brasil e foi aprovado sob parecer número 2.698.690 no início da segunda quinzena do mês de agosto de 2018.

Após a aceitação da participação na pesquisa, os responsáveis pelas crianças assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e Termo de Consentimento Para Uso de Imagem (TCUI), constantes no APÊNDICE 3; os fisioterapeutas responsáveis pelo acompanhamento das crianças assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), APÊNDICE 4; e foi apresentado para a criança o Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE) – APÊNDICE 5 – e foi colhida a impressão digital do polegar.

Em seguida, o responsável pela criança e os fisioterapeutas foram convidados a avaliar as órteses convencionais por meio do questionário B-QUEST (ANEXO 1) e do questionário complementar presente no APÊNDICE 6, que inclui questões sobre a satisfação quanto à estética e personalização da órtese (não constantes no B-QUEST). Esse questionário complementar foi elaborado considerando que a estética é um fator importante para a aceitação e continuidade do uso do produto assistivo (CABRAL et al., 2017).

Também foi prevista nessa etapa a realização do levantamento das necessidades dos clientes. Elas foram obtidas por meio de conversas informais, preenchendo-se o formulário presente no APÊNDICE 7. Conversas foram conduzidas com os fisioterapeutas para serem obtidas as necessidades presentes na prescrição da órtese, feita pelo médico, e as demais necessidades envolvidas no tratamento, que também foram registradas no formulário do APÊNDICE 7. Como se trata de um produto personalizado, anatômico e de uso individualizado, tais necessidades são obrigatoriamente obtidas caso a caso.

A participação do usuário do produto assistivo e do cuidador principalmente na definição de características estéticas do produto visam aumentar a satisfação dos mesmos com o produto. Dessa maneira, espera-se que além de cumprir os requisitos relacionados ao tratamento, o usuário esteja satisfeito com a estética do produto e seja estimulado a continuar utilizando, dando continuidade ao tratamento, como corrobora Cabral et al. (2017). Na etapa de avaliação será verificada essa satisfação.

Com a definição dos clientes e das suas necessidades é possível dar prosseguimento ao projeto, de forma que o projeto busque atender a essas necessidades. A próxima etapa é a de aquisição da anatomia do membro para o qual a órtese será fabricada.

3.2.2 Aquisição da anatomia

Nos trabalhos tanto de Rosenmann (2017) quanto Weigert (2017) foi realizada a moldagem parcial do membro superior em atadura gessada. Inicialmente, testou-se esse método para membro inferior com uma pessoa adulta saudável da equipe de trabalho. Os materiais utilizados foram: atadura gessada, tesoura e recipiente com água. A atadura foi cortada em dimensão adequada ao tamanho do membro, umedecida e posicionada conformando-se ao membro, da mesma forma como fora relatado para membro superior por Rosenmann (2017) e Weigert (2017). Foi aguardado tempo suficiente para que o gesso adquirisse firmeza para remoção, a seguir foi removido do membro e foi aguardado o tempo de secagem total resultando no molde da FIGURA 29.

FIGURA 29 – MOLDE DE MEMBRO INFERIOR EM ATADURA GESSADA



FONTE: O autor (2019).

Entretanto, ao realizar esse mesmo procedimento na clínica, FIGURA 30 (A), com a condição real de uma criança com deficiência, verificou-se uma dificuldade de se manter o membro inferior imóvel na posição adequada durante o tempo necessário, mesmo mantendo a criança ocupada com alguma atividade lúdica. A FIGURA 30 (B)

ilustra a fisioterapeuta se esforçando para manter o posicionamento até que o gesso adquirisse rigidez suficiente para remoção do molde.

FIGURA 30 – (A) MOLDAGEM PARCIAL DO MEMBRO INFERIOR DE UMA CRIANÇA COM DEFICIÊNCIA; (B) FISIOTERAPEUTA POSICIONANDO O MEMBRO



FONTE: O autor (2019).

Constatou-se que o molde gerado, FIGURA 31 (A), não poderia ser usado para fabricar uma órtese, pois o ângulo correto da planta do pé não foi mantido, como mostrado pela indicação do desvio na FIGURA 31 (B), em que se tem esse mesmo molde digitalizado. Caso utilizado para fabricar a órtese, as deformidades não seriam minimizadas, invalidando a finalidade da órtese.

FIGURA 31 – (A) MOLDE PARCIAL EM ATADURA GESSADA; (B) MOLDE DIGITALIZADO INVIÁVEL PARA USO POR CAUSA DO DESVIO NA PLANTA DO PÉ



FONTE: O autor (2019).

Várias tentativas foram realizadas em que todas falharam e, assim, confirmou-se a que a moldagem parcial não seria a abordagem mais adequada. Dessa forma, foi necessário adotar a moldagem total do membro, procedimento semelhante ao descrito na etapa 1 do APÊNDICE 1, referente à Cartilha de Confecção e Manutenção de Órteses, Próteses e Meios Auxiliares de Locomoção, do Ministério da Saúde (2013).

Para a realização da moldagem total, o membro é imobilizado com o auxílio da atadura gessada durante todo o processo e, após a secagem parcial do gesso – até adquirir firmeza –, é realizada a remoção. É importante que o fisioterapeuta esteja presente e realize o posicionamento adequado do membro, de acordo com prescrição médica, mantendo firmemente os ângulos corretos até que o gesso adquira firmeza para remoção.

Os materiais empregados para a aquisição da anatomia foram:

- a) Atadura gessada: nesse trabalho foram utilizados 3 rolos de atadura gessada de 20cm de largura e 4m de comprimento, da marca Polar Fix, com tempo de secagem total entre quatro e seis minutos, cujo custo médio é de R\$4,50 por rolo e pode ser adquirido em lojas ortopédicas ou em farmácias. Podem ser escolhidas e utilizadas ataduras com tempo de secagem menor, para reduzir o tempo de espera, porém deve-se atentar para o fato de que o posicionamento correto do membro leva alguns minutos e uma atadura de secagem muito rápida pode não permitir tempo suficiente para esse posicionamento. Também podem ser usadas ataduras de largura menor, de 10cm por exemplo, tendo em vista que foi necessário cortar ao meio cada rolo para utilização em crianças. O molde de cada membro necessitou de uma quantidade de atadura de 10cm por 4m; dessa forma, um rolo foi utilizado para cada criança.
- b) Tesoura: para cortar a atadura gessada no comprimento e largura ao membro;
- c) Recipiente com água: para umedecer a atadura gessada. Optou-se por utilizar água morna para que a sensação térmica fosse agradável no contato com a pele da criança;
- d) Placa para facilitar o corte da atadura e remoção do gesso: essa placa pode ser obtida por recorte em forma retangular de uma placa de material polimérico termoplástico e posterior aquecimento e dobra em forma de “L”.

Para este trabalho foi escolhido, pela disponibilidade no laboratório, o polipropileno termoplástico, que é o mesmo material das órteses convencionais. Recortou-se a placa com 3 cm de largura, 50 cm de comprimento e 3mm de espessura, e foi dobrada aos 20 cm de comprimento. Essa placa pode ser reaproveitada em vários pacientes.

- e) Filme de PVC (Policloreto de Vinila): a aplicação do filme de PVC visa diminuir o contato da pele da criança com o gesso, diminuindo a sujeira e também evitando possíveis alergias;
- f) Fita crepe: para a fixação da placa no filme de PVC;
- g) Estilete, para cortar o gesso no momento da remoção;
- h) Lápis: para marcações.

Também é necessário um local amplo que possa permitir a presença de várias pessoas, de preferência com uma maca. Podem ser utilizados jornais ou sacos de lixo no chão ou na maca para facilitar a limpeza da sala utilizada.

No caso da clínica participante do projeto, uma sala com macas foi disponibilizada para essa etapa, esta já era de familiaridade dos pacientes, pois realizam a fisioterapia nela. A seguir, o procedimento será detalhado.

Primeiramente recobre-se o membro com filme de PVC, posiciona-se a placa de material polimérico e aplica-se a fita crepe para fixação. O fisioterapeuta posiciona o membro com os ângulos adequados ao tratamento do paciente, enquanto outra pessoa umedece bem a atadura gessada no tamanho necessário e a aplica ao membro com movimentos de desenrolar o rolo de atadura e envolver o membro, desde cerca de 2cm abaixo do joelho até a ponta do pé. Após isso, umedece-se as mãos e alisa-se a atadura de forma que a sua trama seja fechada com gesso e para que a atadura adquira o formato do membro. O fisioterapeuta deve manter o posicionamento durante todo o tempo necessário para que o gesso adquira a rigidez suficiente para a remoção.

Quando estiver firme – cerca de 3 minutos depois, para o caso da atadura utilizada nessa pesquisa –, corta-se com estilete a atadura sobre a placa de material polimérico, evitando ferimentos. Aplica-se um esforço de abertura para que a “bota” de gesso se abra, mas sem perder a anatomia nas regiões de interesse (panturrilha e base do pé). Assim que removida, pode-se remover o filme de PVC e realizar a limpeza do membro. Nesse momento, enquanto a cura do gesso não finalizou, é importante marcar a lápis o tamanho da borda da órtese e realizar o corte com estilete,

visando obter um molde com o tamanho bem próximo da órtese desejada. Deixa-se que a secagem completa ocorra em local arejado. Por fim, é feita uma prova desse molde no paciente e o fisioterapeuta realiza uma verificação, aprovando o molde de acordo com ângulos necessários, ou não. Caso o molde reprove, é necessário refazer o todo o procedimento.

Para o caso de um paciente que necessite de órteses para os dois membros inferiores, realiza-se a moldagem primeiro de um dos membros e depois do outro.

Um esquema da etapa da aquisição da anatomia é mostrado na FIGURA 32.

FIGURA 32 – AQUISIÇÃO DA ANATOMIA POR MOLDAGEM TOTAL DO MEMBRO COM ATADURA GESSADA



FONTE: O autor (2019).

Porém, para facilitar a etapa de modelagem 3D, é possível garantir que a superfície esteja plana já na etapa de aquisição de anatomia. Isso pode ser feito de duas formas, essencialmente, sendo uma delas: fixar uma palmilha de papelão no formato do pé da criança antes da aplicação da atadura gessada (entre etapas 1 e 2 da FIGURA 32) – o fisioterapeuta pode prever também uma sobra nos dedos do pé para o crescimento do paciente, como mostrado na FIGURA 33 (A). Esse

procedimento foi aplicado no Caso 1 e 4 da seção 4.1.1. A segunda opção, realizada no Caso 2, é, após a secagem total do gesso, aplicar no molde na região da ponta do pé uma mistura de gesso comum e água, utilizando papelão para formar um molde, e, após a secagem, realizar o lixamento para suavizar as dobras e reentrâncias dos dedos. Na FIGURA 33 (B) esse procedimento é mostrado no molde da esquerda e o molde da direita mostra o resultado após o lixamento, sendo esse o molde final.

FIGURA 33 – MÉTODOS PARA SE OBTER UMA SUPERFÍCIE PLANA NA BASE DO PÉ: (A) ADIÇÃO DE UMA PALMILHA; (B) ADIÇÃO DE UMA MISTURA DE GESSO E LIXAMENTO.



FONTE: O autor (2019).

Em se tratando de projeto de órteses para crianças, algumas recomendações especiais podem ser feitas. Durante a realização do procedimento, é possível que a criança se sinta desconfortável, esse sentimento pode se apresentar com contração involuntária da musculatura, o que dificulta a aquisição da anatomia. Sendo assim, o ideal é que o procedimento seja realizado após a seção de fisioterapia, para que a musculatura esteja relaxada e também se recomenda a presença do responsável e do fisioterapeuta dela, para que a criança se sinta segura. Atividades de entretenimento podem ser realizadas visando descontração e a criação de um ambiente lúdico, tal como na FIGURA 30 (A) ou na FIGURA 34, na qual foi realizada também a moldagem do pé da boneca da criança. Ainda assim, é comum acontecer o choro da criança, tal como acontece na moldagem pelo método tradicional, por isso a presença do responsável é importante para acalmá-la.

FIGURA 34 – MOLDAGEM DO MEMBRO INFERIOR DE UMA BONECA PARA CRIAR UM AMBIENTE DESCONTRAÍDO NO MOMENTO DA AQUISIÇÃO DA ANATOMIA



FONTE: O autor (2019).

O resultado esperado ao final da etapa de aquisição da anatomia é um molde conforme ilustrado na FIGURA 33 (B), do lado direito.

3.2.3 Digitalização 3D

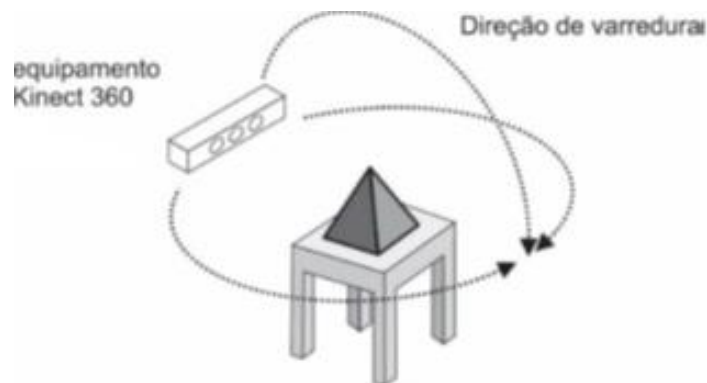
A fase de digitalização do molde se baseia no trabalho de Rosenmann (2017), descrito na seção 2.4, no qual o autor utilizou a digitalização por fotos com o programa Autodesk® ReMake e o sensor do Kinect 360 com o programa Skanect PRO (da fabricante Occipital). Entretanto, com a substituição do programa Autodesk® ReMake pelo ReCap Photo, notou-se um maior tempo de espera até o recebimento do arquivo, cobrança de créditos por uso do espaço na nuvem e os resultados das primeiras digitalizações não foram satisfatórios. Portanto, optou-se por empregar o sensor do Kinect 360 juntamente com o programa Skanect PRO pois ele é capaz de gerar malhas 3D que podem ser utilizadas no desenvolvimento de órteses, sem defeitos e com menor tempo envolvido no processo de digitalização (ROSENMANN, 2017; WEIGERT, 2017). É possível encontrar a venda esse sensor por menos de R\$200. Já o programa Skanect tem uma versão gratuita e a versão profissional (Skanect PRO), cuja licença custa US\$125, permite o uso comercial e não limita o tamanho do arquivo STL.

O sensor do Kinect tem resolução para digitalização de 640x480 pixels, o objeto precisa estar recebendo iluminação uniforme (de preferência sem a

interferência de raios solares) e deve-se evitar superfícies reflexivas ou brilhantes para digitalização (BRENDLER, 2013; BRITO; MENEGON, 2015; DAANEN; TER HAAR, 2013; GUANGSONG; JIEHONG, 2013; MANKOFF; RUSSO, 2013, *apud* WEIGERT, 2017, p. 34).

Nessa etapa foram utilizados os moldes obtidos na etapa de aquisição da anatomia; um objeto de dimensões conhecidas para ajuste de escala (nesse trabalho foi usado um escalímetro); o sensor do Kinect 360; e o programa Skanect, instalado em um computador com placa de vídeo dedicada. O processo de digitalização está representado esquematicamente na FIGURA 35 e consiste em movimentar o sensor ao redor do objeto de estudo, realizando a varredura da área de interesse; no caso da aplicação na digitalização de órteses, a área de interesse é superfície interna do molde em atadura gessada.

FIGURA 35 – ESQUEMA DA UTILIZAÇÃO DO KINECT 360

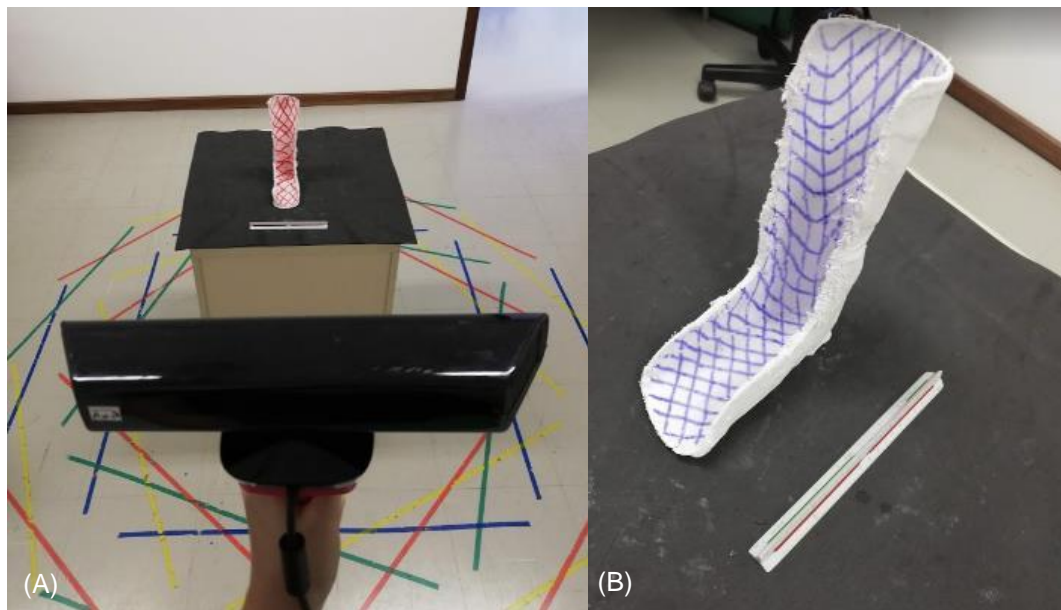


Fonte: Adaptado de ROSENMANN (2017, p. 58).

No trabalho de Rosenmann (2017) conclui-se que ao desenhar um padrão xadrez de linhas com caneta sobre o molde em atadura gessada obtém-se os melhores resultados de digitalização, por isso esse procedimento foi adotado, conforme mostrado na FIGURA 36 (A) e (B).

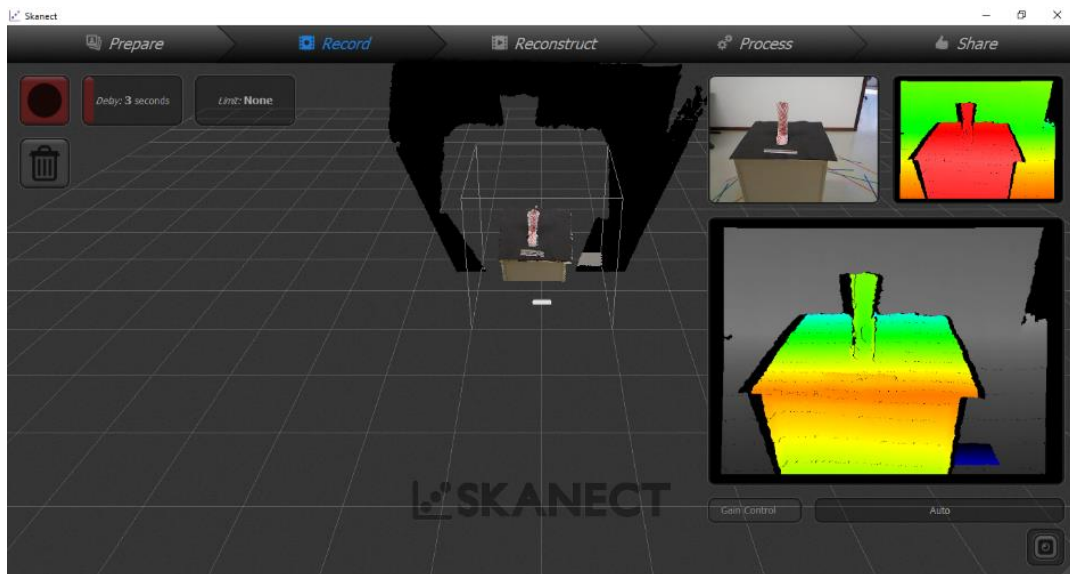
O programa Skanect informa visualmente durante o processo a distância adequada entre equipamento e objeto, de forma que a tonalidade da área de interesse deva estar na cor verde (o que corresponde a uma distância de cerca de 50 e 70cm), conforme FIGURA 37. Ele também permite confirmar em tempo real que as regiões de interesse foram completamente digitalizadas antes de finalizar o processo de digitalização, evitando retrabalho.

FIGURA 36 – DIGITALIZAÇÃO DE MOLDES DE ÓRTESES USANDO O KINECT 360: (A) AMBIENTE ESCOLHIDO PARA A DIGITALIZAÇÃO; (B) DETALHE DO MOLDE COM LINHAS XADREZ DESENHADAS



Fonte: O autor (2019).

FIGURA 37 – CAPTURA DE TELA DO PROGRAMA SKANECT DURANTE A DIGITALIZAÇÃO 3D



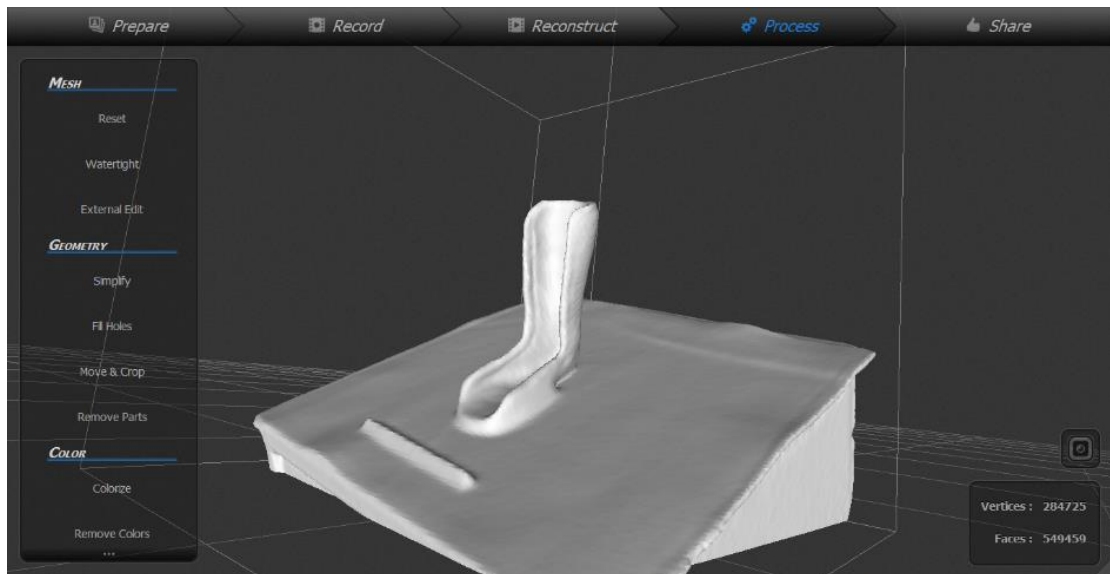
Fonte: O autor (2019).

Definiu-se um volume de digitalização cúbico de 60cm de lado, outras configurações do programa podem ser visualizadas no APÊNDICE 8. Utilizou-se uma superfície opaca e escura para apoiar o molde durante a digitalização e a sala escolhida não tinha janelas. O tempo necessário de varredura de cada molde foi de cerca de um minuto e 30 segundos. Optou-se por digitalizar individualmente cada

molde, para gerar arquivos independentes e minimizar áreas de oclusão durante a digitalização. As linhas que aparecem no piso na FIGURA 36 (A) não são necessárias para a digitalização usando o sensor do Kinect 360; elas fazem parte da sala de digitalização do laboratório do NUFER – Núcleo de Manufatura Aditiva e Ferramental, laboratório onde essa pesquisa foi desenvolvida – e são usadas quando se trata de digitalização por fotos.

Após a finalização da digitalização, exporta-se o modelo em formato STL na aba “Share” do programa Skanect e seleciona-se a opção das dimensões em milímetros. Dessa maneira, o resultado da etapa de digitalização 3D é um arquivo em formato STL em tamanho real do molde e de todos os demais objetos que foram captados dentro do volume de digitalização pré-selecionado, como mostrado na FIGURA 38. A partir desse momento, o arquivo também pode ser chamado de modelo 3D.

FIGURA 38 – CAPTURA DE TELA DO PROGRAMA SKANECT APÓS A DIGITALIZAÇÃO 3D



Fonte: O autor (2019).

3.2.4 Tratamento da malha

Após o molde ser digitalizado, o mesmo não está pronto para ser impresso. Primeiro, é necessário corrigir possíveis falhas que possam ter sido geradas no modelo 3D durante o processo de digitalização e limitar o arquivo apenas à superfície de interesse. Posteriormente, com o arquivo corrigido, realizar a modelagem 3D da órtese. A etapa de tratamento da malha é fundamental antes de se partir para a

modelagem 3D da órtese, pois quanto melhor a malha (suave, sem lacunas ou vazios, dentre outras características), menor a chance de erros acontecerem na etapa de modelagem 3D.

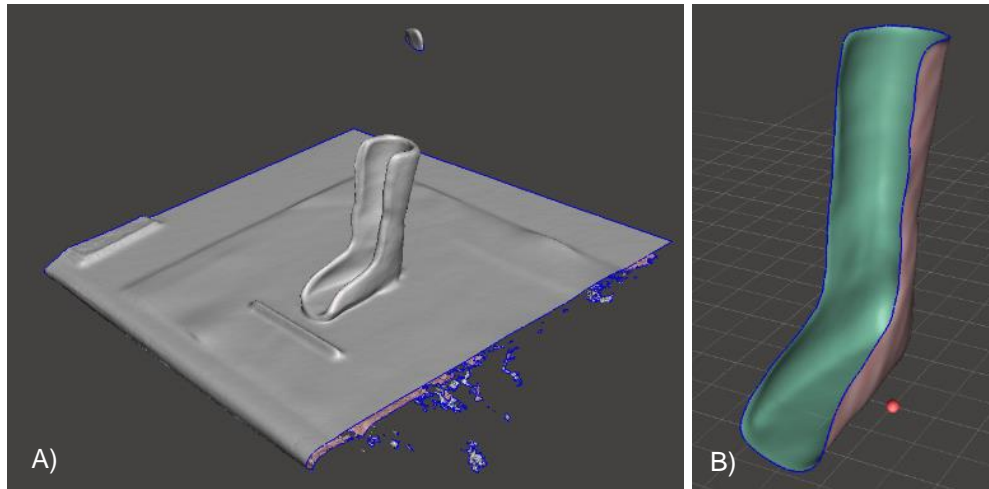
Segundo Weigert (2017), o programa gratuito Autodesk® Meshmixer apresenta as ferramentas adequadas para o tratamento da malha STL gerada na digitalização 3D e será utilizado nessa etapa. Os procedimentos que são descritos nessa seção se baseiam no trabalho desenvolvido por Weigert (2017) para órteses de membros superiores; desafios adicionais que possam ocorrer durante a realização dessa etapa e não tenham sido descritos nesse trabalho, foram detalhados por Weigert (2017) e sugere-se a consulta.

O tratamento da malha pode, então, ser dividido em:

- a) Conferência da escala: Weigert (2017, p. 89) indica que é necessário corrigir a escala apenas dos modelos gerados por digitalização por fotos, pois, por causa do princípio de funcionamento do sensor do Kinect 360, ele gera malhas em tamanho real. Porém, como o dispositivo pode perder a calibração, preventivamente, é preferível realizar a conferência; entretanto, não foram encontrados desvios entre as dimensões reais e as do modelo nos casos analisados. Caso sejam verificados desvios, a calibração pode ser realizada conforme o procedimento descrito por Rosenmann (2017, p. 38-39).
- b) Delimitação da área de interesse: consiste na exclusão das regiões que também foram capturadas pelo sensor durante a digitalização e que não são necessárias para a fabricação da órtese, ou seja, os demais objetos da cena de digitalização, a superfície onde o molde foi posicionado e a parte externa do molde. Deve-se manter apenas a região do molde que teve contato com a pele da pessoa.
- c) Correção dos defeitos e suavização: nessa etapa confere-se se a malha apresenta alguma abertura, caso positivo elas devem ser fechadas. Além disso, as bordas e a superfície devem ser suavizadas.

Um detalhamento dessas etapas é apresentado no APÊNDICE 9, identificando as funções do programa Meshmixer que devem ser utilizadas. A FIGURA 39 demonstra o resultado comparativo das etapas de digitalização 3D, em (A), e de tratamento da malha, em (B). Ressalta-se que o modelo 3D até esse ponto consiste apenas de uma superfície e não um corpo sólido.

FIGURA 39 – (A) ARQUIVO RESULTANTE DA DIGITALIZAÇÃO 3D; (B) ARQUIVO APÓS O TRATAMENTO DA MALHA



FONTE: O autor (2019).

3.2.5 Modelagem 3D

Nessa etapa a malha corrigida é modificada para formar a órtese personalizada para o usuário, dessa forma, compreende as atividades relacionadas ao projeto do produto. Portanto, devem ser retomadas as necessidades dos clientes que foram levantadas no início do projeto. Nesse momento é preciso ter as respostas para as seguintes perguntas: será aplicado material de conforto no interior da órtese? Qual será o tipo de fixação? Qual será o material da órtese?

Para esse projeto escolheu-se aplicar EVA como material de conforto, pois é de baixo custo e amplamente utilizado nas órteses tradicionais, dessa forma não implica em estudos adicionais sobre o comportamento com relação ao contato com a pele. Os fisioterapeutas solicitaram que o EVA fosse aplicado na parte interna da órtese como um todo, para aumentar o conforto ao usuário. Para a fixação no membro, optou-se por manter o método utilizado nas órteses tradicionais, e também aplicado por Creylman et al. (2012), utilizando velcro, pois permite fácil ajuste de acordo com o tamanho do membro. Uma tentativa de melhoria do método de fixação foi proposta para o Caso 3 e será apresentada posteriormente.

Para o material da impressão, escolheu-se o poliuretano termoplástico (TPU), pois ele foi pouco explorado na literatura para essa aplicação – apenas no estudo de Cha et al. (2017) foi utilizado esse material – e pela disponibilidade do mesmo no laboratório. Além disso, o poliuretano termoplástico possui excelente desempenho em

tração, impermeabilidade e resistência a fungos, além de apresentar certa flexibilidade (TPU, 2009), sendo vantajoso para a aplicação na fabricação de órteses AFO.

Tendo as respostas para as perguntas mencionadas, é possível partir para a modelagem 3D da órtese. No caso da aplicação de algum material para aumentar a sensação de conforto, é preciso gerar uma nova superfície distanciada na direção normal para fora do modelo original, para que a espessura desse material seja considerada e a órtese não fique apertada. Em se tratando de órteses de membro inferior, também deve ser colocada uma folga adicional para o uso da órtese com meias. Também devem ser previstas nessa fase quaisquer necessidades decorrentes do sistema de fixação escolhido. Outra atividade dessa fase é o espessamento da superfície, de forma a se obter um corpo sólido.

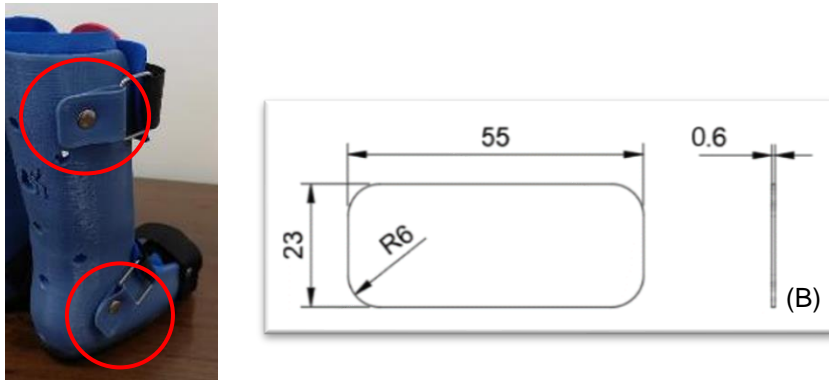
Para a espessura da órtese de membro inferior, os valores encontrados na literatura foram de 3 e 4mm, para crianças e adultos, respectivamente (JUVENAL; KUNKEL, 2017; WALBRAN, 2016). Dessa forma, o valor de 3mm foi adotado nesse trabalho. A espessura influencia na rigidez final da órtese. Além disso, é possível explorar a flexibilidade do poliuretano termoplástico para casos em que o usuário não precise de uma órtese totalmente rígida, por exemplo: a órtese de um usuário com marcha pode ser menos espessa na região dos dedos do pé para facilitar a caminhada e mais espessa nas regiões que precisam ser imobilizadas. No caso desse trabalho, os usuários não possuem marcha, de forma que a espessura foi mantida constante.

A Manufatura Aditiva por extrusão de material também permite uma liberdade de geometria no projeto, como por exemplo a possibilidade de criar estruturas que propiciem uma melhor ventilação. Em todos os casos foi solicitado pelos fisioterapeutas que as órteses possuíssem furos para ventilação e um furo no calcanhar para visualizar o posicionamento do pé dentro da órtese. A modelagem 3D também foi realizada no programa gratuito Autodesk® Meshmixer, sendo que as principais ferramentas utilizadas foram: *Offset* (para garantir uma folga entre a órtese e o membro e a aplicação do material de conforto); e *Extrude* (função que gera um corpo sólido a partir da superfície, criando o espessamento). Os detalhes e orientações para etapa da modelagem 3D no programa Meshmixer são mostrados no APÊNDICE 10.

Peças adicionais que possam ser impressas podem ser modeladas independentemente em programas CAD. Nesse estudo uma peça – denominada pela

autora por orelha de fixação – foi projetada para fixar uma argola na órtese e permitir que a mesma seja transpassada pelo velcro, como indicado na FIGURA 40 (A). Essa orelha foi modelada no programa Autodesk® Fusion 360, com licença gratuita para estudante. As dimensões da mesma são mostradas na FIGURA 40 (B) e são dadas em milímetros.

FIGURA 40 – ORELHA DE FIXAÇÃO PARA AS ARGOLAS: (A) APLICADA NA ÓRTESE; (B) DIMENSÕES



FONTE: O autor (2019).

Personalizações adicionais na órtese também podem ser aplicados, como desenhos vazados, ou detalhes em EVA, visando aumentar a satisfação do usuário com o produto e a estimulação do uso. Esse procedimento também é mostrado no APÊNDICE 10. Com o modelo 3D da órtese finalizado, conforme FIGURA 41, é possível partir para a próxima etapa.

FIGURA 41 – MODELO 3D DE UMA ÓRTESE DE TORNOZELO E PÉ



FONTE: O autor (2019).

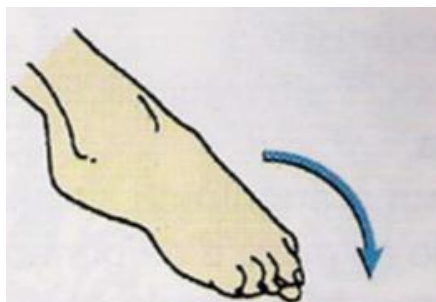
3.2.6 Planejamento do processo

Nessa etapa são definidos os parâmetros de impressão e a orientação de impressão, é gerado o suporte e realizado o fatiamento do modelo para impressão. A escolha da orientação de impressão, além de depender do resultado pretendido nas características das órteses que serão impressas, depende também da impressora que será utilizada e do tamanho da órtese a ser impressa, pois o tamanho da mesa de impressão pode impedir a utilização de determinadas orientações.

Para esse trabalho, optou-se pela impressão das órteses posicionadas de forma que a base da órtese (planta do pé) ficasse em contato com a mesa de impressão. Tendo em vista o tamanho das órteses que seriam impressas, essa foi a configuração que permitiu melhor acabamento superficial na parte externa da órtese, pois a única região externa da órtese que tem contato com material de suporte é a base do pé. Além disso, o acabamento do TPU após a impressão geralmente é brilhante e no caso da necessidade de lixamento esse acabamento seria prejudicado.

Quanto à resistência da órtese, a orientação escolhida é definida por Jin, He e Shih (2016) como a de menor resistência à flexão, como pode ser visto na FIGURA 15 na seção 2.6. Foi informado pelos fisioterapeutas que para o caso dos participantes da pesquisa e no caso das órteses AFO não articuladas, o principal movimento que as mesmas devem controlar e resistir é o de flexão plantar, ilustrado na FIGURA 42, oferecendo suporte para pacientes com pé caído, pés flácidos ou espasticidade. Essa característica foi analisada em conjunto com os fisioterapeutas, os quais submeteram as órteses impressas a esforços e verificaram que a sua resistência estava suficiente.

FIGURA 42 – MOVIMENTO DE FLEXÃO PLANTAR



FONTE: Adaptado de ORTOPÉDICA PEGADAS (2019).

Determinada a orientação de impressão, os parâmetros de impressão precisam ser definidos. Mais uma vez, é importante conhecer qual a impressora será utilizada, pois as particularidades da impressora utilizada permitem ou restringem alguns parâmetros de impressão. Além disso, os materiais poliméricos em forma de filamento mesmo sendo do mesmo material-base, TPU nesse caso, podem ter variações de fabricante para fabricante, contendo aditivos diferentes que influenciam nos parâmetros de impressão.

Percebeu-se na literatura uma dificuldade em definir tais parâmetros para a aplicação na fabricação de órteses AFO, sendo que nos trabalhos apresentados na seção 2.6 não foram encontrados os parâmetros utilizados, inclusive no estudo de Cha et al. (2017), onde foi empregado o TPU como material de impressão.

Para a determinação dos parâmetros que foram utilizados nesse trabalho contou-se, então, com as informações prévias, com a experiência dos profissionais do laboratório do NUFER e do contato com outros profissionais que também utilizam esse material. Vários testes de impressão foram realizados até obter-se o conjunto de parâmetros informados na TABELA 1, que resultaram nos melhores resultados de impressão para esse estudo e aplicação.

TABELA 1 – PARÂMETROS DE IMPRESSÃO DAS ÓRTESES

Categoria	Parâmetro	Valor
Geral	Temperatura da mesa	65°C
	Temperatura de extrusão	220°C
	Velocidade de impressão	1800mm/min
	Velocidade de movimento nos eixos X e Y	2000mm/min
	Velocidade de movimento no eixo Z	1000mm/min
Camada	Altura de Camada	0,3mm
	Quantidade de cascas (perímetro)	8
Preenchimento	Percentual de Preenchimento	100%
	Ângulo de preenchimento	45°-45°
	Percentual de Preenchimento do suporte	20%
	Tipo de preenchimento interno	Retilíneo
Suporte	Separação do suporte em relação a peça na direção horizontal	0,03mm
Retração	Distância de Retração	3mm

FONTE: O autor (2019).

A temperatura de impressão foi muito semelhante a sugerida pelo estudo de Xiao e Gao (2017), apresentada na seção 2.7. Para mais detalhes dos parâmetros de impressão, no APÊNDICE 11 constam as configurações completas utilizadas.

Como se trata de um material flexível, foi utilizada a função de retração – nesta o filamento é “recolhido” quando o bico extrusor realiza movimentos em vazio (fora de regiões da peça) – para que fosse diminuído o, aqui denominado, efeito “teia”, no qual há carregamento de pequenas porções de material de um ponto para outro.

Após serem definidos os parâmetros de impressão, o fatiamento do arquivo STL do modelo 3D, proveniente da etapa 3.2.5, foi realizado no programa Simplify3D, com licença gratuita. Após isso, é gerado um arquivo com a programação em o código G – *G-code* – que será lido pela impressora 3D e determinará os movimentos e parâmetros em cada momento da impressão para que o produto seja fabricado.

3.2.7 Impressão 3D

Com o modelo fatiado e o código gerado, o arquivo com o código é enviado para impressão. Nesse estudo foi utilizada a impressora de baixo custo Anet® A8 DIY – FIGURA 43 –, disponível no laboratório do NUFER. O custo aproximado da mesma é de R\$700. O filamento utilizado é da marca Gravaplast, com dureza de 95-98 shore, informada pelo fabricante; havia disponível para uso o filamento nas cores: azul, rosa, amarelo e roxo, cuja escolha foi realizada pelos responsáveis pelos usuários.

FIGURA 43 – IMPRESSORA ANET® A8 DIY



FONTE: O autor (2019).

Normalmente aplica-se fita crepe automotiva sobre toda a área da mesa de impressão para aumentar a adesão entre a peça e a mesa, evitando descolamentos que podem causar retrabalho de impressão.

O tempo médio de impressão das órteses foi de 10 a 12 horas, cada uma.

3.2.8 Pós processamento

Após a impressão 3D, o material de suporte precisa ser removido com auxílio de alicates e estiletes. Na parte interna das órteses, infelizmente, durante a impressão foi criado um defeito de fabricação denominado de efeito “teia”, conforme FIGURA 44, mesmo utilizando a configuração de retração. Por isso, foi preciso utilizar uma micro retífica (da marca Dremel, modelo 3000) para remover esse material. Assim, a aplicação de EVA na parte interna da órtese também serviu como acabamento para essa região.

Adicionalmente, para o TPU não se indica o uso de lixas ou pirógrafo visando dar acabamento nas regiões que serão visíveis, pois foi verificado que podem modificar tanto a cor como o brilho do material.

FIGURA 44 – ÓRTESES COM EFEITO TEIA APÓS A IMPRESSÃO 3D



FONTE: O autor (2019).

Nessa etapa são adicionadas também as estruturas de fixação da órtese (velcro e argolas), o material de conforto (EVA) e o solado antiderrapante. A aplicação de solado foi a solução encontrada para dar acabamento a base da órtese, que como comentado na seção 3.2.6, seria a interface de contato com o suporte e, por isso, o acabamento seria prejudicado. Os fisioterapeutas envolvidos na pesquisa inclusive recomendaram a aplicação do solado, que é comum em órteses tradicionais, pois a função antiderrapante colabora no momento da fisioterapia em que o paciente é colocado na posição de pé e em aparelhos de fisioterapia.

Os materiais e ferramentas empregados foram: velcro macho e fêmea de 25mm de largura; cola de contato (marca Amazonas); solado antiderrapante de 1,5mm de espessura; EVA de 1,5mm de espessura; cola instantânea (marca Super Bonder®); Balancim Graziano n.8 (máquina de pressão) com matriz para rebites; rebites comuns niquelados (Marca Baxmann); alicate perfurador (muito utilizado para furar couros, encontrado em sapatarias e lojas de couro); punção perfurador diâmetro 5mm (também encontrado em sapatarias e lojas de couro); martelo de borracha; tesoura; tesoura de corte de borda zig zag; furador de papel em forma de coração e máquina de costura eletrônica e mecânica (marca Singer).

O procedimento se deu na seguinte ordem:

- a) Colagem do solado: cortou-se o solado de acordo com o tamanho necessário para cada órtese e utilizou-se cola de contato para realizar a colagem, segundo orientações da embalagem.
- b) Aplicação das estruturas de fixação e velcros: foram cortadas tiras de velcro do tamanho adequado para cada órtese; costurou-se as pontas dos velcros macho e fêmea que seriam aplicados na região da panturrilha e do tornozelo. Para a fixação das argolas e do velcro, primeiramente, foram feitos os furos de 3mm de diâmetro nas órteses, no velcro e na peça orelha de fixação fabricada por impressão 3D, utilizando o alicate perfurador. Após isso, utilizou-se o balancim para aplicar os rebites e fixar os velcros e as argolas. A FIGURA 45 ilustra os procedimentos descritos nessa fase.
- c) Aplicação do material de conforto: recortou-se o EVA em um tamanho que fosse condizente com o tamanho da órtese. Iniciou-se a colagem pela região do calcanhar e seguiu-se para a região da panturrilha; posteriormente foram feitos cortes diagonais na região do calcanhar para

que a mesma peça fosse aplicada em toda a órtese sem sobrepor material. Após isso foi feita a colagem na região da planta do pé. Também foram produzidos passadores com EVA para que o velcro não machucasse no contato com a pele nas regiões do tornozelo e panturrilha.

- d) Recortes: após a colagem do EVA, foram feitos os recortes nas bordas, deixando cerca de 5mm de material extra na região de contato com a panturrilha para evitar pontos de pressão que possam causar incômodo no usuário. Pode-se utilizar tesouras de corte de borda para criar detalhes nas bordas. Também foram feitos os furos no EVA e no solado nos locais onde a órtese possuía furos para ventilação, nessa etapa foram utilizados o punção perfurador e o martelo de borracha.

Itens de decoração podem ser utilizados, como aplicações em EVA em formatos do agrado do usuário, ou utilizando-se de furadores de papel decorados. Ao finalizar essa etapa, as órteses estão prontas e podem ser entregues aos usuários.

FIGURA 45 – APLICAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE FIXAÇÃO E VELCROS



FONTE: O autor (2019).

3.2.9 Avaliação

Com a órtese produzida, é feita a entrega ao usuário. Nesse mesmo momento são feitas as orientações de uso e de manutenção e um informativo foi entregue aos responsáveis pelo usuário da órtese, o mesmo consta no APÊNDICE 12. Conjuntamente com o fisioterapeuta foi conduzida a avaliação estática; na qual foi avaliado o ajuste da órtese ao membro e o dispositivo em si, obtendo-se o parecer do fisioterapeuta se a órtese está adequada ao tratamento. Quando necessário, ajustes foram realizados utilizando um soprador térmico. Como os usuários das órteses participantes da pesquisa não possuíam marcha, uma avaliação dinâmica foi impossibilitada, porém os fisioterapeutas avaliaram as órteses enquanto realizavam a seção de fisioterapia.

Como constatado nas seções 2.2.3 e 2.2.4, os fatores que influenciam o abandono do uso das órteses referem-se à opinião do usuário e aos quesitos que influenciam na sua satisfação com a órtese. Foi utilizado o questionário B-QUEST, ANEXO 1, e o questionário complementar, APÊNDICE 6, para avaliar tanto a órtese convencional quanto a órtese fabricada por Manufatura Aditiva para efeito comparativo, tal como aplicado por Cha et al. (2017). Foram adotados os seguintes critérios de satisfação: as dimensões, o peso, a facilidade de ajustar, a estabilidade e segurança, a durabilidade, a facilidade de usar, o conforto da órtese como um todo, a eficácia para o tratamento, a cor, os desenhos e imagens na órtese, o acabamento, o material da órtese, o material utilizado para dar conforto, os materiais usados na fixação ao membro, e a personalização de acordo com a anatomia do pé e panturrilha. As respostas referentes às órteses tradicionais já haviam sido obtidas no primeiro encontro; após a entrega das órteses impressas, essas foram avaliadas por meio dos mesmos questionários. A avaliação foi transversal e, por isso, o quesito de durabilidade da órtese impressa não foi possível de ser verificado.

Nesse trabalho não foi possível obter a satisfação dos usuários das órteses por serem de baixa idade e não terem o cognitivo preservado. Além de obter a opinião dos responsáveis, optou-se por avaliar também a satisfação dos fisioterapeutas, pois os mesmos têm mais contato com esse produto e poderiam fornecer importantes dados comparativos. Então, foram consideradas as opiniões de quatro responsáveis (um de cada usuário) e oito fisioterapeutas. A avaliação da satisfação foi realizada

para um mesmo usuário comparando os resultados dos questionários dos responsáveis para órtese convencional e para a impressa em 3D. Também foram avaliadas comparativamente as respostas dadas por todos os fisioterapeutas. Para a apresentação dos resultados comparativos de satisfação, os trabalhos de Cha et al. (2017) e Cabral et al. (2017) foram tomados como base, nos quais as respostas dos usuários foram representadas por meio de tabelas e gráficos. Adicionalmente, atribuiu-se notas para as órteses tradicionais e impressas de acordo com a média ponderada das avaliações dos fisioterapeutas.

3.3 CUSTOS DO PROJETO

A TABELA 2 apresenta um resumo dos recursos, ferramentas e materiais empregados para a realização do projeto, organizados por etapa, com seus respectivos custos. Estima-se que o projeto possa ser executado em outras instituições com um investimento inicial de R\$6110,00.

TABELA 2 – RECURSOS, FERRAMENTAS E MATERIAIS NECESSÁRIOS AO PROJETO

(continua)

Etapa	Recursos/Ferramentas/Materiais	Valor (R\$)
Aquisição da anatomia	Atadura gessada	20,00
	Tesoura	20,00
Digitalização 3D	Computador	3000,00
	Sensor Kinect 360	300,00
	Programa Skanect PRO	500,00
Tratamento da Malha e Modelagem 3D	Programa Meshmixer	0,00
	Programa Fusion360	0,00
Planejamento do Processo	Programa Simplify3D	0,00
Impressão 3D	Filamento TPU (Gravaplast)	360,00
	Impressora 3D (ANET A8 DIY)	700,00
	Fita crepe automotiva	10,00
Pós-processamento	Micro retífica (Dremel 3000)	300,00
	Balancim n. 8 (Graziano)	250,00
	Máquina de Costura (Singer)	300,00
	Alicate perfurador	30,00
	Punção perfurador	20,00
	Tesoura de borda, furador de papel, alicates e estilete	35,00

TABELA 2 – RECURSOS, FERRAMENTAS E MATERIAIS NECESSÁRIOS AO PROJETO
(conclusão)

Pós-processamento	Velcro	25,00
	Rebites (caixa com 1000, Baxmann)	50,00
	EVA	10,00
	Solado antiderrapante	30,00
	Argolas	10,00
	Cola de contato (Amazonas)	10,00
	Cola instantânea (Super Bonder®)	60,00
Avaliação	Soprador Térmico	70,00
	Total	R\$6110,00

FONTE: O autor (2019).

3.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROCEDIMENTO METODOLÓGICO E PROCEDIMENTO DESENVOLVIDO

Para o desenvolvimento do método de fabricação de órteses de tornozelo e pé não articuladas por Manufatura Aditiva, tomou-se por base os conhecimentos disponíveis na literatura e buscou-se utilizar apenas de recursos, materiais e ferramentas de baixo custo, de forma a minimizar os custos das órteses.

A escolha do tipo de órtese se deu pelo fato de que esse é um dos tipos mais prescritos (CHEN et al., 2016) e por ser o tipo de órtese indicado para o caso clínico dos participantes selecionados para o estudo. Entretanto, o método proposto pode ser adaptado de forma a contemplar uma articulação, caso necessário; é também facilmente possível de ser adaptado para a fabricação de uma órtese de pé (FO).

Destaca-se que o procedimento desenvolvido pode ser aplicado a qualquer faixa etária, de acordo com as limitações do volume de impressão da impressora 3D disponível. Portanto, esse procedimento não se restringe a guiar o desenvolvimento de órteses de tornozelo e pé apenas para crianças com deficiência.

O procedimento aqui detalhado pode ser facilmente replicável tanto por engenheiros, como por fisioterapeutas e profissionais da área da saúde que desejem se envolver no projeto e fabricação de órteses; e também pode ser adaptado tanto para a inclusão de articulação (para fabricar uma AFO articulada), como para a fabricação de palmilhas ou outras órteses de pé.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esse capítulo se destina a apresentar o procedimento resultante desta pesquisa e sua aplicação nos casos reais. São apresentadas as avaliações dos produtos realizadas pelos responsáveis pelas crianças usuárias das órteses e fisioterapeutas. Além disso, o tempo envolvido e custos de fabricação são apresentados.

4.1 PROCEDIMENTO PARA FABRICAÇÃO DE ÓRTESES NÃO ARTICULADAS DE TORNOZELO E PÉ POR MANUFATURA ADITIVA

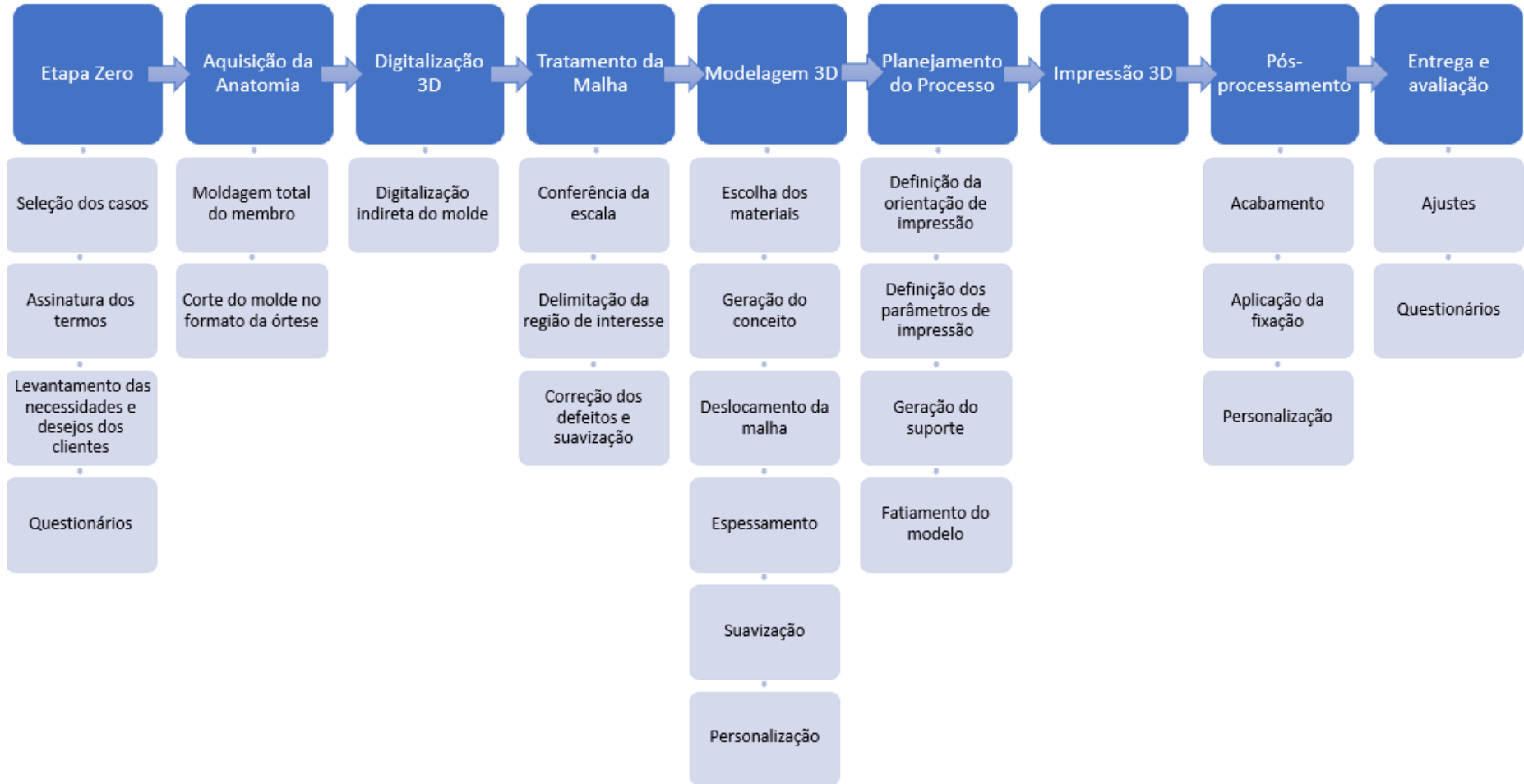
O principal resultado desse trabalho é o procedimento metodológico descrito na seção 3 e nos APÊNDICES 8 a 11, os quais descrevem detalhadamente o procedimento necessário para a fabricação de órteses não articuladas de tornozelo e pé (AFO) por Manufatura Aditiva, utilizando apenas tecnologias de baixo custo. A FIGURA 46 ilustra as nove etapas do procedimento e a FIGURA 47 contém o desmembramento de cada etapa.

FIGURA 46 – PROCEDIMENTO PARA FABRICAÇÃO DE ÓRTESES NÃO ARTICULADAS DE TORNOZELO E PÉ (AFO) POR MANUFATURA ADITIVA



FONTE: O autor (2019).

FIGURA 47 – DESMEMBRAMENTO DAS ETAPAS DO PROCEDIMENTO PARA FABRICAÇÃO DE ÓRTESES NÃO ARTICULADAS DE TORNOZELO E PÉ (AFO) POR MANUFATURA ADITIVA



FONTE: O autor (2019).

4.2 APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO EM CASOS REAIS E RESULTADOS OBTIDOS

Esse procedimento foi aplicado em quatro casos reais, como descrito na seção 3.1.1.1, sendo que em um deles foi também proposta uma opção de substituir alguns itens da órtese por itens impressos em 3D (Caso 3). A seguir serão apresentados os resultados para cada caso e os resultados do comparativo dos questionários de avaliação de satisfação. Destaca-se que para a órtese impressa não foi possível obter resultados sobre a durabilidade, tendo em vista que a abordagem do estudo foi transversal.

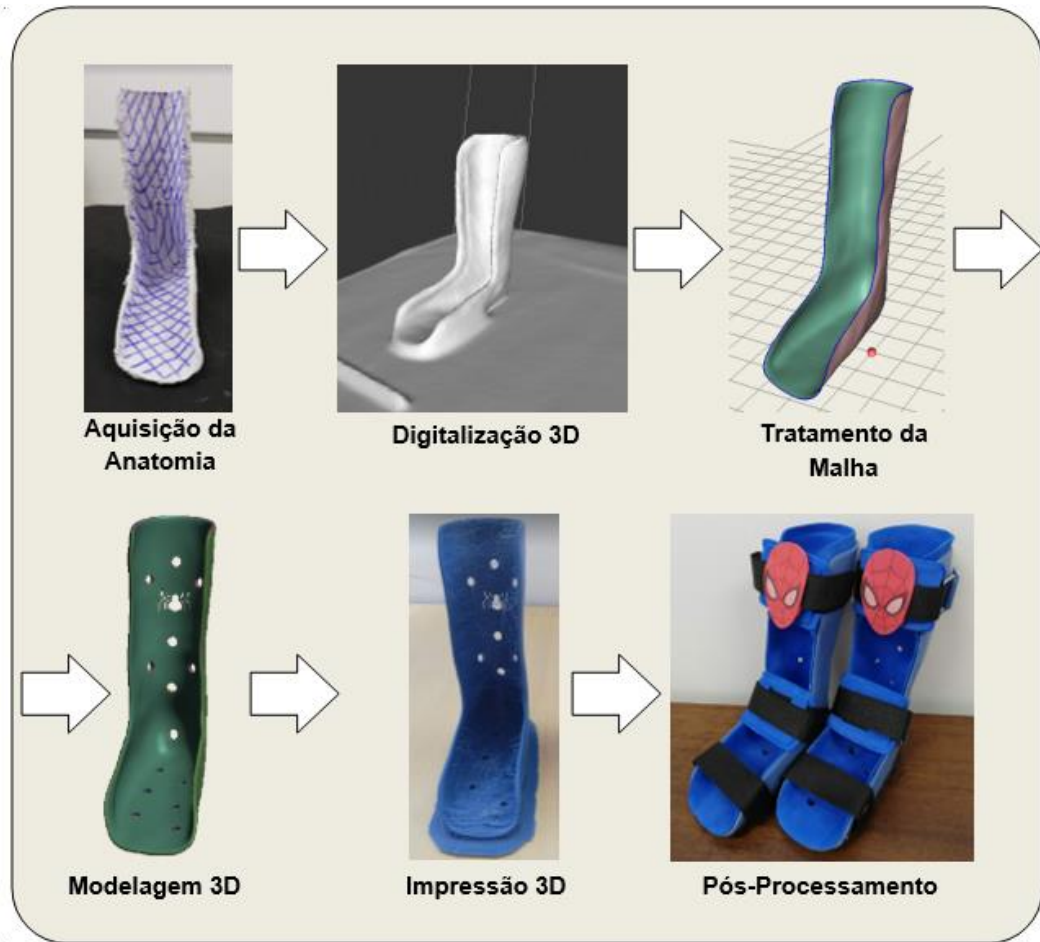
Caso a caso foram levantadas as necessidades dos clientes, mas percebeu-se recorrência no pedido de que houvesse furos para ventilação e um furo no calcanhar para facilitar a visualização do posicionamento do pé (se está completamente encaixado na órtese).

4.2.1 Caso 1

O primeiro caso é de um menino de 3 anos, com Paralisia Cerebral, que já utilizava órteses há dois anos. Uma das principais reclamações da mãe do usuário era que a ortopédica fazia personalizações nas órteses sem solicitar e com desenhos desconhecidos por ela. Ao ser indagada sobre seus desejos para a personalização estética, ela escolheu o filamento de cor azul e deixou livre a escolha de algum personagem mais conhecido. Foi escolhido, então, o Homem Aranha como tema para essas órteses; incluiu-se no projeto um detalhe vazado na órtese com a forma da aranha do traje do personagem no filme “Guerra Civil” e uma máscara do personagem em EVA sobre o velcro. A FIGURA 48 representa os resultados de cada etapa durante o procedimento de fabricação das órteses de tornozelo e pé desse caso.

Na FIGURA 49 têm-se diferentes ângulos das órteses fabricadas por impressão 3D para o usuário 1. Nota-se o detalhe em formato de aranha vazado na órtese. O usuário experimentando a órtese é mostrado na FIGURA 50. As órteses finalizadas ficaram com aproximadamente 150g cada.

FIGURA 48 – RESULTADOS DE CADA ETAPA PARA O CASO 1



FONTE: O autor (2019).

FIGURA 49 – ÓRTESES DE TORNOZELO E PÉ FABRICADAS POR MANUFATURA ADITIVA – CASO1



FONTE: O autor (2019).

FIGURA 50 – USUÁRIO 1 EXPERIMENTANDO A ÓRTESE IMPRESSA



FONTE: O autor (2019).

A Tabela 3 apresenta as respostas dadas aos questionários pelo responsável pelo usuário sobre a sua satisfação com as órteses tradicionais e com as órteses impressas entregues a ele.

TABELA 3 – RESULTADOS DOS QUESTIONÁRIOS DO RESPONSÁVEL PELO USUÁRIO DO CASO 1

Critérios de Satisfação	Órtese Tradicional	Órtese Impressa
Dimensões	3	5
Peso	4	5
Facilidade de ajuste	5	5
Estabilidade e segurança	5	5
Durabilidade	1	-----
Facilidade de uso	3	5
Conforto	3	5
Eficácia	4	5
Cor	3	5
Imagens e desenhos	3	5
Acabamento	3	5
Material da órtese	4	5
Material de conforto	4	5
Materiais de fixação	1	5
Personalização no formato do pé e da panturrilha	4	5

FONTE: O autor (2018).

LEGENDA: 1 – Insatisfeito; 2 – Pouco satisfeito; 3 – Mais ou menos satisfeito; 4 – Bastante satisfeito; 5 – Totalmente satisfeito.

Percebe-se que o responsável ficou muito satisfeito com relação a todos os itens possíveis de serem avaliados para a órtese impressa e que em todos os itens a órtese impressa obteve avaliação igual ou maior se comparada com a órtese tradicional. Esse fato demonstra que as órteses fabricadas por Manufatura Aditiva agradaram ao responsável tanto nas questões funcionais quanto estéticas. Os detalhes do personagem do Homem Aranha foram muito elogiados pelos responsáveis e pelos fisioterapeutas.

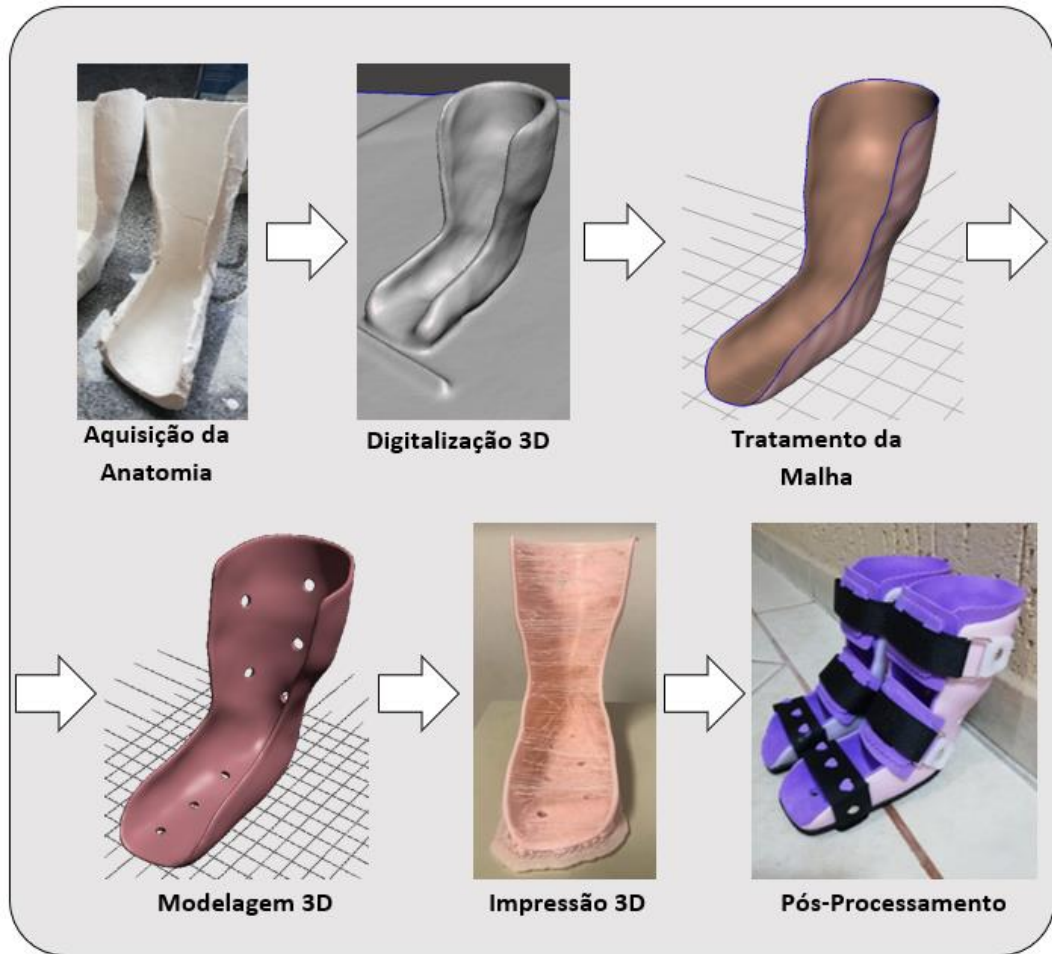
4.2.2 Caso 2

O segundo caso é de uma menina de um ano e oito meses, com Paralisia Cerebral e Microcefalia, sendo que esta seria a primeira órtese que ela utilizaria. A família não possuía condições financeiras para aquisição de uma órtese personalizada e estava aguardando na fila do SUS para obtenção de uma órtese pré-fabricada. Os fisioterapeutas da clínica parceira solicitaram a inclusão da mesma no estudo, tendo em vista que, como a criança possui sobrepeso e uma estrutura corporal maior do que a média para a idade, uma órtese pré-fabricada fornecida pelo SUS não serviria adequadamente. Dessa forma, mesmo ela não tendo utilizado uma órtese tradicional, optou-se por incluí-la no estudo.

Foi solicitado pela mãe que a órtese fosse fabricada com o filamento rosa e sem detalhes vazados, exceto os furos de ventilação. Incluiu-se detalhes em forma de coração, feitos de EVA com furador de papel, para decoração. A FIGURA 51 representa os resultados de cada etapa durante o procedimento de fabricação das órteses de tornozelo e pé por Manufatura Aditiva. Na FIGURA 52 têm-se também outras imagens das órteses fabricadas para o usuário 2 e o mesmo experimentando a órtese é mostrado na FIGURA 53.

Após a prova da órtese, detectou-se que a mesma estava apertada na região dos dedos. Por isso, as órteses foram removidas e aqueceram-se as extremidades utilizando um soprador térmico; foi utilizado papelão para realizar o alargamento enquanto o resfriamento ocorria – procedimento comum para ajuste de órteses. Por fim, a órtese serviu corretamente. A massa de cada uma das órteses finalizadas foi de aproximadamente 125g.

FIGURA 51 – RESULTADOS DE CADA ETAPA PARA O CASO 2



FONTE: O autor (2019).

FIGURA 52 – ÓRTESES DE TORNOZELO E PÉ FABRICADAS POR MANUFATURA ADITIVA – CASO 2



FONTE: O autor (2019).

FIGURA 53 – USUÁRIO 2 EXPERIMENTANDO A ÓRTESE IMPRESSA



FONTE: O autor (2019).

Como comentado, essa criança nunca utilizou órteses anteriormente, e, portanto, o responsável não pode avaliar as órteses tradicionais. A Tabela 4 apresenta as respostas dadas aos questionários pelo responsável pelo usuário sobre a sua satisfação com as órteses impressas entregues a ele.

TABELA 4 – RESULTADOS DOS QUESTIONÁRIOS DO RESPONSÁVEL DO PELO USUÁRIO DO CASO 2

Crítérios de Satisfação	Órtese Impressa
Dimensões	5
Peso	5
Facilidade de ajuste	4
Estabilidade e segurança	5
Durabilidade	-----
Facilidade de uso	5
Conforto	5
Eficácia	5
Cor	4
Imagens e desenhos	5
Acabamento	5
Material da órtese	5
Material de conforto	5
Materiais de fixação	4
Personalização no formato do pé e da panturrilha	5

FONTE: O autor (2018).

LEGENDA: 1 – Insatisfeito; 2 – Pouco satisfeito; 3 – Mais ou menos satisfeito; 4 – Bastante satisfeito; 5 – Totalmente satisfeito.

O responsável ficou muito satisfeito ou bastante satisfeito com relação a todos os itens possíveis de serem avaliados para a órtese impressa. Os itens avaliados com a menor nota foram: a cor, materiais de fixação e facilidade de ajuste; entretanto a menor nota atribuída foi 4, ou seja, denotou que o responsável, ainda assim, ficou bastante satisfeito com a órtese impressa.

4.2.3 Caso 3

O terceiro caso selecionado foi o de uma menina de 4 anos que utiliza órtese há mais de dois anos e meio durante todo o dia, cujo quadro clínico é Paralisia Cerebral e Microcefalia. Como esta família possui bastante tempo de experiência com órteses tradicionais, eles relataram várias reclamações sobre as mesmas. As principais reclamações foram que tanto o velcro como o material que fixa as argolas na órtese arrebentam-se rapidamente, conforme FIGURA 54, que a órtese tradicional era desagradável esteticamente e que o tempo entre a encomenda da órtese até a entrega da mesma pode chegar a dois meses. Dessa forma, percebeu-se uma oportunidade de melhoria para atender tais necessidades. Além disso, na conversa para definir as necessidades dos clientes, a mãe da criança comentou que preferia uma órtese discreta, mais próxima do tom da pele da filha e sem desenhos decorativos.

FIGURA 54 – DETALHE DA REGIÃO DO TORNOZELO DA ÓRTESE TRADICIONAL JÁ DESGATADA COM O USO

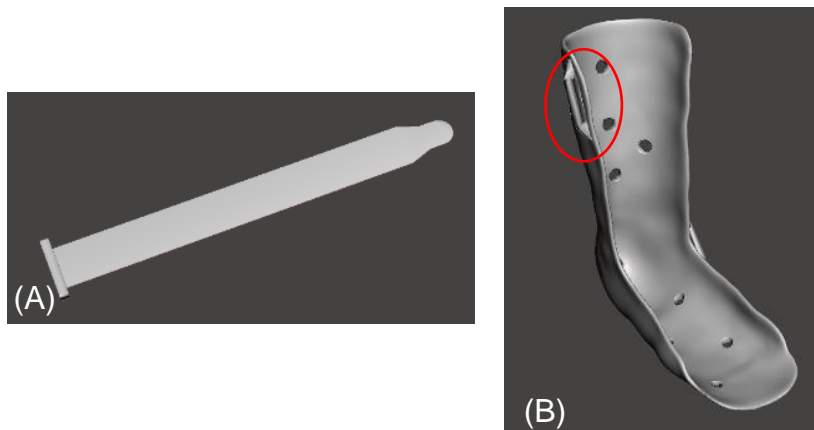


FONTE: O autor (2019).

Visando desenvolver uma nova solução para que o velcro não rompesse com facilidade, foi proposto o uso de uma fita impressa em 3D, FIGURA 55 (A), na qual o

velcro seria colado e que serviria para aumentar a resistência do velcro, dificultando a ruptura do mesmo. Também foi proposto explorar a impressão 3D para aplicar direto na órtese de uma aba lateral vazada para passagem do velcro, como indicado na FIGURA 55 (B), removendo a necessidade de utilizar a argola metálica.

FIGURA 55 – (A) FITA PARA AUMENTAR A RESISTÊNCIA AO DESGASTE DO VELCRO E (B) MODELO 3D DA ÓRTESE AFO COM UMA ABA LATERAL VAZADA PARA PASSAGEM DO VELCRO



FONTE: O autor (2019).

Na FIGURA 56 (A) podem ser vistas as órteses tradicionais desse usuário e em (B), as órteses que foram fabricadas por Manufatura Aditiva já com as melhorias propostas. A massa aproximada de cada órtese impressa foi de 140g.

FIGURA 56 – (A) ÓRTESE AFO TRADICIONAL (B) ÓRTESE AFO IMPRESSA COM SUGESTÕES DE MELHORIAS, PARA O USUÁRIO DO CASO 3



FONTE: O autor (2019).

A TABELA 5 apresenta o resultado comparativo do responsável por esse usuário para os questionários da órtese tradicional e da órtese impressa.

TABELA 5 – RESULTADOS DOS QUESTIONÁRIOS DO RESPONSÁVEL DO PELO USUÁRIO DO CASO 3

Crítérios de Satisfação	Órtese Tradicional	Órtese Impressa
Dimensões	4	4
Peso	3	4
Facilidade de ajuste	4	1
Estabilidade e segurança	4	3
Durabilidade	3	-----
Facilidade de uso	4	3
Conforto	3	1
Eficácia	4	2
Cor	4	4
Imagens e desenhos	1	3
Acabamento	3	3
Material da órtese	4	3
Material de conforto	4	4
Materiais de fixação	2	1
Personalização no formato do pé e da panturrilha	4	4

FONTE: O autor (2018).

LEGENDA: 1 – Insatisfeito; 2 – Pouco satisfeito; 3 – Mais ou menos satisfeito; 4 – Bastante satisfeito; 5 – Totalmente satisfeito.

Como pode ser visto, apesar dos esforços aplicados na realização de melhorias, os mesmos não foram do agrado do responsável. Esse relatou que a fita utilizada para dar resistência ao velcro ficou de difícil utilização e ajuste e que prejudicou o conforto para a criança. Dessa forma, percebe-se que mais esforços devem ser empregados em investigar outras opções de fixação para as órteses, que permitam maior durabilidade e uma variedade de ajustes, sem prejudicar o conforto e a facilidade de uso.

4.2.4 Caso 4

O quarto caso é de uma menina de dois anos com Paralisia Cerebral, que nunca utilizou órteses. A família também não possuía condições financeiras para aquisição de uma órtese personalizada. A mãe da criança solicitou que a órtese fosse na cor rosa, com personalização com referência a um desenho animado e com a inicial do nome da filha, além de furos de ventilação. Na FIGURA 57 têm-se as imagens das

órteses fabricadas para a usuária 4 e a mesma experimentando a órtese é mostrada na FIGURA 58. As órteses serviram corretamente.

FIGURA 57 – ÓRTESES DE TORNOZELO E PÉ FABRICADAS POR MANUFATURA ADITIVA – CASO 4



FONTE: O autor (2019).

FIGURA 58 – USUÁRIO 4 EXPERIMENTANDO A ÓRTESE IMPRESSA



FONTE: O autor (2019).

Por ser a primeira órtese dessa criança, o responsável não pode avaliar as órteses tradicionais. A Tabela 6 apresenta as respostas dadas aos questionários pelo responsável pelo usuário sobre a sua satisfação com as órteses impressas. Foi relatada total satisfação em todos os quesitos de avaliação e a personalização com a inicial do nome e detalhes em EVA foram muito elogiados.

TABELA 6 – RESULTADOS DOS QUESTIONÁRIOS DO RESPONSÁVEL DO PELO USUÁRIO DO CASO 2

Crítérios de Satisfação	Órtese Impressa
Dimensões	5
Peso	5
Facilidade de ajuste	5
Estabilidade e segurança	5
Durabilidade	-----
Facilidade de uso	5
Conforto	5
Eficácia	5
Cor	5
Imagens e desenhos	5
Acabamento	5
Material da órtese	5
Material de conforto	5
Materiais de fixação	5
Personalização no formato do pé e da panturrilha	5

FONTE: O autor (2018).

LEGENDA: 1 – Insatisfeito; 2 – Pouco satisfeito; 3 – Mais ou menos satisfeito; 4 – Bastante satisfeito; 5 – Totalmente satisfeito.

4.3 AVALIAÇÃO DOS FISIOTERAPEUTAS

Os fisioterapeutas avaliaram as órteses entregues aos usuários durante a realização de uma seção de fisioterapia e as órteses suportaram todos os esforços envolvidos. Após o fim da seção, os membros dos pacientes foram observados e não foram detectados pontos de pressão (denotados por vermelhidão) que poderiam indicar incômodo para o usuário. Oito fisioterapeutas avaliaram por meio dos questionários as órteses de tornozelo e pé não articuladas fabricadas pelo método tradicional, com as quais tiveram contato durante suas experiências profissionais, e as órteses fabricadas por impressão 3D desse estudo. Quanto aos profissionais, sete eram mulheres e um era homem, além disso, o tempo de experiência dos mesmos com órteses variou entre 2 anos a 24 anos.

As respostas dadas aos questionários foram tabuladas e a TABELA 7 apresenta a média ponderada dos resultados obtidos nos questionários tanto para as

órteses tradicionais como para as órteses impressas, bem como a variação percentual em cada critério e a média final do grau de satisfação. Destaca-se que a escala utilizada para avaliar a satisfação variava de 1 a 5, desde “insatisfeito” a “totalmente satisfeito”, respectivamente. Novamente cita-se que os dados para durabilidade das órteses impressas não puderam ser obtidos tendo em vista que a avaliação foi transversal.

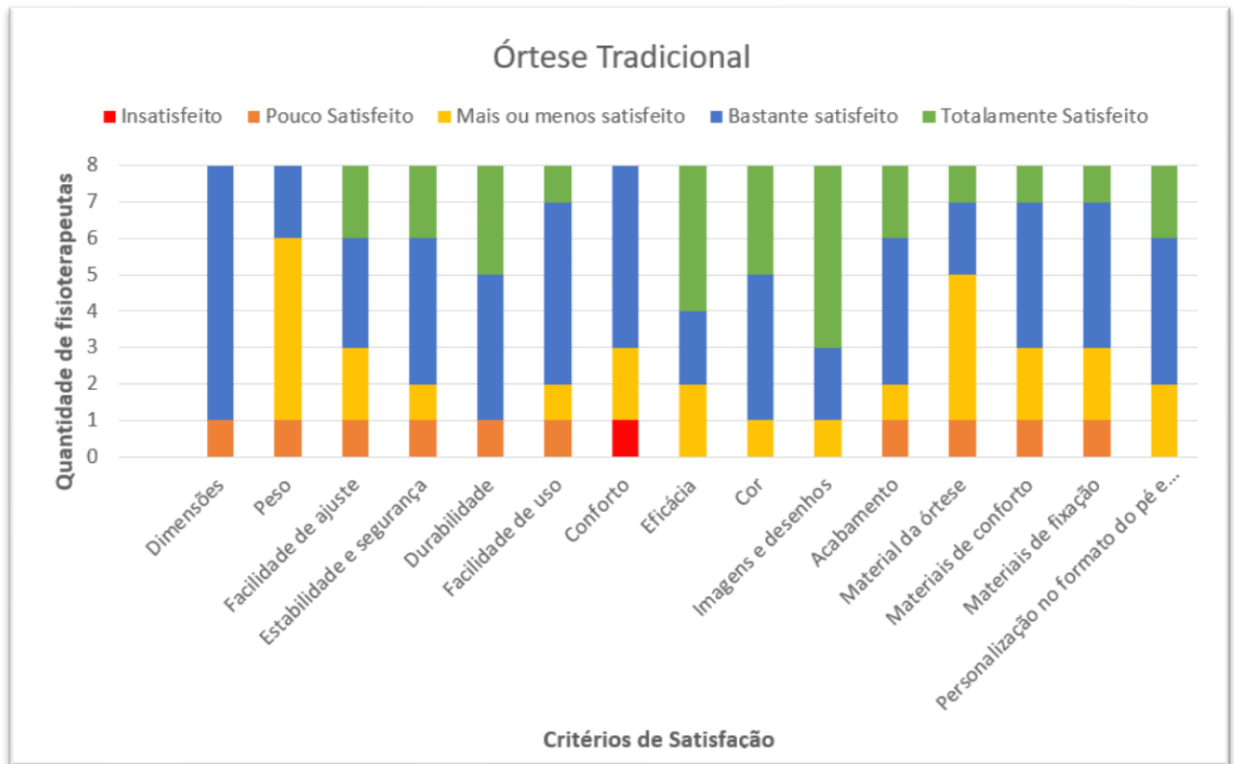
TABELA 7 – MÉDIA PONDERADA E VARIAÇÃO PERCENTUAL DO GRAU DE SATISFAÇÃO DOS FISIOTERAPEUTAS COM AS ÓRTESES TRADICIONAIS E COM AS ÓRTESES IMPRESSAS EM 3D

Crítérios de Satisfação	Órteses Tradicionais (O.T.)	Órteses Impressas (O.I.)	Variação percentual [(O.I./O.T.) -1]*100
Dimensões	3,750	4,500	20,0%
Peso	3,125	4,750	52,0%
Facilidade de ajuste	3,750	4,750	26,6%
Estabilidade e segurança	3,875	4,000	3,2%
Durabilidade	4,125	-----	-----
Facilidade de uso	3,750	4,375	16,7%
Conforto	3,375	4,500	33,3%
Eficácia	4,250	4,500	5,8%
Cor	4,250	4,375	2,9%
Imagens e desenhos	4,500	4,875	8,3%
Acabamento	3,875	4,500	16,1%
Material da órtese	3,375	4,750	40,7%
Material de conforto	3,625	4,375	20,7%
Materiais de fixação	3,625	4,625	27,6%
Personalização no formato do pé e da panturrilha	4,000	4,625	15,6%
Nota média final	3,817	4,536	18,8%

FONTE: O autor (2018).

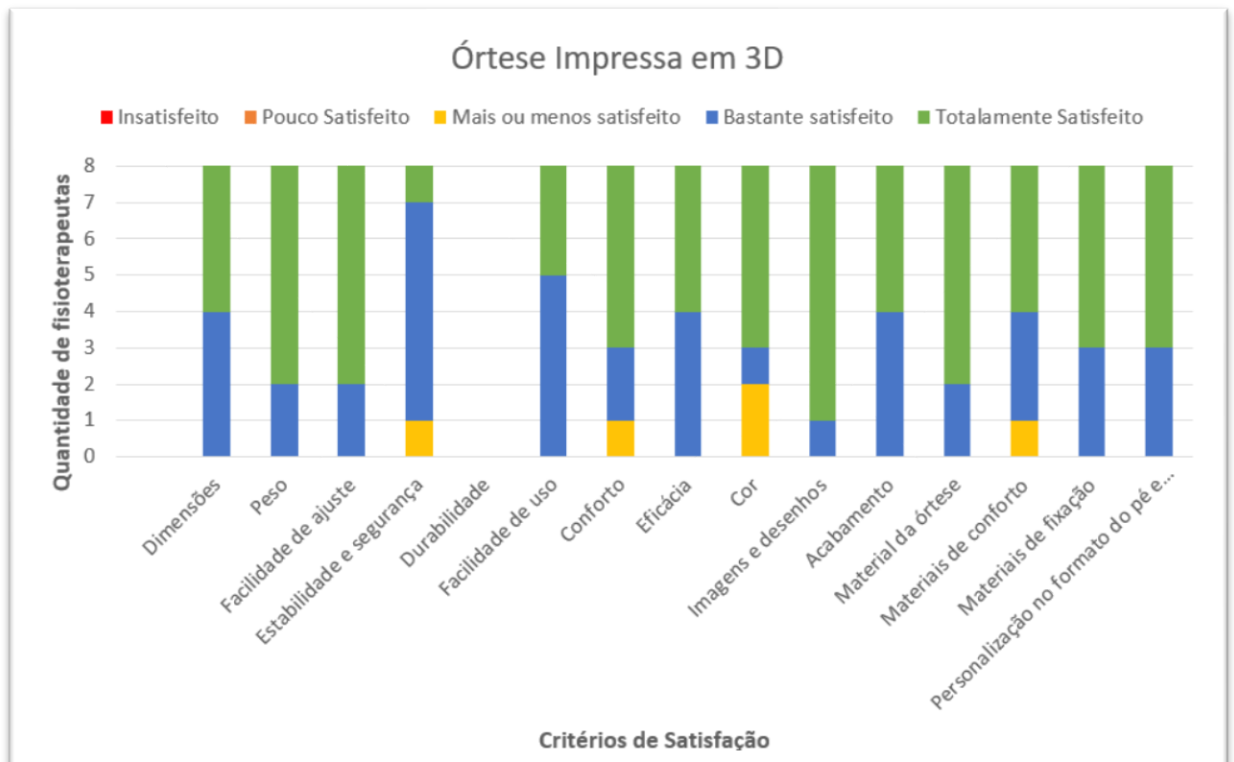
As respostas aos questionários também são apresentadas pela frequência de aparição em forma de gráficos de colunas empilhadas. O GRÁFICO 1 apresenta os resultados obtidos nos questionários referentes às órteses tradicionais de tornozelo e pé não articuladas e o GRÁFICO 2 para as órteses fabricadas por Manufatura Aditiva.

GRÁFICO 1 – RESULTADOS DOS QUESTIONÁRIOS PARA ÓRTESES TRADICIONAIS



FONTE: O autor (2019).

GRÁFICO 2 – RESULTADOS DOS QUESTIONÁRIOS PARA ÓRTESES IMPRESSAS



FONTE: O autor (2019).

Avaliando-se os gráficos apresentados e a TABELA 7, percebe-se que as menores notas atribuídas para as órteses tradicionais foram nos critérios de peso, conforto e material da órtese. Já as maiores notas foram nos critérios: imagens e desenhos, eficácia e cor. As maiores notas das órteses impressas foram nos critérios: imagens e desenhos, peso e facilidade de ajuste; já as menores foram: estabilidade e segurança, facilidade de uso, cor e material de conforto. Porém, mesmo as menores notas obtidas pelas órteses impressas em 3D foram superiores à nota média final das órteses tradicionais. Além disso, a menor nota média da órtese impressa foi 4, o que corresponde a “Bastante satisfeito” na escala de avaliação. Visualmente, percebe-se pelos gráficos que nenhum fisioterapeuta ficou insatisfeito ou pouco satisfeito em relação a qualquer critério de avaliação da órtese impressa, o mesmo já não acontece com a órtese tradicional.

Comparando-se item a item, em todos os critérios de avaliação possíveis de serem comparados as notas de satisfação das órteses impressas em 3D foram superiores às notas atribuídas para as órteses tradicionais, demonstrando que a satisfação com a órtese impressa foi superior com relação às órteses tradicionais. As maiores variações percentuais na satisfação observadas foram em relação ao peso (52%), ao material da órtese (40,7%) e ao conforto (33,3%).

A nota média final de satisfação com a órtese impressa foi 18,8% maior que a nota média final da órtese tradicional.

4.4 TEMPO DE FABRICAÇÃO E CUSTOS DE CADA ÓRTESE FABRICADA

A TABELA 8 apresenta uma estimativa de tempo de duração de cada etapa, considerando a fabricação de uma órtese não articulada de tornozelo e pé (AFO). A etapa de planejamento do processo foi suprimida, pois varia de acordo com o grau de refinamento em que o projeto se encontra. Como nesse projeto partiu-se do início na definição dos parâmetros de impressão e muitos testes foram realizados para se chegar aos parâmetros apresentados, estima-se que cerca de 90 horas foram empregadas em testes de parâmetros de impressão para se chegar aos parâmetros utilizados.

TABELA 8 – TEMPO APROXIMADO DE CADA ETAPA PARA A FABRICAÇÃO DE CADA ÓRTESE

Etapa	Tempo (horas)
Aquisição da Geometria	30 minutos
Digitalização 3D	3 minutos
Tratamento da Malha	45 minutos
Modelagem 3D	1 hora
Impressão 3D	12 horas
Pós-processamento	3 horas
Total	17 horas e 18 minutos

FONTE: O autor (2019).

Estima-se que, tendo disponível apenas uma impressora 3D inteiramente dedicada ao projeto, o tempo entre a aquisição da anatomia e a entrega de um par de órteses seja de uma semana e meia a duas semanas, o que é bem inferior ao tempo relatado pela responsável do usuário do Caso 3, que era de até 2 meses.

Uma estimativa do custo de cada órtese em termos dos materiais utilizados é apresentada na TABELA 9. Aproximadamente, cerca de R\$44,30 foram gastos por órtese fabricada, dessa forma verifica-se que o custo em termos de material foi muito baixo. Para o cálculo do valor de venda devem ser considerados também o valor da mão-de-obra, gastos com energia elétrica, o investimento no maquinário e ferramental, valor da hora-máquina, depreciação dos equipamentos e percentual de lucro.

TABELA 9 – CUSTO DOS MATERIAIS DE CADA ÓRTESE IMPRESSA EM 3D

Materiais	Valor (R\$)
Atadura gessada	4,50
Filamento	20,00
Solado	2,00
EVA	2,50
Velcro	2,00
Rebite	0,30
Argola	1,00
Cola	12,00
Total	44,30

FONTE: O autor (2019).

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES

Órteses de tornozelo e pé (AFO) são importantes no tratamento de diversos quadros clínicos. O processo tradicional de fabricação de órteses de membro inferior foi caracterizado e as suas desvantagens foram apontadas, tais como: gerar órteses desconfortáveis e não tão agradáveis esteticamente. Também foram apresentados os critérios que favorecem o abandono do uso de dispositivos assistivos, sendo que alguns deles são relacionados à estética e ao conforto dos produtos. As tecnologias de Manufatura Aditiva e de digitalização 3D já tem sido exploradas para a fabricação de órteses personalizadas, porém para a realidade brasileira o alto custo dessas tecnologias impede a sua utilização. Dessa forma, pode-se destacar a importância dessa pesquisa em explorar as tecnologias de baixo custo.

Nesse estudo desenvolveu-se um procedimento para fabricar órteses de tornozelo e pé não articuladas por Manufatura Aditiva, utilizando-se apenas de tecnologias, recursos e materiais de baixo custo. O procedimento consiste basicamente da aquisição da anatomia; digitalização 3D; tratamento da malha; modelagem 3D; planejamento do processo; impressão 3D; pós-processamento e avaliação; e foi adaptado a partir de um procedimento desenvolvido para aplicação em órteses de membros superiores.

Em relação a etapa de aquisição da anatomia, concluiu-se que a abordagem de moldagem total do membro resultou em melhores resultados para a aplicação em membros inferiores, pois permite a imobilização do membro durante o tempo necessário para que o gesso adquira firmeza. Os desafios relacionados à determinação dos parâmetros de impressão foram superados de forma que foi possível propor um conjunto de parâmetros aplicável para o material e impressora utilizados nesse estudo.

O procedimento desenvolvido foi aplicado em casos reais para o desenvolvimento de órteses não articuladas de tornozelo e pé e confirmou-se a sua efetividade. Nessa pesquisa, oito órteses – quatro pares – para quatro usuários reais foram fabricadas. Em um dos casos propôs-se também melhorias no sistema de fixação. O procedimento proposto foi aplicado para crianças, mas pode ser aplicado

também para adultos – desde que se disponha de uma impressora 3D que possua volume útil de construção adequado ao tamanho da órtese.

Foram obtidas, então, órteses personalizadas na anatomia e na estética; elas foram aprovadas pelos fisioterapeutas em testes de resistência durante seções de fisioterapia, foram consideradas eficazes para o tratamento e não provocaram incômodos nos usuários. Com a melhoria também nos quesitos de estética e conforto, espera-se que o estudo desenvolvido seja uma contribuição para a diminuição do abandono desses dispositivos assistivos, que afeta diretamente a efetividade do tratamento.

Tanto os responsáveis como os fisioterapeutas ficaram bastante satisfeitos com as órteses produzidas por impressão 3D, como foi possível de ser visto nos resultados dos questionários de satisfação. Somente para o caso da tentativa de melhoria do sistema de fixação que foram relatadas insatisfações. No comparativo com as órteses tradicionais, as órteses do estudo apresentaram um desempenho muito superior na avaliação de satisfação. Assim, conclui-se que o procedimento desenvolvido nesse trabalho gerou órteses de qualidade e esteticamente atrativas.

O custo dos materiais para a fabricação de cada órtese AFO não articulada por Manufatura Aditiva foi de R\$44,30. Além disso, a implementação do processo de fabricação sugerido nessa pesquisa no contexto clínico pode reduzir o tempo de espera da órtese para o usuário, em comparação com o processo tradicional, tendo em vista que o tempo estimado entre a aquisição da anatomia e a entrega de um par de órteses foi de, no máximo, duas semanas e o tempo pelo método tradicional pode chegar até a dois meses.

Apesar dos esforços em modernizar o processo, a etapa de aquisição da anatomia ainda permanece artesanal e necessitando de recursos humanos com o mínimo de experiência em moldagem com atadura gessada. Porém, foi eliminada a necessidade de se obter um modelo positivo de gesso após a moldagem com atadura gessada, reduzindo a quantidade produzida de resíduo de gesso. Fato muito importante, pois, no caso de crianças, os moldes e modelos não podem ser reaproveitados e, para adultos torna-se inviável estocar os moldes e modelos para uma próxima órtese. Dessa forma, são costumeiramente eliminados e com o método proposto esses resíduos seriam apenas da atadura gessada do molde negativo.

Além da dificuldade encontrada para determinar os parâmetros de impressão adequados para o material empregado, outra dificuldade foi conseguir compatibilizar as agendas dos familiares e profissionais da clínica de reabilitação para a realização dos encontros necessários para o trabalho. Porém, após findado, o sentimento é gratificante em poder contribuir para a melhoria da qualidade de vida de outros seres humanos. Destaca-se também que para a aplicação em casos reais é imprescindível que se tenha uma equipe inteiramente alinhada em todas as etapas dos procedimentos a serem realizados, a fim de manter o padrão de qualidade.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros tem-se:

- a) o desenvolvimento de dispositivos que permitam a imobilização do membro na posição adequada enquanto uma digitalização direta seja realizada, sem obstruir as regiões de interesse da anatomia;
- b) aprimorar o estudo sobre a possibilidade de fabricar os dispositivos de fixação da órtese por impressão 3D;
- c) explorar a hipótese de produzir uma órtese completamente por impressão 3D, incluindo também articulações;
- d) estudar o comportamento e a resistência mecânica das órteses impressas com pacientes com marcha;
- e) estudar a durabilidade das órteses impressas ao longo do tempo;
- f) aprofundar os estudos para determinar a espessura-ótima das órteses para cada aplicação;
- g) aprofundar os estudos sobre os parâmetros de impressão de forma a eliminar o efeito “teia” na parte interna da órtese, para diminuir o tempo da fase de acabamento interno;
- h) analisar a viabilidade de se empregar parâmetros de preenchimento, de forma a criar uma superfície mais flexível para que também não seja necessário aplicar material de conforto internamente.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, D. P. **Órteses – Síntese**. Disponível em: <<http://www.proreabilitacao.com.br/includes/paginas/papo-e-cafezinho/demetrio-praxedes-araujo/pdf/proreabilitacao-orteses.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2018.
- BACK, N. **Metodologia de Projeto de Produtos Industriais**. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Dois, 1983.
- BAXTER, M. **Projeto de produto: Guia prático para o design de novos produtos**. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2000.
- BELOKAR, R. M.; BANGA, H. K.; KUMAR, R. A novel approach for ankle foot orthosis developed by three dimensional technologies. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 280, 2017.
- BERSCH, R. **Introdução a Tecnologia Assistiva**. Porto Alegre: Assistiva, 2017, 20p. Disponível em: <http://www.assistiva.com.br/Introducao_Tecnologia_Assistiva.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2018.
- BRASIL. Grupo de Trabalho sobre Órteses e Próteses. **Relatório Final**. 2010. Disponível em: <http://conselho.saude.gov.br/ultimas_noticias/2011/relatorio/GT_orteseprtese.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2018.
- BRASIL. Lei n. 13.146, de 6 de jul. de 2015. **Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência)**, Brasília, DF, jul 2015. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm>. Acesso em: 28 mar. 2018.
- BRASIL. Secretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência (SNPD). **Cartilha do Censo 2010 – Pessoas com Deficiência**. Brasília: SDH-PR/SNPD, 2012.
- BRASIL. Subsecretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência. Comitê de Ajudas Técnicas. **Tecnologia Assistiva**. Brasília: CORDE, 2009.
- BRENDLER, C.; MÜLLER, M.; SILVA, A.; TEIXEIRA, F. Digitalização 3D utilizando Kinect e sistemas CAD e CAM para confecção de órtese de membro inferior. In:

CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN, 11., 2014, Gramado. **Blucher Design Proceedings...**, 2014. p. 2479-2497, 2014.

CABRAL, A. K. P. da S.; SANGUINETTI, D. C. de M.; AMARAL, D. S.; MARCELINO, J. F. de Q.; MARTINS, L. B.; COSTA, J. A. P.; Usabilidade de produtos de Tecnologia Assistiva para atividades de vida diária de pessoas com Doença de Parkinson. **Ergodesign & HCI**, v. 5, n. especial (5), p. 104-115, 2017.

CABRERA, M.; SANDERS, B.; GOOR, O.; DRIESSEN-MOL, A.; OOMENS, C. W. J.; BAAJENS, F. P. T. Computationally Designed 3D Printed Self-Expandable Polymer Stents with Biodegradation Capacity for Minimally Invasive Heart Valve Implantation: A Proof-of-Concept Study. **3D Printing and Additive Manufacturing**, v. 4, p. 19-29, 2017.

CARVALHO, K. E. C.; GOIS JÚNIOR, M. B.; SÁ, K. N. Tradução e validação do Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology (QUEST 2.0) para o idioma português do Brasil. **Revista Brasileira de Reumatologia**, v. 54, n. 4, p. 260-267, 2014.

CHA, Y. H.; LEE, K. H.; RYU, H. J.; JOO, I. W.; SEO, A.; KIM, D. H.; KIM, S. J. Ankle-Foot Orthosis Made by 3D Printing Technique and Automated Design Software. **Applied Bionics and Biomechanics**, v. 2017, 2017.

CHEN, C. L.; TENG, Y. L.; LOU, S. Z.; LIN, C. H.; CHEN, F. F. User Satisfaction with orthotic devices and services in Taiwan. **PLoS ONE**, v. 9, n. 10, 2014.

COOK, D.; GERVASI, V.; RIZZA, R.; KUMARA, S.; LIU, X. C. Additive manufacturing fabrication of custom pedorthoses. **Rapid Prototyping Journal**, v. 16, n. 3, p. 189-193, 2010.

COSTA, C. R.; FERREIRA, F. M. R. M.; BORTOLUS, M. V.; CARVALHO, M. G. R. Dispositivos de Tecnologia Assistiva: fatores relacionados ao abandono. **Caderno de Terapia Ocupacional**, v. 23, n.3, p 611-624, 2015.

CREYLMAN, V.; MURARU, L.; PALLARI, J.; VERTOMMEN, H.; PEERAER, L. Gait assessment during the initial fitting of customized selective laser sintering ankle foot orthoses in subjects with drop foot. **Prosthetics and Orthotics International**, v. 37, n. 2, p. 132-138, 2012.

CURY, V. C. R.; MANCINI, M. C.; MELO, A. P.; FONSECA, S. T.; SAMPAIO, R. F.; TIRADO, M. G. A. Efeitos do uso de órtese na mobilidade funcional de crianças com paralisia cerebral. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, v. 10, n. 1, p. 67-74, 2006.

DEMERS, L; WEISS-LAMBROU, R.; SKA, B. The Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology (QUEST 2.0): An overview and recent progress. **Technology and Disability**, v. 14, p. 101-105, 2002.

DESSERTY, Y.; PALLARI, J. Measurements agreement between low-cost and high-level handheld 3D scanners to scan the knee for designing a 3D printed knee brace. **PLoS ONE**, v. 13, n. 1, 2018.

DOMBROSKI, C.; BALSDON, M. E. R.; FROATS, A. The use of a low cost 3D scanning and printing tool in the manufacture of custom-made foot orthoses: a preliminary study. **BMC Research Notes**, v. 7, p. 443-446, 2014.

EDELSTEIN, J. E.; BRUCKNER, J. **Órteses**: abordagem clínica. Tradução de: FERREIRA, E. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006. Título original: Orthotics: a comprehensive clinical approach.

ESTELLES, J. R. D.; SARAIVA, A. C. M.; DE ASSUMPÇÃO, R. M. C.; ABAGGE, M.; SIMÕES, R.; MEVES, R.; BERNARDO, W. M. Pé Equino na Criança com Paralisia Cerebral: Tratamento. Associação Médica Brasileira. **Projeto Diretrizes**, 2013. Disponível em: <https://diretrizes.amb.org.br/_BibliotecaAntiga/pe_equino_na_crian%C3%A7a_com_paralisia_cerebral_tratamento.pdf>. Acesso em: 18 abr 2018.

FAUSTINI, M., NEPTUNE, R.; CRAWFORD, R.; STANHOPE, S. Manufacture of passive dynamic ankle-foot orthoses using Selective Laser Sintering. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, v. 55, n.2, 2008.

FERNANDES, N. dos A.; TROISE, D. C.; FÁVERO, F. M.; FONTES, S. V.; OLIVEIRA, A. S. B. A Importância das Órteses de Membros Inferiores na Distrofia Muscular de Duchenne – Revisão. **Revista Neurociências**, v. 20, p. 584-587, 2012.

FERNANDES, B. O.; FOGGIATTO, J. A.; POIER, P. H. Uso da impressão 3D na fabricação de órteses—um estudo de caso. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTEGRATION OF DESIGN, ENGINEERING AND MANAGEMENT FOR INNOVATION, 4., 2015, Florianópolis. **Proceedings**, Florianópolis, 2015.

FREITAS, G. **Metodologia e aplicabilidade da digitalização 3D a laser no desenvolvimento de moldes para calçados e componentes**. 2006. 115f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGEM), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

GOU, N.; LEU, M. C. Additive manufacturing: technology, applications and research needs. **Frontiers of Mechanical Engineering**, v. 8, n. 3, p. 215-243, 2013.

HENSEN, J. C. D. S. F.; FABRI, A. F.; FOGGIATTO, J. A.; MERINO, E. A. D.; MERINO, G. S. A. D. Aplicação da termografia na avaliação do uso de uma órtese produzida por Manufatura Aditiva: um estudo preliminar. In: SEMINÁRIO DE EXTENSÃO E INOVAÇÃO DA UTFPR, 7., 2017, Londrina. **Anais...** Curitiba: UTFPR, 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO); AMERICAN SOCIETY OF INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR TESTING AND MATERIALS. (ASTM) **ISO/ASTM 52900:2015**: Additive manufacturing – general principles – terminology. Genève: ISO; West Conshohocken: ASTM International, 2016.

JIN, Y.; PLOTT, J. CHEN, R.; WEMSMAN, J.; SHIH, A. Additive Manufacturing of Custom Orthoses and Prostheses – A Review. **Procedia CIRP**, v. 36, p. 199-204, 2015.

JIN, Y.; HE, Y.; SHIH, A. Process planning for the fuse deposition modeling of ankle-foot-orthoses. **Procedia CIRP**, v. 42, p. 760-765, 2016.

JUVENAL, E. A. O.; KUNKEL, M. E. Metodologia para Produção de Órtese Tornozelo e Pé através da Fotogrametria e Modelagem Tridimensional. In: SIMPÓSIO DE INSTRUMENTAÇÃO E IMAGENS MÉDICAS, 8., 2017, São Bernardo do Campo. **Anais...**, Santo André, 2017.

JUMANI, M. S.; SHAIKH, S.; SHAH, S. A. Fused Deposition Modelling Technique (FDM) for fabrication of custom-made foot orthoses: a cost and benefit analysis. **Science International (Lahore)**, v. 26, n. 5, p. 2571-2576, 2014.

KENGLA, C.; RENTERIA, E.; WIVELL, C.; ATALA, A.; YOO, J. J.; LEE, S. J. Clinically Relevant Bioprinting Workflow and Imaging Process for Tissue Construct Design and Validation. **3D Printing and Additive Manufacturing**, v.4, p. 239-247, 2016.

LEVITT, S. **Tratamento da Paralisia Cerebral e do Atraso Motor**. Baruei, SP: Manole, 2014.

LIU, X. C.; TASSONE, C.; RIZZA, R. LINFORD, E.; THOMETZ, J. G.; LYON, R.; TARIMA, S. Newly Designed Foot Orthosis for Children with Residual Clubfoot After Ponseti Casting. **Journal of Prosthetics and Orthotics**, v. 26, n. 1, p. 38-42, 2014.

LOURENÇO, G. F.; HONÓRIO, A. C.; FIGUEIREDO, M. O. Satisfação no uso de recursos assistivos para orientação e mobilidade por adultos com deficiência visual. **Revista de Terapia Ocupacional da Universidade de São Paulo**, v. 28, n. 3, p. 340-348, 2017.

LUCARELI, P. R. G.; LIMA, M. de O.; LUCARELLI, J. G. de A.; LIMA F. P. S. Changes in joint kinematics in children with cerebral palsy while walking with and without a floor reaction ankle-foot orthosis. **Clinics**, v. 62, n. 1, p. 63-68, 2007.

LUNSFORD, C.; GRINDLE, G.; SALATIN, B.; DICIANO, B. E. Innovations With 3-Dimensional Printing in Physical Medicine and Rehabilitation: A Review of the Literature. **PM and R**, v. 8, p. 1201–1212, 2016.

MAVROIDIS, C.; RANKY, R. G.; SIVAK, M. L.; PATRITTI, B. L.; DIPISA, J.; CADDLE, A.; GILHOOLY, K.; GOVONI, L.; SIVAK, S.; LANCIA, M.; DRILLO, R.; BONATO, P. Patient specific ankle-foot orthoses using rapid prototyping. **Journal of neuroengineering and rehabilitation**, v. 8, n. 1, p. 1, 2011.

MEDEIROS, I. L.; BROGIN, B.; MERINO, E. A. D.; BRAVIANO, G. BATISTA, V. Avaliação ergonômica do desconforto muscular causado pelo uso de cadeira de rodas. **Human Factors in Design**, v. 4, n. 8, p. 85-111, 2015.

MERINO, G. S. A. D. **Metodologia para a prática projetual do design: com base no Projeto Centrado no Usuário e com Ênfase no Design Universal**. 2014. 212p. Tese (Doutorado em Engenharia da Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

MIKOLAJEWSKA, E.; MACKO, M.; ZIARNECKI, L.; STAŃCZAK, S.; KAWALEC, P.; MIKOLAJEWSKI, D. 3D printing Technologies in Rehabilitation Engineering. **Journal of Health Sciences**, v. 4, n. 12, p. 78-83, 2014.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Confecção e manutenção de órteses, próteses e meios auxiliares de locomoção: confecção e manutenção de próteses de membros**

inferiores, órteses suropodálicas e adequação postural em cadeira de rodas. Brasília: Ministério da Saúde, 2013.

OPOLSKI, A. C.; ERBANO, B. O.; SCHIO, N. A.; GRAÇA, Y. L. S. DE S.; GUARINELLO, G. G.; OLIVEIRA, P. M.; LEAL, A. G.; FOGGIATTO, J. A.; KUBRUSLY, L. F. Experimental Three - Dimensional Biomodel of Complex Aortic Aneurysms by Rapid Prototyping Technology. **3D Printing and Additive Manufacturing**, v. 1, p. 88-94, 2014.

ORTOCURITIBA. **Órtese Suropodalica Fixa 90° 20 ao 30 Uni**. Disponível em: <<https://www.ortocuritiba.com.br/mafo-anti-equino-fixo-90o-unilateral.html>>. Acesso em: 10 Ago. 2018.

ORTOPÉDICA PEGADAS. **Órtese AFO Dinâmica para Plante Flexão**. Disponível em: <<http://pegadasortopedica.com.br/produto/ortese-afo-dinamica-para-plante-flexao/>>. Acesso em: 1 Fev 2019.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K. H. **Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. São Paulo: E. Blucher, 2005.

PALLARI, J. H. P.; DALGARNO, K. W.; MUNGUIA, J.; MURARU, L.; PEERAER, L.; TELFER, S.; WOODBURN, J. Design and additive manufacturing fabrication of foot and ankle-foot orthoses. In: 21ST ANNUAL INTERNATIONAL SOLID FREEFORM FABRICATION SYMPOSIUM—AN ADDITIVE MANUFACTURING CONFERENCE, 21., 2010, Austin, United States of America, 2010. **Proceedings...** Austin, 2010. p. 834-845.

PALLARI, J. H. P.; DALGARNO, K. W.; WOODBURN, J. Mass Customization of Foot Orthoses for Rheumatoid Arthritis Using Selective Laser Sintering. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, v. 57, n.5, 2010.

PATERSON, A.; BIBB, R.; DOWNEY, K.; PALLARI, J. Products: Designing products for chronic health. In: TSEKLEVES, E; COOPER, R. (Ed.). **Design for Health**. Nova Iorque: Routledge, 2017. p. 241-259.

PATERSON, A.; DONNISON, E.; BIBB, R. J.; CAMPBELL, R. I. Computer-aided design to support fabrication of wrist splints using 3D printing: A feasibility study. **Hand Therapy**, v. 19, n. 4, p. 102-113, 2014.

PALOUSEK, D.; ROSICKY, J.; KOUTNY, D.; STOKLÁSEK, P.; NAVRAT, T. Pilot study of the wrist orthosis design process. **Rapid Prototyping Journal**, v. 20, n. 1, p. 27-32, 2014.

PEIXOTO, J.; FLORES, P.; SOUTO, A. P. A new approach to implement a customizedanatomic insole in orthopaedic footwear of lower limb orthosis. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 254, 2017.

PEREIRA, M. N. F.; VIEIRA, A. P. S. **Utilização de órteses no setor de Saúde da Criança e do Adolescente da Clínica de Fisioterapia da Universidade São Francisco**. 2007. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Fisioterapia. Universidade São Francisco, Bragança Paulista, 2007.

RECLAME AQUI. **Demora para receber órteses e marcar consulta com Fisiatra**. Disponível em: <https://www.reclameaqui.com.br/aacd-teleton/demora-para-receber-orteses-e-marc-ar-consulta-com-fisiatra_Tjop3POLRqquLQpg/>. Acesso em: 23 abr. 2018.

ROSENMANN, G. C.; WEIGERT, M. C.; POIER, P. H.; FOGGIATTO, J. A.; OKIMOTO, M. L. L.; VOLPATO, N.; ULBRICHT, L. Development and Evaluation of Low-Cost Custom Splint for Spastic Hand by Additive Manufacturing. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED HUMAN FACTORS AND ERGONOMICS, 8., 2017, Los Angeles. **Proceedings**, Cham: Springer, 2017. p. 701-711.

ROSEMANN, G. C. **Avaliação de Sistemas de digitalização 3D de baixo custo aplicados ao desenvolvimento de órteses por Manufatura Aditiva**. 113f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais (PPGEM), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo, SP: Saraiva, 2006.

SANTOS, M. L. **Lançamento do Autodesk Recap Photo**. Disponível em: <<http://blogs.autodesk.com/mundoaec/lançamento-do-recap-photo/>>. Acesso em: 10 de abr. 2018.

SILVA, E; MENEZES, E. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. Florianópolis: UFSC, 2005.

SOUZA, M. A.; CEZARANI, A; MATTIELLO-SVERZUT, A. C. Efeito do uso das órteses no prolongamento da marcha de pacientes com distrofia muscular de Duchenne: revisão da literatura. **Acta Fisiátrica**, v. 22, n. 3, 2015.

SWINNEN, E.; LAFOSSE, C.; NIEUWENHOVEN, J. V.; ILSBROUKX, V.; BECKWÉE, D.; KERCKHOFS, E. Neurological patients and their lower limb orthotics: An observational pilot study about acceptance and satisfaction. **Prosthetics and Orthotics International**, v. 41, n. 1, p. 41-50, 2017.

TELFER, S.; GIBSON, K. S.; HENNESSY, K.; STEULJENS, M. P.; WOODBURN, J. Computer-Aided Design of Customized Foot Orthoses: Reproducibility and Effect of Method Used to Obtain Foot Shape. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, v. 93, p. 863-870, 2012a.

TELFER, S.; PALLARI, J.; MUNGUIA, J.; DALGARNO, K.; MCGEOUGH, M., WOODBURN, J. **Embracing additive manufacture: implications for foot and ankle orthosis design**. BMC musculoskeletal disorders, v. 13, n. 1, 2012b.

TELFER, S.; WOODBURN, J. The use of a 3D surface scanning for the measurement and assessment of the human foot. **Journal of Foot and Ankle Research**, v. 3, n. 1, p. 1-9, 2010.

THOMPSON, M. K.; MORONI, G.; VANEKER, T.; FADEL, G.; CAMBELL, R. I.; GIBSON, I.; BERNARD, A.; SCHULZ, J.; GRAF, P.; AHUJA, B.; MARTINA, F. Design for Additive Manufacturing: Trends, opportunities, considerations and constraints. **CIRP Annals: Manufacturing Technology**, v. 65, 2016, p. 737-760.

TPU: flexível, resistente e confiável. **Revista Poliuretano – Tecnologias e Aplicações**, São Paulo, v. 36, n. 1, p. 18-19, abr. 2009. Disponível em: <http://tecnologiademateriais.com.br/consultas_tm/pdf/pu36/18-19.pdf>. Acesso em: 4 fev. 2019.

TOLEDO, I.; SANTOS, N. A.; JUVENAL, E.; CANO, A. P.; GANGA, T. A. F.; KUNKEL, M. E. Metodologia para produção de órteses por meio de fotogrametria, modelagem 3D e manufatura aditiva. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMECÂNICA CBB, 17., 2017, Porto Alegre. **Anais...**, Porto Alegre, 2017. p.564-565.

VILLA-PARRA, A. C.; DELISLE-RODRIGUEZ, D.; LIMA, J. S.; FRIZERA NETO, A.; BASTOS, T. Knee Impedance Modulation to Control an Active Orthosis Using Insole Sensors. **Sensors**, Basel, v. 17, n. 12, 2017.

VOLPATO, N; CARVALHO, J. de. Introdução à Manufatura Aditiva ou Impressão 3D. In: VOLPATO, N. (Ed.). **Manufatura Aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3D**. São Paulo: Blucher, 2017. p. 15-30.

VOLPATO, N. Processos de AM por Extrusão de Material. In: _____. **Manufatura Aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3D**. São Paulo: Blucher, 2017. p. 145-175.

WALBRAN, M.; TURNER, K.; MCDAID, A. Customized 3D printed ankle-foot orthosis with adaptable carbon fibre composite spring joint. **Cogent Engineering**, v. 3, n. 1, p. 1–11, 2016.

WEIGERT, M. C. **Método de desenvolvimento de órtese personalizada de baixo custo para a manufatura aditiva**. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais (PPGEM), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

WONG, K. V.; HERNANDEZ, A. A Review of Additive Manufacturing, ISRN Mechanical Engineering. **ISRN Mechanical Engineering**, v. 2012, p. 1-10, 2012.

WU, Y. Y.; RAJARAMAN, M.; LEE, B.; PLAKSEYCHUK, A.; SHIMADA, K. A Patient-Specific Flexible 3D Printed Orthopedic Model for Training and Teaching of Clubfoot Correction Surgery. **3D Printing and Additive Manufacturing**, v. 3, p. 99-105, 2016.

XIAO, J.; GAO, Y. The manufacture of 3D printing of medical grade TPU. **Progress in Additive Manufacturing**, v. 2, p. 117-123, 2017.

APÊNDICE 1 – PROCESSO TRADICIONAL DE FABRICAÇÃO DE ÓRTESES DE MEMBRO INFERIOR NO BRASIL

Etapa	Descrição dos procedimentos realizados na etapa	Resultado da etapa
1) Obtenção do molde negativo	O ortesista recobre o membro do paciente com um tecido fino, para evitar o contato do gesso com a pele; com a atadura gessada umedecida, aplica-se sobre o tecido envolvendo todo o membro e moldando de acordo com a anatomia. Aguarda-se a secagem do gesso na posição prescrita pelo médico; após a secagem corta-se o molde obtido em duas partes para a remoção do membro do paciente.	
2) Obtenção do molde positivo	Posteriormente, fecham-se as duas partes do molde negativo deixando apenas uma abertura superior; prepara-se uma mistura a base de gesso e água; preenche-se o molde com essa mistura; aguarda-se a secagem do gesso (cerca de 30 minutos). Abre-se o molde negativo; faz-se o acabamento da superfície do molde positivo, corrige-se o arco plantar, de acordo com a prescrição, utilizando lixas e grosas. Adicionam-se outras camadas de gesso nas regiões onde se precisam evitar desconfortos (regiões de contato direto com ossos, por exemplo) ou no local onde será colocada a articulação (para o caso de órtese articulada); espera-se secar, refaz-se o acabamento e faz-se verificação final das medidas comparando com a prescrição.	
3) Termomoldagem	Escolhe-se a espessura da placa de polipropileno a ser utilizada (de 3 a 5mm, dependendo da idade do paciente e rigidez necessária da órtese); mede-se o tamanho da placa necessária para a órtese e corta-se o material. A placa é colocada em uma estufa a 200°C até atingir aspecto transparente (no estado sólido o polipropileno é opaco); aplica-se sobre o molde positivo e sela-se hermeticamente junto ao bocal de uma linha de sucção; remove-se o material após a conformação e total resfriamento (material voltará ao aspecto opaco); faz-se o acabamento e lixa-se as bordas.	

4) Prova

Paciente prova a órtese e marcam-se as regiões que causam alguma pressão ou incômodo para ele (isto é, que causem pontos de pressão que possam vir a causar úlceras de pressão); marcam-se também a altura, comprimento e bordas desejadas para se fazer o recorte do material excedente. São feitos os recortes e os ajustes dos pontos de pressão (aquecendo e conformando a órtese) e o paciente a prova novamente.

**5) Acabamento**






Faz-se o acabamento das bordas, aplicam-se os suportes, velcros para fixação e o forro na órtese (geralmente de EVA) utilizando cola de contato. Para o caso de órteses articuladas, corta-se órtese na região do tornozelo, fura-se, faz-se o acabamento das bordas e, por fim, são montadas as articulações utilizando rebites.

**6) Entrega e prova final**






Paciente prova a órtese; caso possua condições cognitivas, escuta-se a opinião do paciente; refazem-se ajustes e alívios de pressão, caso necessário. É feita a entrega final da órtese e recomenda-se que o paciente retorne ao profissional que prescreveu o uso da órtese; pede-se para o paciente retornar ao ortesista caso necessite de alguma correção posterior.

APÊNDICE 2 –BENCHMARKING

(Continua)

Benchmarking					
Tipo de órtese	AFO de prateleira (genérica)	AFO personalizada	AFO por AM – personalizada	AFO por AM – genéricas e personalizadas	AFO por AM – personalizada
Público	Pé caído	Paralisia cerebral	Idoso com Síndrome de Pós-Pólio	Deformidade congênita (<i>clubfoot</i>)	Adultos com pé caído unilateral
Tipo de Digitalização	Não customizada	Método tradicional	Tomografia Computadorizada de uma órtese	Genéricas: não customizadas Personalizada: Tomografia Computadorizada do pé	Digitalização indireta a laser
Custo do equipamento			Alto	Alto	Alto
Tipo de impressão 3D			SLS - Vanguard HS (3D Systems®)	SLS (externa) e SLA (molde parte interna)	SLS
Custo do equipamento			Alto	Alto	Alto
Material	Polipropileno	Polipropileno	Nylon 12, nylon 12 preenchido com fibra de vidro e nylon 11	Externa: nylon 12 Interna: poliuretano (a partir do molde feito por SLA)	Nylon 12
Informações adicionais	R\$215,50 (unidade)	R\$400 (unidade)	32h da impressão ao pós-processamento	-	-
Fonte	OrtoCuritiba (2018)	Centro Vitória	Faustini et al. (2008)	Cook et al. (2010) Liu et al. (2014)	Creylman et al. (2012)



(Continua)

Benchmarking					
Tipo de órtese	AFO por AM - personalizada	FO por AM – personalizada	AFO por AM - personalizada	FO por AM - personalizada	FO por AM
Público	Adulto saudável	Adulto saudável	Adulto saudável	Pacientes com artrite reumatoide	Não informado
Tipo de Digitalização	Digitalização a laser	Digitalização direta a laser	Digitalização direta a laser	Digitalização direta a laser	Não informado
Custo do equipamento	Alto	Alto	Alto	Alto	-
Tipo de impressão 3D	SLA	SLS	SLS	SLS	Extrusão de material Dimension BST 768 (Stratasys®)
Custo do equipamento	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto (£20000)
Material	Resina rígida e flexível	Nylon 12	Nylon 12	Nylon 12	ABS
Informações adicionais	-	Custo de €56 para fabricar 3 pares ao mesmo tempo	€534 por unidade	Não aplicaram material de conforto e causou desconforto	£462 por par (se produzir 220 pares por ano)
Fonte	Mavroidis et al. (2011)	Telfer et al. (2012)	Telfer et al. (2012)	Pallari, Dalgarno e Woodburn (2010)	Jumani, Skaikh e Shah (2014)

(Continua)

Benchmarking	Sem foto	Sem foto			
Tipo de órtese	AFO por AM - personalizada	FO por AM – personalizada	AFO por AM – personalizada	FO por AM – personalizada	AFO por AM – personalizada
Público	Pessoa adulta saudável	Pessoa adulta saudável	Pessoa adulta saudável	Adulto com poliomilite	Adulto
Tipo de Digitalização	Digitalização direta com Kinect 360	Digitalização direta com Kinect 360	Digitalização direta a laser	Digitalização direta a laser	Digitalização direta a laser
Custo do equipamento	Baixo	Baixo	Alto	Alto	Alto
Tipo de impressão 3D		Extrusão de Material	Extrusão de Material	Extrusão de Material	Extrusão de material
Custo do equipamento	Não produziram	Não se pode afirmar	Não se pode afirmar	Baixo	Não se pode afirmar
Material		ABS	ABS	PLA	ABS
Informações adicionais	Não captaram geometria da planta do pé	-	Desenvolveram um dispositivo para fixação da perna durante digitalização. Ortese com 4mm de espessura	Palmilha para ser usada em conjunto com uma órtese de joelho, tornozelo e pé	-
Fonte	Brendler et al. (2014)	Dombroski, Balsdon e Froats (2014)	Walbran et al. (2016)	Peixoto, Flores e Souto (2017)	Belokar, Bunga e Kumar (2017)

(Conclusão)

Benchmarking		Sem foto	
Tipo de órtese	AFO por AM – personalizada	AFO por AM – personalizada	AFO por AM – personalizada
Público	Adulto que já usava órtese convencionais	Teste com uma boneca	Crianças de 0 a 2 anos com paralisia cerebral (testaram com uma boneca)
Tipo de Digitalização	Digitalização direta por luz estruturada – Artec® Eva	Baseada em fotos – Autodesk® 123D Catch (descontinuado)	Baseada em fotos – Autodesk® ReMake (descontinuado) Digitalização direta com Kinect 360
Custo do equipamento	Alto	Baixo	Baixo
Tipo de impressão 3D	Extrusão de Material - Finebot® FB-9600	Extrusão de Material – Boa Impressão® Stella	Não fabricaram
Custo do equipamento	Baixo	Baixo	-
Material	Poliuretano (TPU)	PLA	-
Informações adicionais	-	-	Órtese modelada com espessura de 3mm
Fonte	Cha et al. (2017)	Toledo et al. (2017)	Juvenal e Kunkel (2017)

APÊNDICE 3 – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE) E TERMO DE CONSENTIMENTO PARA USO DE IMAGEM (TCUI)

Para o responsável pela criança

Título da pesquisa: DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE ÓRTESE PARA MEMBRO INFERIOR CONFECCIONADA POR IMPRESSÃO 3D

Pesquisador(es/as) ou outro (a) profissional responsável pela pesquisa, com Endereços e Telefones:

Prof. Dr. José Aguiomar Foggiatto, coordenador do projeto e professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (PPGEM-UTFPR). Laboratório NUFER (Núcleo de Manufatura Aditiva e Ferramental) - Rua Deputado Heitor Alencar Furtado, 5000 – Ecoville, CEP 81280-340 - Curitiba - PR – Brasil. Telefone +55 (41) 3279-6547 - 98899-7709

Jéssica Cristina Dias dos Santos Forte Hensen, bolsista de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais (PPGEM). Laboratório NUFER - Rua Deputado Heitor Alencar Furtado, 5000 – Ecoville, CEP 81280-340 - Curitiba - PR – Brasil. Telefone +55 41 99707-8300

Paloma Hohmann Poier, bolsista de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais (PPGEM). Laboratório NUFER - Rua Deputado Heitor Alencar Furtado, 5000 - Ecoville CEP 81280-340 - Curitiba - PR – Brasil. Telefone +55 41 99677-8726

Local de realização da pesquisa:

Centro Vitória de Reabilitação Neurológica. Av. Manoel Ribas, 6905 – Santa Felicidade. Curitiba – PR, 82400-000. Telefone: +55 41 35385740

A) INFORMAÇÕES AO PARTICIPANTE

1. Apresentação da pesquisa.

Você e a pessoa que você representa estão sendo convidados a participar da pesquisa “DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE ÓRTESE PARA MEMBRO INFERIOR CONFECCIONADA POR IMPRESSÃO 3D”. A impressão 3D é uma forma de confeccionar objetos de diferentes materiais, camada por camada, com o controle de um computador. Muitos produtos podem ser confeccionados em menor tempo, preço acessível e de qualidade utilizando-se dessa tecnologia. Órteses e outros equipamentos de Tecnologia Assistiva também podem ser desenvolvidos com esta tecnologia sendo este o foco desta pesquisa. A impressão 3D aliada a digitalização do seguimento corporal podem gerar produtos melhor adaptados aos usuários.

2. Objetivos da pesquisa.

Os objetivos deste projeto são o desenvolvimento e avaliação de órteses fabricadas por tecnologias de impressão 3D de baixo custo para crianças com condições neurológicas e ortopédicas que resultem na indicação deste dispositivo.

3. Participação na pesquisa.

As intervenções ocorrerão no Centro Vitória cujo endereço está discriminado em “local de realização da pesquisa” descritos no início deste termo e se darão em dias em que vocês tiverem sessões de fisioterapia marcadas. Basicamente, sua participação (e da pessoa que você representa) se dará em 2 dias diferentes.

No primeiro dia, você e a pessoa que você representa avaliarão, por meio de dois questionários, a órtese convencional que ela usa. Para responder estes questionários serão necessários cerca de 20 minutos. Nossa intenção é que você e a pessoa que você representa nos auxiliem a avaliar a estética, facilidade de colocação e retirada, resistência, facilidade de higienização, existência de pontos de pressão, acabamento da órtese convencional. Após isso, os pesquisadores preencherão com você, com a pessoa que você representa e com o fisioterapeuta um formulário para determinar características tanto estéticas (cor, detalhes, etc.) quanto funcionais (posições, fixações, etc.) que a órtese deve ter para que atenda aos desejos e as necessidades do tratamento da pessoa que você representa e as suas necessidades como cuidador. Esse procedimento levará cerca de 20 minutos.

Depois disso, o fisioterapeuta que atende a pessoa que você representa fará o posicionamento dos membros inferiores, um por vez, do paciente para que seja feita a aquisição da anatomia para fabricar a órtese personalizada. Nessa etapa, será utilizada atadura gessada, semelhantemente ao processo tradicional de fabricação de órteses. Ou seja, os pesquisadores umedecerão a atadura gessada, aplicarão na pele da pessoa que você representa, com a ajuda do fisioterapeuta, e aguardarão cerca de 5 minutos até que o gesso reproduza a anatomia de interesse e obtenha firmeza para remoção.

Com a aquisição da anatomia, os pesquisadores poderão desenvolver a órtese no laboratório e fabricá-la. Assim que estiver pronta, você será comunicado e será marcado um dia para a entrega da órtese, de acordo com os dias da fisioterapia da pessoa que você representa no Centro Vitória.

No segundo dia, será feita a entrega da órtese, a pessoa que você representa a experimentará. O fisioterapeuta avaliará se a órtese está adequada e analisaremos a necessidade de melhorias para evitar incômodos (pontos de pressão, por exemplo). Além disso, os pesquisadores passarão a vocês algumas orientações sobre a utilização. Também nesse dia, você e a pessoa que você representa avaliarão, por meio dos mesmos questionários aplicados no primeiro dia, a órtese fabricada por impressão 3D que foi entregue a vocês. Para responder estes questionários serão necessários cerca de 20 minutos. Nossa intenção é que você e a pessoa que você representa nos auxiliem a avaliar a estética, facilidade de colocação e retirada, existência de pontos de pressão, acabamento da órtese fabricada por impressão 3D.

A partir disso, a pessoa que você representa poderá utilizar a órtese no dia a dia.

4. Confidencialidade.

As informações relacionadas à pesquisa serão analisadas pelos pesquisadores e poderão ser inspecionadas por autoridades legais. No entanto, em qualquer relato do estudo, sua identidade e da pessoa que você representa serão mantidas em total sigilo.

5. Desconfortos, Riscos e Benefícios.

5a) Desconfortos e/ou Riscos:

Para você:

Poderá haver constrangimento nas etapas de avaliação das órteses, pretende-se minimizar esse constrangimento dando abertura para perguntas, reduzindo a presença dos pesquisadores durante as avaliações por meio de questionários e ainda explicando que eles têm a liberdade para dar a sua opinião.

Para a pessoa que você representa:

Há risco de aparecimento de lesões e pontos de pressão na pele. Estes riscos serão minimizados pelo acompanhamento do profissional responsável pela criança (fisioterapeuta) e pelos pesquisadores, que também orientarão sobre a correta forma de utilização da órtese. A opinião do usuário do dispositivo e avaliações (usando termografia, por exemplo) podem ser utilizadas para evitar a formação de pontos de pressão. Se mesmo assim isso ocorrer após determinado tempo e for relatado pelo profissional responsável, a equipe de pesquisadores avaliará os usuários com relação a estas possíveis novas ocorrências e tomará as medidas necessárias para corrigir o problema.

A pessoa que você representa poderá sentir um desconforto térmico no momento da aquisição da anatomia, tal risco será minimizado com a explicação do procedimento antes da sua realização, com a presença e auxílio do fisioterapeuta e utilizando água morna para umedecer a atadura gessada.

Poderá haver constrangimento nas etapas de avaliação das órteses, pretende-se minimizar esse constrangimento dando abertura para perguntas, reduzindo a presença dos pesquisadores durante as avaliações por meio de questionários e ainda explicando que eles têm a liberdade para dar a sua opinião.

5b) Benefícios:

Para você:

Caso as órteses desenvolvidas sejam comprovadamente eficazes, estas serão cedidas aos participantes, sem nenhum custo.

Para a pessoa que você representa:

A qualidade das órteses personalizadas e fabricadas por impressão 3D pode beneficiar os usuários, pois podem impedir a progressão das deformidades, além de propiciar a manutenção dos tecidos moles e da amplitude articular e conseqüentemente aumentar a funcionalidade do membro; além dos benefícios de aumentar o conforto e do menor tempo de espera para entrega da órtese.

6. Critérios de inclusão e exclusão.

6a) Inclusão: Serão incluídas dez crianças com patologias neurológicas e/ou ortopédicas, com idade entre 2 e 6 anos, com indicação de órtese de membro inferior, atendidas no Centro Vitória. Serão incluídos dez pais ou responsáveis das crianças incluídas no estudo. Serão incluídos dez fisioterapeutas, responsáveis por cada criança incluída no estudo.

6b) Exclusão: Serão excluídas as crianças: com deformidades acentuadas com indicação de correção cirúrgica; que foram submetidas à cirurgia a menos de seis meses; que possam ter suspeita de lesões nos membros inferiores; que a causa da deformidade seja um quadro degenerativo; ou que não tenham acompanhamento por fisioterapeuta.

7. Direito de sair da pesquisa e a esclarecimentos durante o processo.

Você ou a pessoa que você representa terá o acompanhamento dos pesquisadores e qualquer dúvida pode ser respondida durante todas as etapas. Os profissionais fisioterapeutas da instituição parceira também acompanharão os procedimentos. Você tem garantia de acesso aos dados e informações antes, durante e depois da pesquisa, tendo liberdade para fazer qualquer pergunta. Cabe lembrar que a sua participação, ou da pessoa que você representa nesta pesquisa é voluntária, ou seja, você tem liberdade de recusar a participar da mesma, ou, se aceitar participar, pode se retirar do estudo a qualquer momento.

Você pode assinalar o campo a seguir, para receber o resultado desta pesquisa, caso seja de seu interesse :

() quero receber os resultados da pesquisa (email para envio :
_____)

() não quero receber os resultados da pesquisa

8. Ressarcimento e indenização.

Este estudo é de participação voluntária, não existindo pagamento ou ressarcimento pela participação, uma vez que você não terá nenhum custo com a sua participação. Você não terá qualquer despesa referente aos trabalhos realizados pelos pesquisadores e também não receberá qualquer benefício financeiro por participar da pesquisa.

Caso ocorra algum tipo de dano no decorrer da pesquisa, as providências cabíveis serão tomadas para que o dolo seja indenizado conforme determinação legal.

ESCLARECIMENTOS SOBRE O COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA:

O Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos (CEP) é constituído por uma equipe de profissionais com formação multidisciplinar que está trabalhando para assegurar o respeito aos seus direitos como participante de pesquisa. Ele tem por objetivo avaliar se a pesquisa foi planejada e se será executada de forma ética. Se você considerar que a pesquisa não está sendo realizada da forma como você foi informado ou que você está sendo prejudicado de alguma forma, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (CEP/UTFPR). **Endereço:** Av. Sete de Setembro, 3165, Bloco N, Térreo, Bairro Rebouças, CEP 80230-901, Curitiba-PR, **Telefone:** (41) 3310-4494, **e-mail:** coep@utfpr.edu.br.

B) CONSENTIMENTO *(do participante da pesquisa ou do responsável legal – neste caso anexar documento que comprove parentesco/tutela/curatela)*

Eu declaro ter conhecimento das informações contidas neste documento e ter recebido respostas claras às minhas questões a propósito da minha participação direta (ou indireta) na pesquisa e, adicionalmente, declaro ter compreendido o objetivo, a natureza, os riscos, benefícios, ressarcimento e indenização relacionados a este estudo.

Permito que os pesquisadores relacionados neste documento obtenham fotografias da pessoa que eu represento para fins de pesquisa científica/ educacional. Concordo que o material e as informações obtidas relacionadas a pessoa que eu represento possam ser publicados em aulas, congressos, eventos científicos, palestras ou periódicos científicos. Porém, eu e a pessoa que represento não devemos ser identificados por nome ou qualquer outra forma. As fotografias ficarão sob a propriedade do grupo de pesquisadores pertinentes ao estudo e sob sua guarda.

Após reflexão e um tempo razoável, eu decidi, livre e voluntariamente, participar deste estudo. Estou consciente que posso deixar o projeto a qualquer momento, sem nenhum prejuízo.

Nome Completo: _____

RG: _____ Data de Nascimento: ___/___/_____ Telefone: _____

Endereço: _____

CEP: _____ Cidade: _____ Estado: _____

Assinatura: _____ Data: ___/___/_____

Eu declaro ter apresentado o estudo, explicado seus objetivos, natureza, riscos e benefícios e ter respondido da melhor forma possível às questões formuladas.

Nome completo: _____

Assinatura pesquisador (a): _____ Data: ___/___/___

(ou seu representante)

Para todas as questões relativas ao estudo ou para se retirar do mesmo, poderão se comunicar com _____, via e-mail: _____ ou telefone: _____.

Contato do Comitê de Ética em Pesquisa que envolve seres humanos para denúncia, recurso ou reclamações do participante pesquisado:

Comitê de Ética em Pesquisa que envolve seres humanos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (CEP/UTFPR)

Endereço: Av. Sete de Setembro, 3165, Bloco N, Térreo, Rebouças, CEP 80230-901, Curitiba-PR, **Telefone:** 3310-4494, **E-mail:** coep@utfpr.edu.br

OBS: este documento deve conter 2 (duas) vias iguais, sendo uma pertencente ao pesquisador e outra ao participante da pesquisa.

APÊNDICE 4 – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE) Para fisioterapeuta

Título da pesquisa: DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE ÓRTESE PARA MEMBRO INFERIOR CONFECCIONADA POR IMPRESSÃO 3D

Pesquisador(es/as) ou outro (a) profissional responsável pela pesquisa, com Endereços e Telefones:

Prof. Dr. José Aguiomar Foggiatto, coordenador do projeto e professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (PPGEM-UTFPR). Laboratório NUFER (Núcleo de Manufatura Aditiva e Ferramental) - Rua Deputado Heitor Alencar Furtado, 5000 – Ecoville, CEP 81280-340 - Curitiba - PR – Brasil. Telefone +55 (41) 3279-6547 - 98899-7709

Jéssica Cristina Dias dos Santos Forte Hensen, bolsista de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais (PPGEM). Laboratório NUFER - Rua Deputado Heitor Alencar Furtado, 5000 – Ecoville, CEP 81280-340 - Curitiba - PR – Brasil. Telefone +55 41 99707-8300

Paloma Hohmann Poier, bolsista de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais (PPGEM). Laboratório NUFER - Rua Deputado Heitor Alencar Furtado, 5000 - Ecoville CEP 81280-340 - Curitiba - PR – Brasil. Telefone +55 41 99677-8726

Local de realização da pesquisa:

Centro Vitória de Reabilitação Neurológica. Av. Manoel Ribas, 6905 – Santa Felicidade. Curitiba – PR, 82400-000. Telefone: +55 41 35385740

A) INFORMAÇÕES AO PARTICIPANTE

1. Apresentação da pesquisa.

Você está sendo convidado a participar da pesquisa “DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE ÓRTESE PARA MEMBRO INFERIOR CONFECCIONADA POR IMPRESSÃO 3D”. A impressão 3D é uma forma de confeccionar objetos de diferentes materiais, camada por camada, com o controle de um computador. Muitos produtos podem ser confeccionados em menor tempo, preço acessível e de qualidade utilizando-se dessa tecnologia. Órteses e outros equipamentos de Tecnologia Assistiva também podem ser desenvolvidos com esta tecnologia sendo este o foco desta pesquisa. A impressão 3D aliada a digitalização do seguimento corporal podem gerar produtos melhor adaptados aos usuários.

2. Objetivos da pesquisa.

Os objetivos deste projeto são o desenvolvimento e avaliação de órteses fabricadas por tecnologias de impressão 3D de baixo custo para crianças com condições neurológicas e ortopédicas que resultem na indicação deste dispositivo.

3. Participação na pesquisa.

As intervenções ocorrerão no seu local de trabalho, Centro Vitória, cujo endereço está discriminado em “local de realização da pesquisa” descritos no início deste termo e se darão em dias em que vocês tiver sessões de fisioterapia marcadas com o paciente participante da pesquisa. Basicamente, sua participação se dará em 2 dias diferentes.

No primeiro dia, você nos informará o estado clínico da criança e avaliará, por meio de dois questionários, a órtese convencional que o paciente usa. Para responder estes questionários serão necessários cerca de 20 minutos. Nossa intenção é que você nos auxilie a avaliar a estética, facilidade de colocação e retirada, resistência, facilidade de higienização, existência de pontos de pressão, acabamento da órtese convencional. Após isso, os pesquisadores preencherão com você, com o paciente e com o responsável por ele um formulário para determinar características tanto estéticas (cor, detalhes, etc.) quanto funcionais (posições, fixações, etc.) que a órtese deve ter para que atenda aos desejos e as necessidades do tratamento do paciente e das necessidades do cuidador. Nesse mesmo formulário você relatará prescrição da órtese para o paciente em questão pelo profissional habilitado. Esse procedimento levará cerca de 20 minutos.

Depois disso, você fará o posicionamento adequado dos membros inferiores, um por vez, do paciente para que seja feita a aquisição da anatomia para fabricar a órtese personalizada.

Nessa etapa, será utilizada atadura gessada, semelhantemente ao processo tradicional de fabricação de órteses. Ou seja, os pesquisadores umedecerão a atadura gessada, aplicarão na pele do paciente, com sua ajuda, e aguardarão cerca de 5 minutos até que o gesso reproduza a anatomia de interesse e obtenha firmeza para remoção.

Com a aquisição da anatomia, os pesquisadores poderão desenvolver a órtese no laboratório e fabricá-la. Assim que estiver pronta, você será comunicado e será marcado um dia para a entrega da órtese, de acordo com os dias da fisioterapia desse paciente no Centro Vitória.

No segundo dia, será feita a entrega da órtese e o paciente a experimentará. Você avaliará se a órtese está adequada e analisaremos a necessidade de melhorias para evitar incômodos (pontos de pressão, por exemplo). Além disso, os pesquisadores e você passarão algumas orientações sobre a utilização da órtese para o paciente e seu responsável. Também nesse dia, você avaliará, por meio dos mesmos questionários aplicados no primeiro dia, a órtese fabricada por impressão 3D que foi entregue ao paciente. Para responder estes questionários serão necessários cerca de 20 minutos. Nossa intenção é que você nos auxilie a avaliar a estética, facilidade de colocação e retirada, existência de pontos de pressão, acabamento da órtese fabricada por impressão 3D.

4. Confidencialidade.

As informações relacionadas à pesquisa serão analisadas pelos pesquisadores e poderão ser inspecionadas por autoridades legais. No entanto, em qualquer relato do estudo, sua identidade será mantida em total sigilo.

5. Desconfortos, Riscos e Benefícios.

5a) Desconfortos e/ou Riscos:

Poderá haver constrangimento nas etapas de avaliação das órteses. Pretende-se minimizar esse constrangimento dando abertura para perguntas, reduzindo a presença dos pesquisadores durante as avaliações por meio de questionários e ainda explicando que eles têm a liberdade para dar a sua opinião.

Poderá haver desconforto quanto ao tempo de duração dos encontros, tendo em vista os demais atendimentos de pacientes. Pretende-se minimizar esse risco marcando os encontros na clínica com antecedência e reservando tempo suficiente para cada encontro.

5b) Benefícios:

Nenhum benefício direto.

6. Critérios de inclusão e exclusão.

6a) Inclusão: Serão incluídas dez crianças com patologias neurológicas e/ou ortopédicas, com idade entre 2 e 6 anos, com indicação de órtese de membro inferior, atendidas na clínica parceira do projeto. Serão incluídos dez pais ou responsáveis das crianças incluídas no estudo. Serão incluídos dez fisioterapeutas, responsáveis por cada criança incluída no estudo.

6b) Exclusão: Serão excluídas as crianças: com deformidades acentuadas com indicação de correção cirúrgica; que foram submetidas à cirurgia a menos de seis meses; que possam ter suspeita de lesões nos membros inferiores; que a causa da deformidade seja um quadro degenerativo; ou que não tenham acompanhamento por fisioterapeuta.

7. Direito de sair da pesquisa e a esclarecimentos durante o processo.

Você terá o acompanhamento dos pesquisadores e qualquer dúvida pode ser respondida durante todas as etapas. Você tem garantia de acesso aos dados e informações antes, durante e depois da pesquisa, tendo liberdade para fazer qualquer pergunta. Cabe lembrar que a sua participação nesta pesquisa é voluntária, ou seja, você tem liberdade de recusar a participar da mesma, ou, se aceitar participar, pode se retirar do estudo a qualquer momento.

Você pode assinalar o campo a seguir, para receber o resultado desta pesquisa, caso seja de seu interesse :

() quero receber os resultados da pesquisa (email para envio :
_____)

() não quero receber os resultados da pesquisa

8. Ressarcimento e indenização.

Este estudo é de participação voluntária, não existindo pagamento ou ressarcimento pela participação, uma vez que você não terá nenhum custo com a sua participação. Você não terá qualquer despesa referente aos trabalhos realizados pelos pesquisadores e também não receberá qualquer benefício financeiro por participar da pesquisa.

Caso ocorra algum tipo de dano no decorrer da pesquisa, as providências cabíveis serão tomadas para que o dolo seja indenizado conforme determinação legal.

ESCLARECIMENTOS SOBRE O COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA:

O Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos (CEP) é constituído por uma equipe de profissionais com formação multidisciplinar que está trabalhando para assegurar o respeito aos seus direitos como participante de pesquisa. Ele tem por objetivo avaliar se a pesquisa foi planejada e se será executada de forma ética. Se você considerar que a pesquisa não está sendo realizada da forma como você foi informado ou que você está sendo prejudicado de alguma forma, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (CEP/UTFPR). **Endereço:** Av. Sete de Setembro, 3165, Bloco N, Térreo, Bairro Rebouças, CEP 80230-901, Curitiba-PR, **Telefone:** (41) 3310-4494, **e-mail:** coep@utfpr.edu.br.

B) CONSENTIMENTO (do participante da pesquisa ou do responsável legal – neste caso anexar documento que comprove parentesco/tutela/curatela)

Eu declaro ter conhecimento das informações contidas neste documento e ter recebido respostas claras às minhas questões a propósito da minha participação direta (ou indireta) na pesquisa e, adicionalmente, declaro ter compreendido o objetivo, a natureza, os riscos, benefícios, ressarcimento e indenização relacionados a este estudo.

Concordo que o material e as informações obtidas relacionadas a minha participação possam ser publicados em aulas, congressos, eventos científicos, palestras ou periódicos científicos. Porém, eu não devo ser identificado por nome ou qualquer outra forma.

Após reflexão e um tempo razoável, eu decidi, livre e voluntariamente, participar deste estudo. Estou consciente que posso deixar o projeto a qualquer momento, sem nenhum prejuízo.

Nome Completo: _____

RG: _____ Data de Nascimento: ___/___/____ Telefone: _____

Endereço: _____

CEP: _____ Cidade: _____ Estado: _____

Assinatura: _____ Data: ___/___/____

Eu declaro ter apresentado o estudo, explicado seus objetivos, natureza, riscos e benefícios e ter respondido da melhor forma possível às questões formuladas.

Nome completo: _____

Assinatura pesquisador (a): _____ Data: ___/___/___

(ou seu representante)

Para todas as questões relativas ao estudo ou para se retirar do mesmo, poderão se comunicar com _____, via e-mail: _____ ou telefone: _____.

Contato do Comitê de Ética em Pesquisa que envolve seres humanos para denúncia, recurso ou reclamações do participante pesquisado:

Comitê de Ética em Pesquisa que envolve seres humanos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (CEP/UTFPR)

Endereço: Av. Sete de Setembro, 3165, Bloco N, Térreo, Rebouças, CEP 80230-901, Curitiba-PR, **Telefone:** 3310-4494, **E-mail:** coep@utfpr.edu.br

OBS: este documento deve conter 2 (duas) vias iguais, sendo uma pertencente ao pesquisador e outra ao participante da pesquisa.

APÊNDICE 5 – TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TALE)

Termo de Assentimento Livre e Esclarecido

(crianças de 2 a 6 anos)

Olá criança, você é importante para nós e vamos ler esse termo para você!

Você usa órteses de membro inferior e faz tratamento no Centro Vitória, por isso, te convidamos para participar da pesquisa “DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE ÓRTESE PARA MEMBRO INFERIOR CONFECCIONADA POR IMPRESSÃO 3D”. Essa pesquisa é organizada pelos pesquisadores das fotos abaixo. Todos são da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, que é uma escola para pessoas mais velhas.



Prof. José A.
Foggiatto



Jéssica C. D. S. F.
Hensen (aluna
mestrado)



Paloma H.
Poier (aluna
doutorado)



Bruna Woltmann
(aluna curso
técnico)



No dia que formos obter o formato da sua perna e pé, pode ser que você sinta uma sensação de frio na pele quando estivermos aplicando a atadura gessada na sua perna e pé. É normal, pois o gesso da atadura estará molhado, isso vai durar no máximo 5 minutos. Seu fisioterapeuta estará acompanhando tudo.



No dia da entrega da órtese, se você sentir algum incômodo (como se a órtese estivesse apertada ou machucando) é bem importante nos avisar para podermos corrigir esse problema. Se isso acontecer depois que você já tiver levado ela para casa, no seu dia a dia, é só avisar seu fisioapeuta e entrar em contato conosco para corrigirmos o problema.



Rubrica

Polegar
direito

Nosso objetivo é fabricar as órteses que você usa de uma maneira diferente.

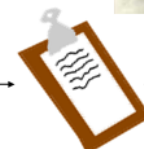
A participação será em dois dias no Centro Vitória. No primeiro dia obteremos o formato da sua perna e pé através de uma atadura gessada. Depois disso, não precisa se preocupar que iremos fabricar a sua órtese em nosso laboratório. Quando ela estiver pronta, marcaremos um segundo dia para a entrega e para você experimentar a órtese.

A sua opinião é muito importante durante todo o processo, por isso nos dois dias aplicaremos questionários para sabermos a sua opinião. Também perguntaremos no primeiro dia quais suas preferências de cor e de detalhes na órtese para que ela fique mais legal de usar!



1º encontro

2º encontro



Sua participação irá contribuir no futuro no tratamento de outras crianças. Para isso poderemos usar as informações do seu caso em aulas e trabalhos, mas não identificaremos seu nome em nenhum documento para proteger sua identidade. Você não terá nenhuma despesa e não receberá nenhum benefício financeiro, pois sua participação é voluntária. Se você quiser deixar de participar por qualquer motivo, não tem problema, é só nos comunicar.



Você terá um papel importante na escolha da cor e detalhes da sua nova órtese, com isso esperamos que você goste de usar ela também quando estiver com seus amigos e que você a use durante todo o seu tratamento.

Se você tiver alguma dúvida você pode nos perguntar pessoalmente ou você, ou seu responsável, pode nos ligar nos seguintes telefones: Professor José Foggiatto (41) 3279-6547; Jéssica (41) 99707-8300; ou, em casos de dúvidas éticas, para o COEP (41) 3310-4494.



Caso você se interessou e queira participar, preencha os seus dados abaixo. Você receberá uma via desse documento.

DECLARAÇÃO DE ASSENTIMENTO

MEU NOME É _____

O RESPONSÁVEL POR MIM SE CHAMA _____

EU TENHO DIREITOS E DECIDO QUE EU QUERO PARTICIPAR DESSA PESQUISA.

Assinatura da criança

Rubrica



Polegar
direito

APÊNDICE 6 – AVALIAÇÃO DA SATISFAÇÃO DO USUÁRIO COM A TECNOLOGIA ASSISTIVA – QUESITOS DE ESTÉTICA E PERSONALIZAÇÃO

Recurso tecnológico: Órtese _____ Data da avaliação: _____

Código de identificação do usuário: _____

O objetivo desse questionário é avaliar o grau de satisfação com a estética e personalização do recurso de tecnologia assistiva. O questionário consiste de 9 itens de satisfação.

- Para cada um dos 9 itens, avalie sua satisfação com o recurso de tecnologia assistiva e os serviços relacionados que experimentou, usando a seguinte escala de 1 a 5:

1	2	3	4	5
Insatisfeito	Pouco satisfeito	Mais ou menos satisfeito	Bastante satisfeito	Totalmente satisfeito

- Circule ou marque o número que melhor descreve seu grau de satisfação com cada um dos 9 itens.
- Não deixe nenhuma pergunta sem resposta.
- Quando julgar necessário, comente na seção **comentários**.

Parte 1 – Usuário ou responsável

Há quanto tempo usa órteses: _____

Qual a frequência de uso indicada pelo médico (quantos dias por semana, quantas horas por dia, por exemplo): _____

Utiliza de acordo com indicação médica (se não, por quê?): _____

Utiliza na escola? _____ Utiliza com ou sem tênis, ou outro calçado: _____

1	2	3	4	5
Insatisfeito	Pouco satisfeito	Mais ou menos satisfeito	Bastante satisfeito	Totalmente satisfeito
RECURSO DE TECNOLOGIA ASSISTIVA				
Qual é o seu grau de satisfação com:				
1. A cor da órtese?			1	2
			3	4
				5
Comentários:				

	1	2	3	4	5			
	Insatisfeito	Pouco satisfeito	Mais ou menos satisfeito	Bastante satisfeito	Totalmente satisfeito			
2. As imagens e desenhos na órtese?				1	2	3	4	5
Comentários:								
3. O acabamento (cantos vivos, regiões que incomodem, aspereza) da órtese?				1	2	3	4	5
Comentários:								
4. O material da órtese?				1	2	3	4	5
Comentários:								
5. Os materiais de conforto (EVA, etc) da órtese?				1	2	3	4	5
Comentários:								
6. Os materiais de fixação (velcro, pinos, fitas, etc) da órtese?				1	2	3	4	5
Comentários:								
7. A personalização da órtese quanto ao formato do pé e panturrilha?				1	2	3	4	5
Comentários:								

Outras observações ou considerações:

A seguir, consta uma lista com os mesmos 9 itens de satisfação. ESCOLHA OS 3 ITENS que você considera os mais importantes. Assinale um X nas 3 opções de sua escolha.

- 1) Cor
- 2) Desenhos
- 3) Acabamento
- 4) Material da órtese
- 5) Materiais de conforto

- 6) Materiais de fixação
- 7) Personalização de acordo com o formato do pé e panturilha
- 8) Serviço de aquisição da geometria
- 9) Serviço personalização estética

Parte 2 – Fisioterapeuta

Qual o seu tempo de experiência com órteses? _____

O paciente não fazer o uso correto das órteses atrapalha seu trabalho? _____

Órteses contribuem para a manutenção da fisioterapia que você realiza nesse paciente? _____

	1	2	3	4	5			
	Insatisfeito	Pouco satisfeito	Mais ou menos satisfeito	Bastante satisfeito	Totalmente satisfeito			
RECURSO DE TECNOLOGIA ASSISTIVA								
Qual é o seu grau de satisfação com:								
1. A cor da órtese?				1	2	3	4	5
Comentários:								
2. As imagens e desenhos na órtese?				1	2	3	4	5
Comentários:								
3. O acabamento (cantos vivos, regiões que incomodem, aspereza) da órtese?				1	2	3	4	5
Comentários:								
4. O material da órtese?				1	2	3	4	5
Comentários:								
5. Os materiais de conforto (EVA, etc) da órtese?				1	2	3	4	5
Comentários:								
6. Os materiais de fixação (velcro, pinos, fitas, etc) da órtese?				1	2	3	4	5
Comentários:								

	1	2	3	4	5
	Insatisfeito	Pouco satisfeito	Mais ou menos satisfeito	Bastante satisfeito	Totalmente satisfeito
7. A personalização da órtese quanto ao formato do pé e panturrilha?	1	2	3	4	5
Comentários:					

Outras observações ou considerações:

A seguir, consta uma lista com os mesmos 9 itens de satisfação. ESCOLHA OS 3 ITENS que você considera os mais importantes. Assinale um X nas 3 opções de sua escolha.

- 1) Cor
- 2) Desenhos
- 3) Acabamento
- 4) Material da órtese
- 5) Materiais de conforto
- 6) Materiais de fixação
- 7) Personalização de acordo com o formato do pé e panturrilha
- 8) Serviço de aquisição da geometria
- 9) Serviço personalização estética

Obrigado por completar o questionário.

APÊNDICE 8 – CONFIGURAÇÕES DETALHADAS DO PROGRAMA SKANECT

As configurações utilizadas no programa Skanect durante a digitalização são mostradas nas FIGURA 8.1 e FIGURA 8.2.

FIGURA 8.1 - CAPTURA DA TELA INICIAL DO PROGRAMA SKANECT

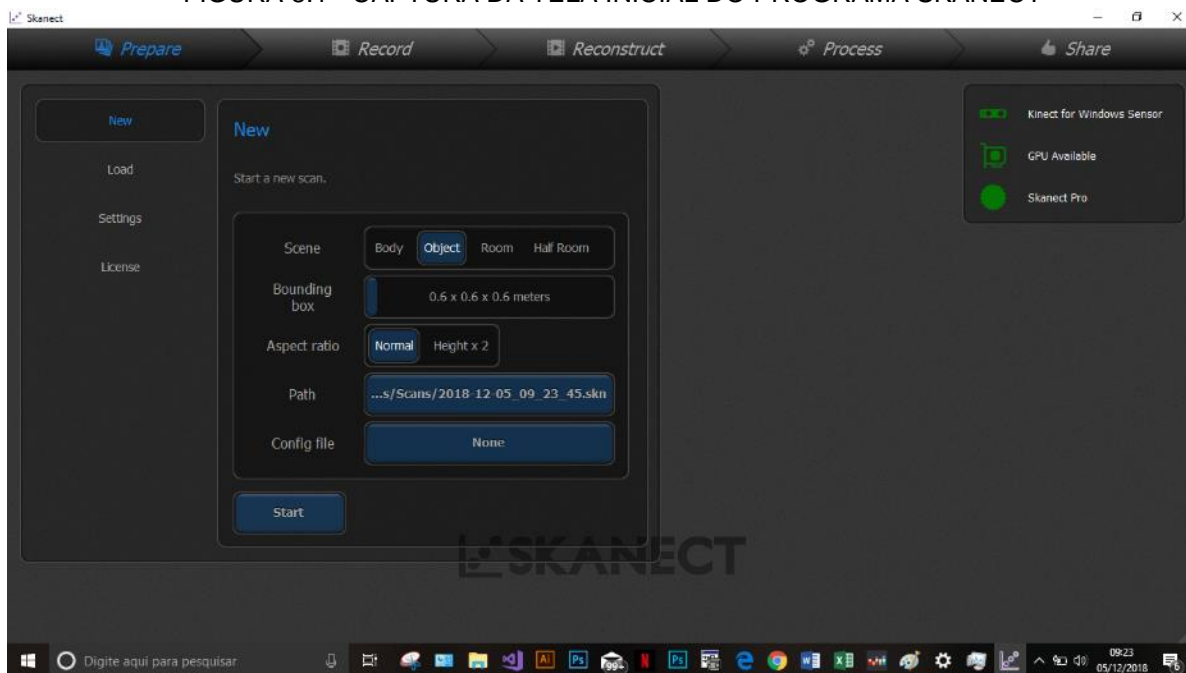
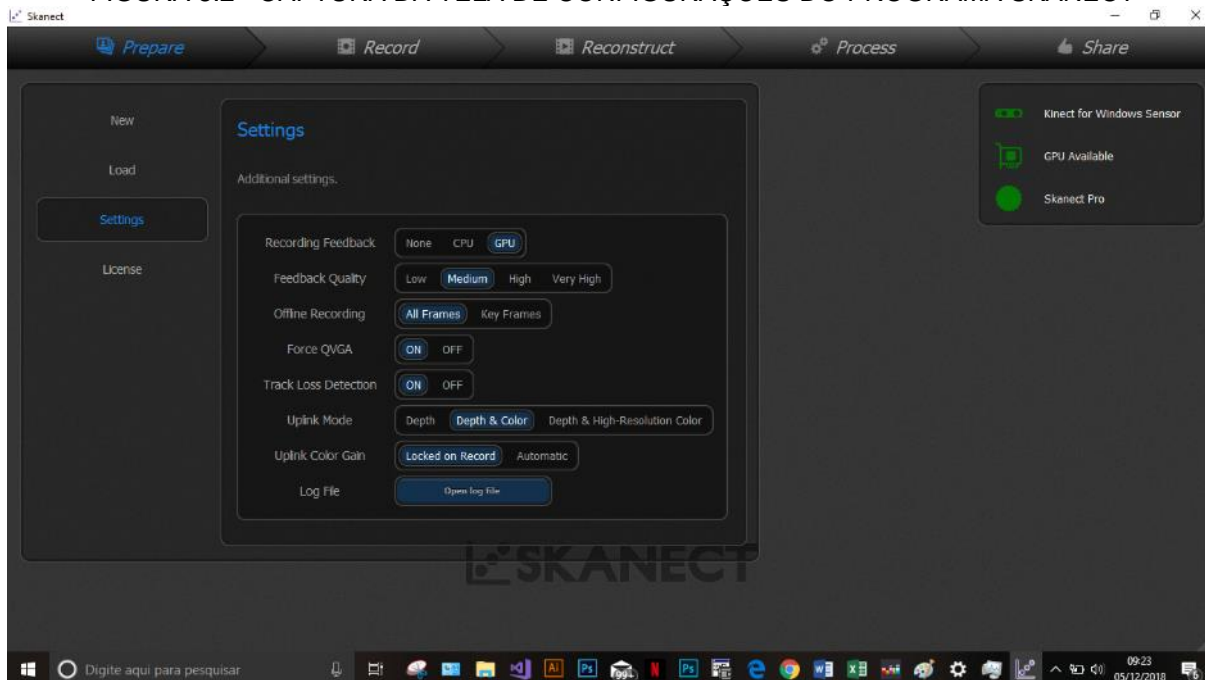


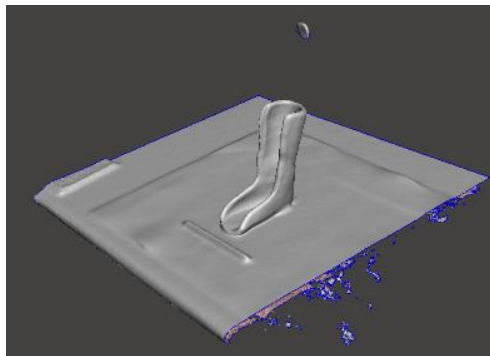
FIGURA 8.2 - CAPTURA DA TELA DE CONFIGURAÇÕES DO PROGRAMA SKANECT



APÊNDICE 9 – TRATAMENTO DA MALHA

O tratamento da malha inicia-se importando o arquivo STL proveniente da digitalização 3D no programa Meshmixer, como pode ser visto na FIGURA 9.1, e consiste nas etapas de conferência da escala; delimitação da área de interesse; e correção dos defeitos e suavização. Recomenda-se salvar constantemente os arquivos com nomes diferentes após a realização de algumas etapas, para caso seja necessário regressar a algum estágio anterior. Nos casos em que serão fabricadas órteses para ambos os membros inferiores, é importante realizar as etapas concomitantemente, para garantir que ambas ficarão semelhantes e com as mesmas medidas.

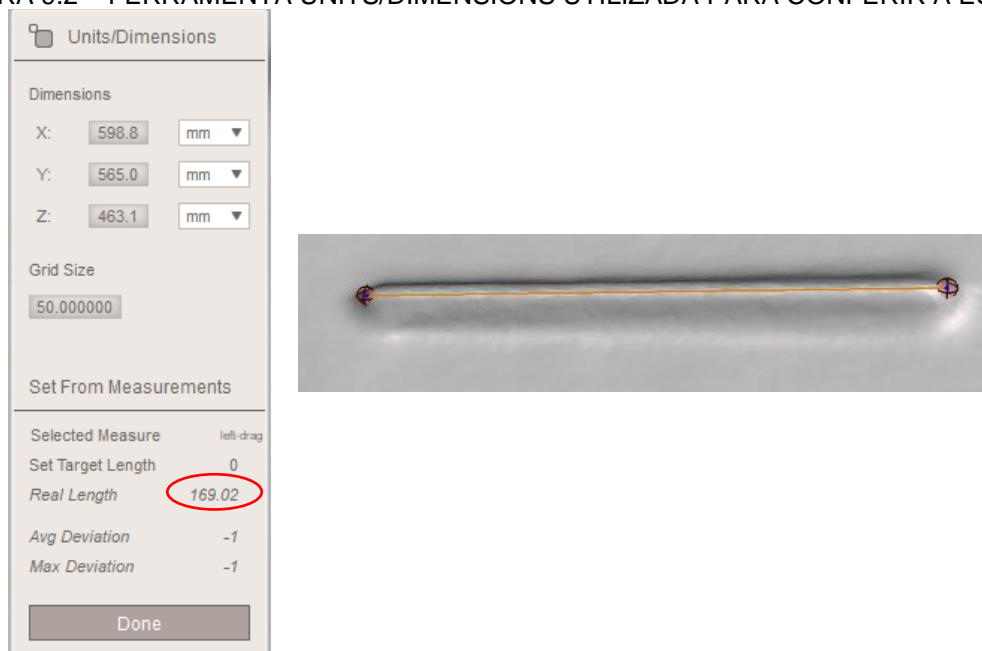
FIGURA 9.1 – MODELO 3D RESULTANTE DA DIGITALIZAÇÃO 3D



1) Conferência da escala:

Conforme a FIGURA 9.2, utiliza-se a ferramenta *Analysis > Units/Dimensions* e define-se uma reta sobre o objeto com dimensões conhecidas. Após isso, confirma-se se a dimensão da reta corresponde com a dimensão real, que no caso do escalímetro utilizado era de 169 mm. Essa função também é usada para conferir as medidas quando se trabalha com órteses para ambos os membros inferiores.

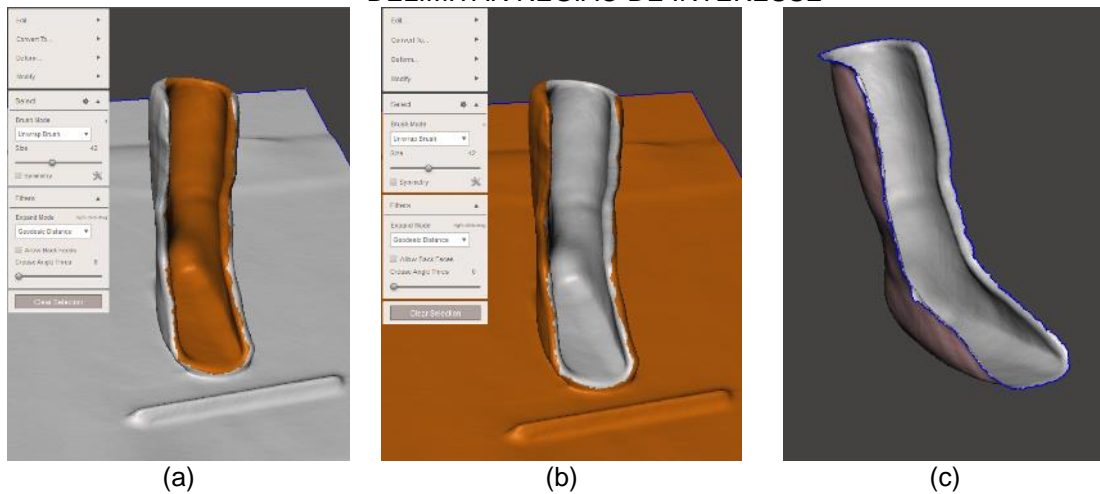
FIGURA 9.2 – FERRAMENTA UNITS/DIMENSIONS UTILIZADA PARA CONFERIR A ESCALA



2) Delimitação da região de interesse:

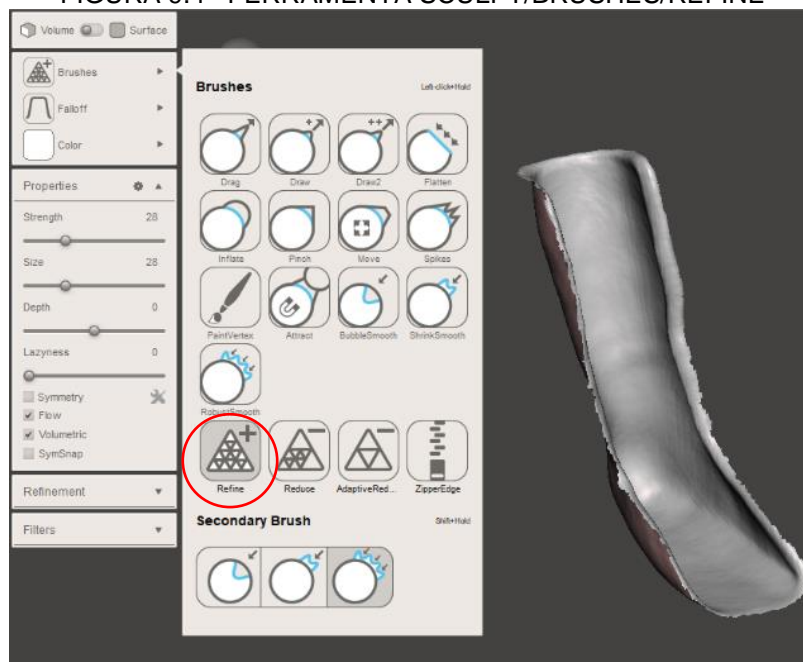
Utiliza-se a ferramenta *Select > Brush*, selecionando toda a região de interesse, que é a parte interna do molde, conforme FIGURA 9.3(a). É possível aumentar ou diminuir o tamanho do pincel de acordo com a necessidade. Para selecionar a área utiliza-se o botão esquerdo do *mouse* e, caso necessário, remove-se a seleção pressionando a tecla *Shift* e o botão esquerdo do *mouse*. Após selecionar toda a área desejada, clica-se em *Modify > Invert* para inverter a seleção e excluir o que não é de interesse, como FIGURA 9.3 (b), e então pressionar a tecla *Delete*, que resultará na FIGURA 9.3 (c). É possível realizar esse procedimento aos poucos, em pequenas porções, ou completamente de uma vez, o resultado será o mesmo.

FIGURA 9.3– FERRAMENTAS (a) SELECT/BRUSH E (b) MODIFY/INVERT UTILIZADAS PARA (c) DELIMITAR REGIÃO DE INTERESSE



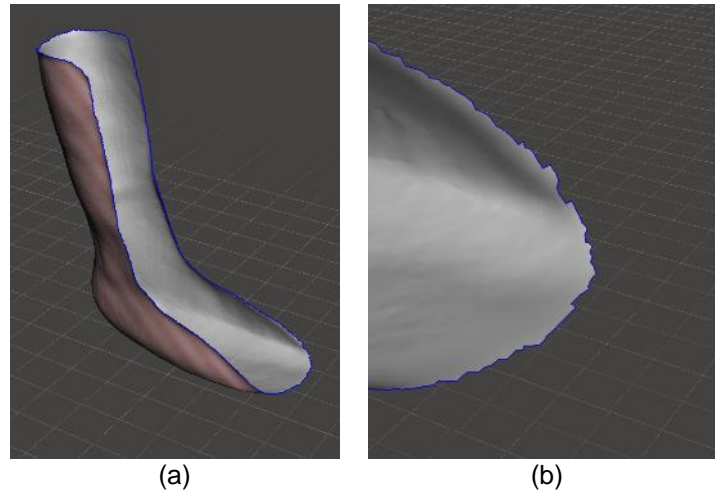
Para que a seleção seja mais precisa nas bordas do modelo, utiliza-se o pincel *Refine* da ferramenta *Sculpt > Brushes*, FIGURA 9.4, aplicando-o em toda a borda. Esse pincel aumenta a quantidade de triângulos na região da malha onde for aplicado, permitindo que o acabamento seja mais refinado.

FIGURA 9.4– FERRAMENTA SCULPT/BRUSHES/REFINE



No caso demonstrado, optou-se por fazer o ajuste fino das bordas após excluir a maior parte das regiões que não eram de interesse. Então, repete-se o procedimento com a ferramenta *Select > Brush* para selecionar a região da borda da forma desejada e exclui-se as demais regiões, como representado na FIGURA 9.5 (a). Porém, nota-se ainda na FIGURA 9.5 (b) que as bordas estão com acabamento serrilhado.

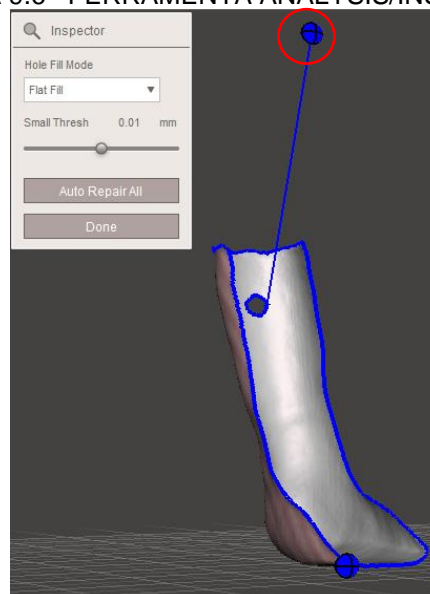
FIGURA 9.5– (a) APLICAÇÃO DA FERRAMENTA SELECT/BRUSH E (b) DETALHE DA PONTA DO PÉ COM ACABAMENTO SERRILHADO



3) Correção dos defeitos e suavização

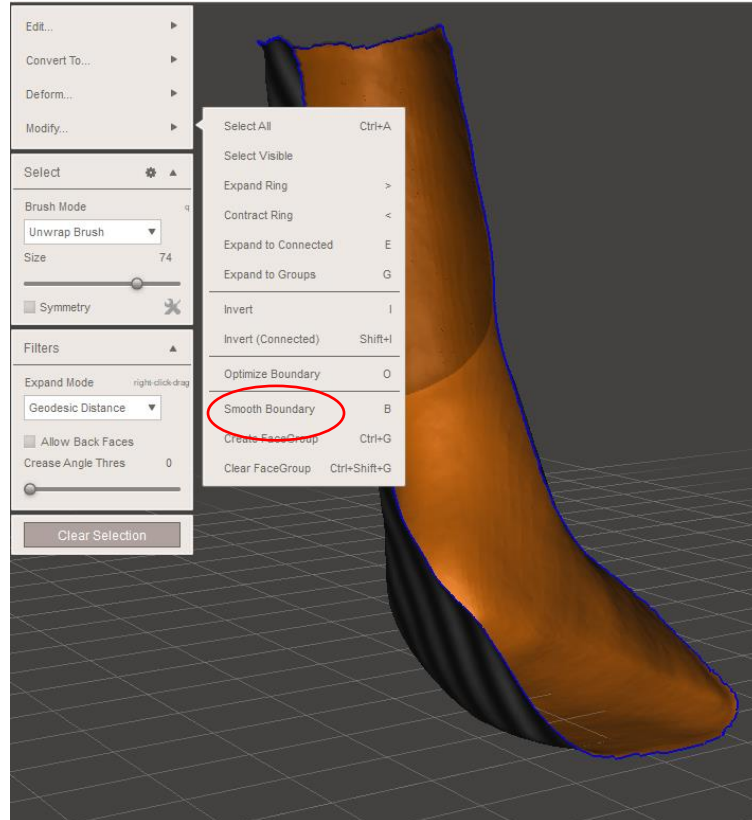
Após finalizar a delimitação da área de interesse, verificam-se se existem defeitos na malha utilizando a ferramenta *Analysis > Inspector*. No caso da FIGURA 9.6, foi simulado um furo na malha para demonstrar o uso da ferramenta. Basta clicar duas vezes sobre a indicação do programa (em vermelho na figura) que o defeito é reparado. Aconselha-se utilizar-se dessa ferramenta somente quando os defeitos não atingiram regiões que são críticas da órtese, como o tornozelo e calcanhar, ou quando são muito pequenos. Caso haja muitos defeitos ou eles atingiram regiões críticas, pode-se iniciar novamente a digitalização 3D do molde sempre se atentando à pré-visualização do programa, para que a malha gerada seja fechada.

FIGURA 9.6– FERRAMENTA ANALYSIS/INSPECTOR



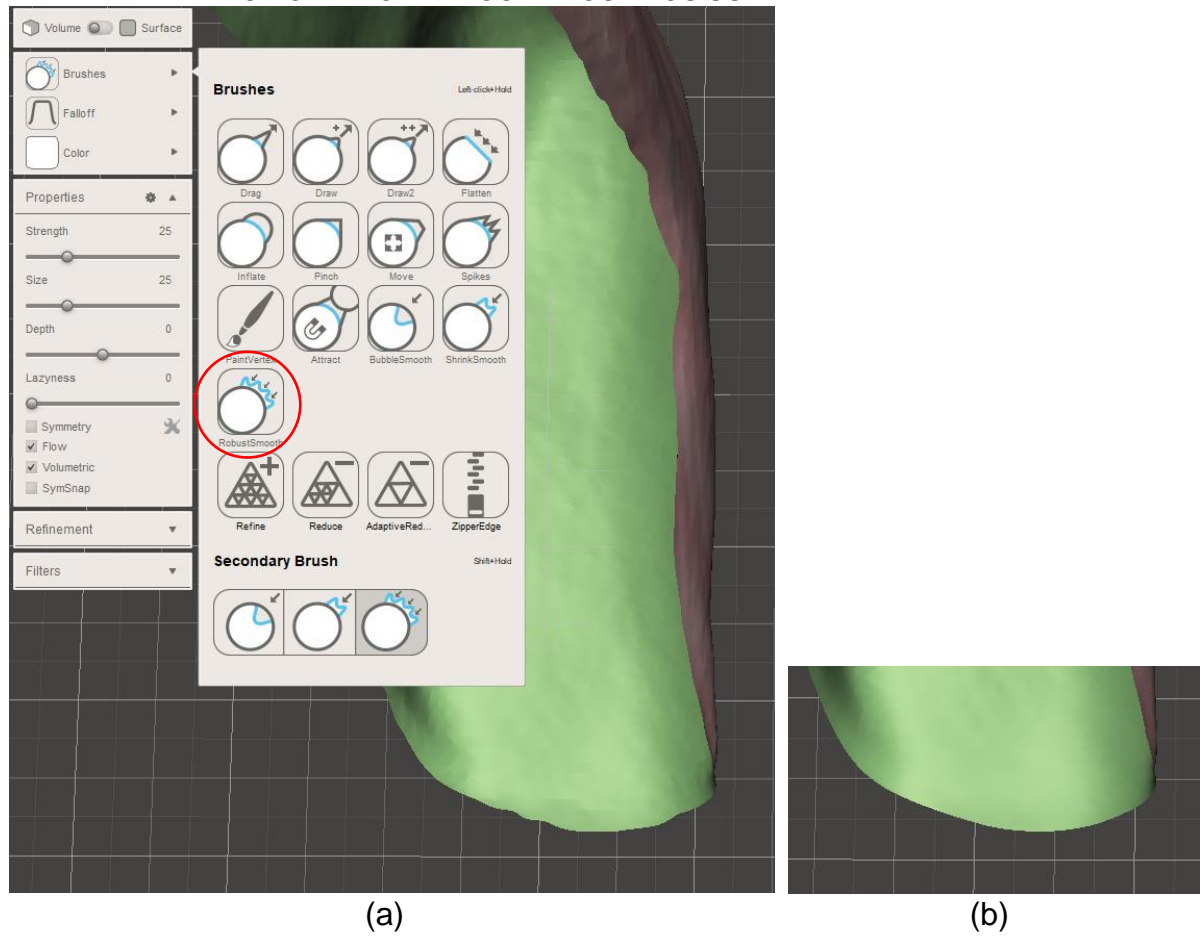
A próxima etapa é a suavização das bordas para torná-las regulares. Para isso, seleciona-se toda a superfície usando a ferramenta *Select > Brush* e depois utiliza-se a ferramenta *Modify > Smooth Boundary*, FIGURA 9.7, que aparecerá quando a superfície estiver selecionada.

FIGURA 9.7– FERRAMENTA MODIFY/SMOOTH BOUNDARY



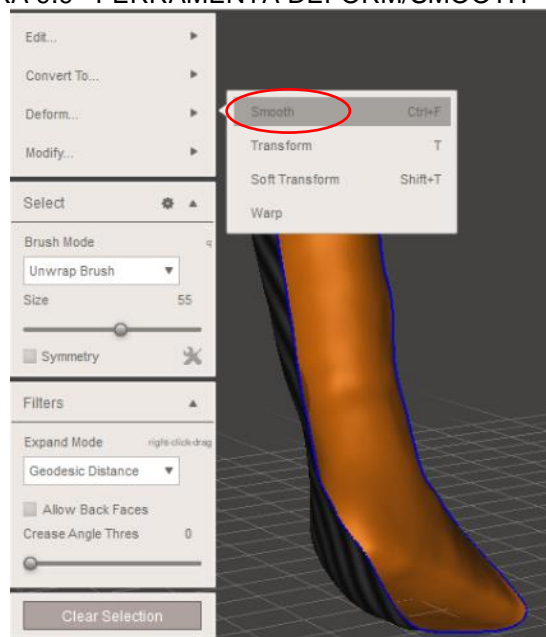
Possivelmente o acabamento ainda não estará satisfatório, então, aplica-se manualmente sobre toda a borda um pincel de suavização, tal como mostrado na FIGURA 9.8 (a). Essa ferramenta é encontrada em *Sculpt > Brushes > Robust Smooth*. A FIGURA 9.8 (b) mostra o detalhe da região dos dedos do pé, comparativamente com a FIGURA 9.8 (a), antes e depois de aplicar essa ferramenta.

FIGURA 9.8– (a) FERRAMENTA SCULPT/BRUSHES/ROBUST SMOOTH E (b) DETALHE DA REGIÃO DA PONTA DOS DEDOS APÓS USAR A FERRAMENTA



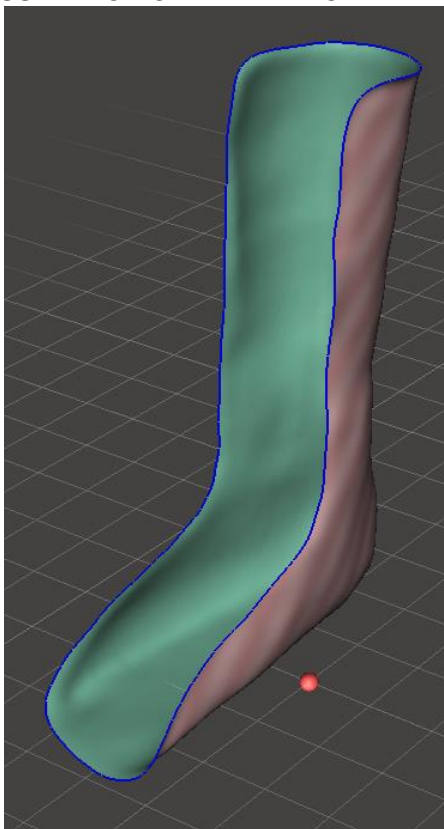
Também se realiza a suavização da superfície como um todo, para isso, seleciona-se toda a superfície com a ferramenta *Select > Brush* e utiliza-se a ferramenta *Deform > Smooth*, conforme FIGURA 9.9.

FIGURA 9.9– FERRAMENTA DEFORM/SMOOTH



Após esses procedimentos, um modelo 3D como o da FIGURA 9.10 é obtido e será usado para a modelagem 3D.

FIGURA 9.10– RESULTADO AO FINALIZAR O TRATAMENTO DA MALHA



APÊNDICE 10 – MODELAGEM 3D

A modelagem 3D consistirá em gerar a órtese a partir da malha corrigida.

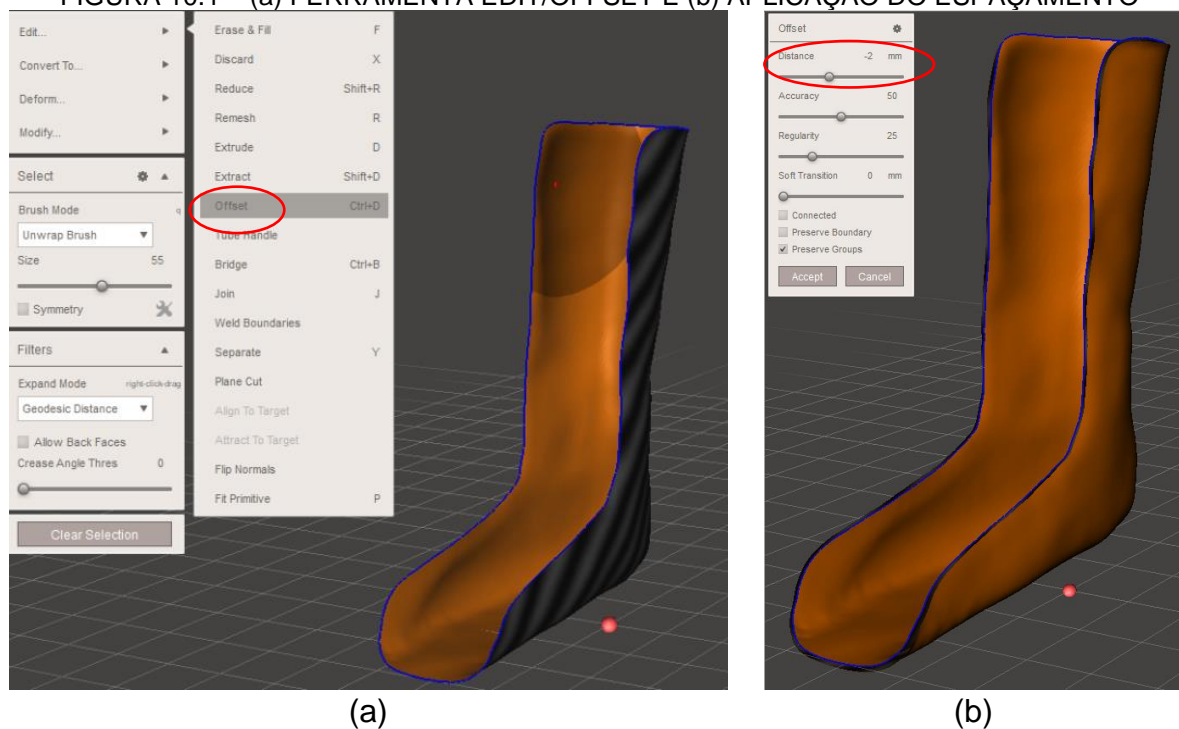
Nos casos em que serão fabricadas órteses para ambos os membros inferiores, é importante realizar as etapas concomitantemente, para garantir que ambas ficarão semelhantes e com as mesmas medidas. As dimensões podem ser conferidas utilizando-se da ferramenta *Analysis > Units/Dimensions*. Recomenda-se salvar constantemente os arquivos com nomes diferentes após a realização de algumas etapas, para caso seja necessário regressar a algum estágio anterior.

Inicia-se essa etapa no programa Meshmixer com o arquivo finalizado da etapa do Tratamento da Malha e as principais a serem realizadas são: deslocar a malha para existir uma folga entre o modelo e o membro; espessamento da superfície para formar um corpo sólido; realizar as furações para ventilação; e inserir os detalhes vazados.

1) Deslocamento da malha

Como comentado, a realização dessa etapa garante uma folga entre o membro do usuário e a órtese. Considerando que será aplicado material de conforto (EVA de 1,5mm de espessura) e que se trata de uma órtese de membro inferior, cujos usuários geralmente utilizam as órteses com meias, faz-se necessário aplicar um espaçamento (*offset*). Adotou-se então 2mm para o espaçamento. O procedimento deve ser iniciado selecionando toda a superfície com a ferramenta *Select > Brush* e então utilizar a ferramenta *Edit > Offset*, que aparecerá na sequência, conforme mostrado na FIGURA 10.1 (a). Digita-se então o valor “-2mm” na aba que foi aberta, conforme FIGURA 10.1 (b), pois deseja-se um distanciamento para fora da superfície original.

FIGURA 10.1 – (a) FERRAMENTA EDIT/OFFSET E (b) APLICAÇÃO DO ESPAÇAMENTO



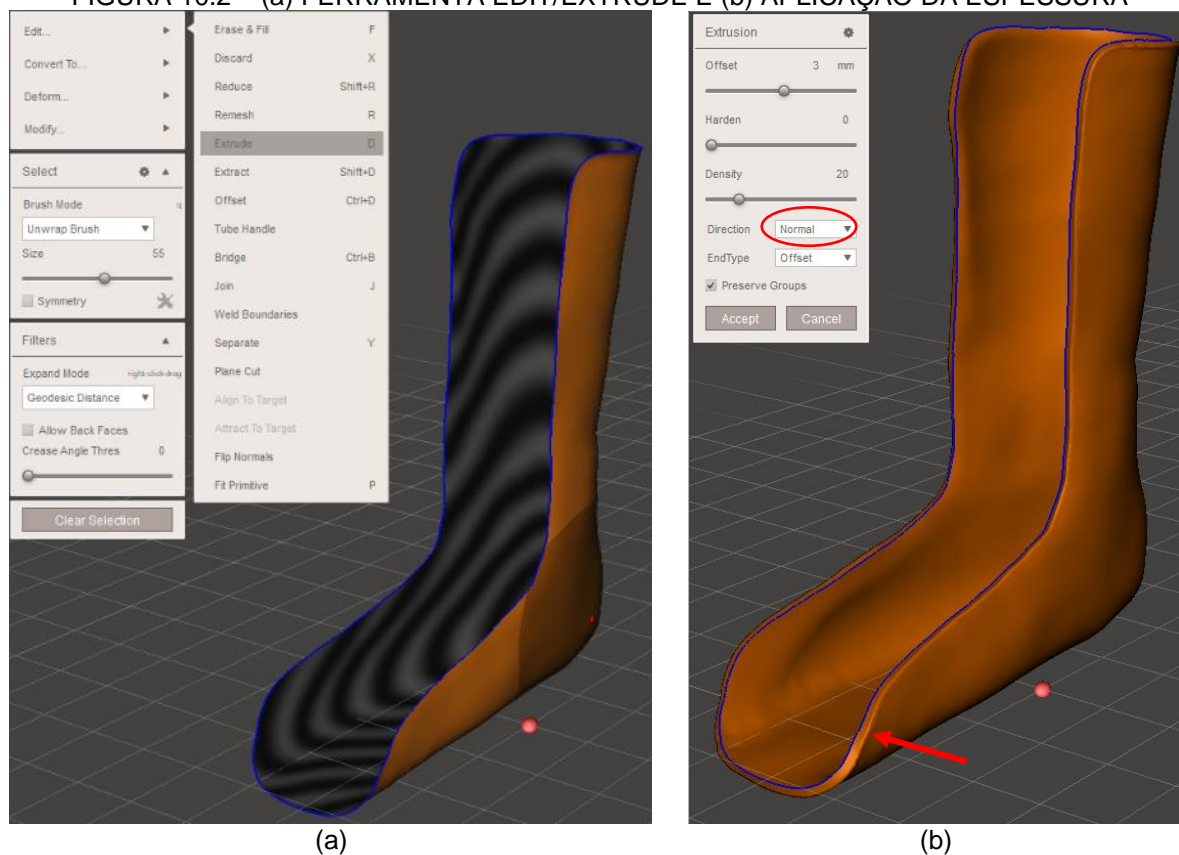
Após isso, existirão duas superfícies, como mostrado na FIGURA 10.1 (b), distanciadas a 2mm. É necessário então excluir a superfície interna para se trabalhar apenas com a externa. Isso é feito selecionando com a função *Select > Brush* a superfície interna e a deletando. Dessa forma, agora restará apenas a superfície que está distanciada a 2mm da superfície original.

2) Espessamento da superfície

Nesse momento gera-se um corpo sólido a partir da superfície criada na etapa 1. É necessário conhecer a espessura desejada para a órtese, que nesse caso é de 3mm.

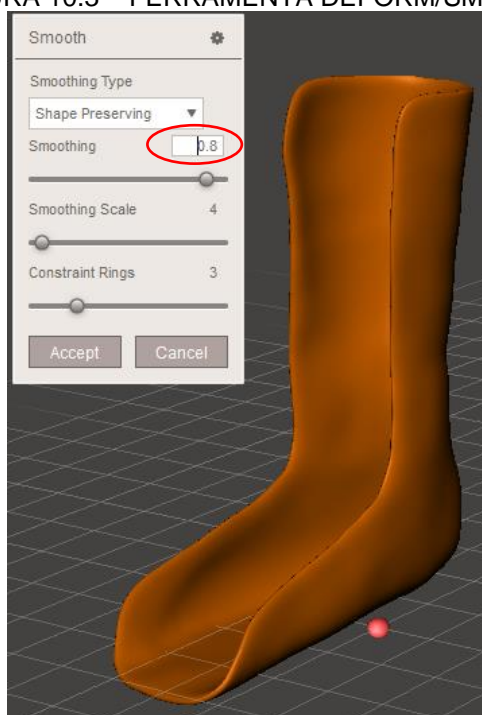
Novamente, inicia-se selecionando toda a superfície com a função *Select > Brush*, e escolhe-se a ferramenta *Edit > Extrude*, como mostrado na FIGURA 10.2 (a). Note que, após usar a ferramenta *Edit > Offset* no passo anterior, agora a região que é selecionada é parte externa do modelo – compare a FIGURA 10.2 (a) com a FIGURA 10.1 (a). No Menu da ferramenta, escolhe-se então a espessura 3mm e aplica-se na direção normal, como mostrado na FIGURA 10.2 (b). Perceba que a direção do espessamento foi para fora da superfície original (contorno azul), conforme indicado pela seta vermelha na FIGURA 10.2 (b).

FIGURA 10.2 – (a) FERRAMENTA EDIT/EXTRUDE E (b) APLICAÇÃO DA ESPESSURA



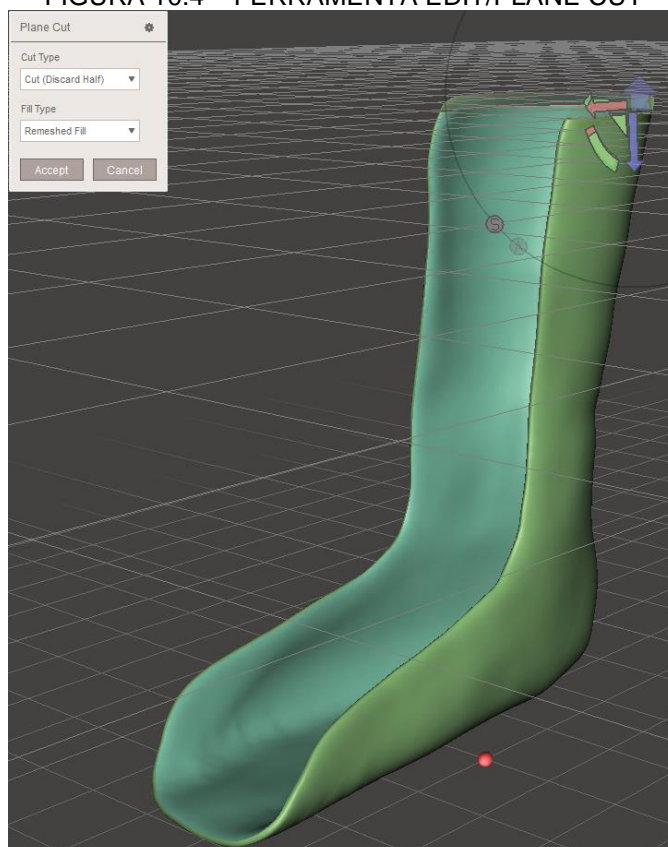
Realiza-se a suavização das bordas e das superfícies internas, usando a ferramenta *Deform > Smooth* após selecionar todo o corpo (superfície interna, externa e bordas) com a ferramenta *Select > Brush*. É necessário regular a intensidade dessa suavização como mostrado na FIGURA 10.3.

FIGURA 10.3 – FERRAMENTA DEFORM/SMOOTH



A ferramenta *Edit > Plane Cut* pode ser utilizada para dar acabamento reto ou inclinado na borda superior da órtese, conforme mostrado na FIGURA 10.4, e fazer o último ajuste de altura das órteses (no caso de o paciente utilizar órteses em ambos os membros).

FIGURA 10.4 – FERRAMENTA EDIT/PLANE CUT



Caso necessário, pode-se aplicar localmente o pincel de suavização nas regiões das bordas que possam ter ficado irregulares. Essa ferramenta encontra-se em *Sculpt > Brushes > Robust Smooth*. O resultado até essa etapa pode ser visto na FIGURA 10.5.

FIGURA 10.5 – MODELO 3D DA ÓRTESE



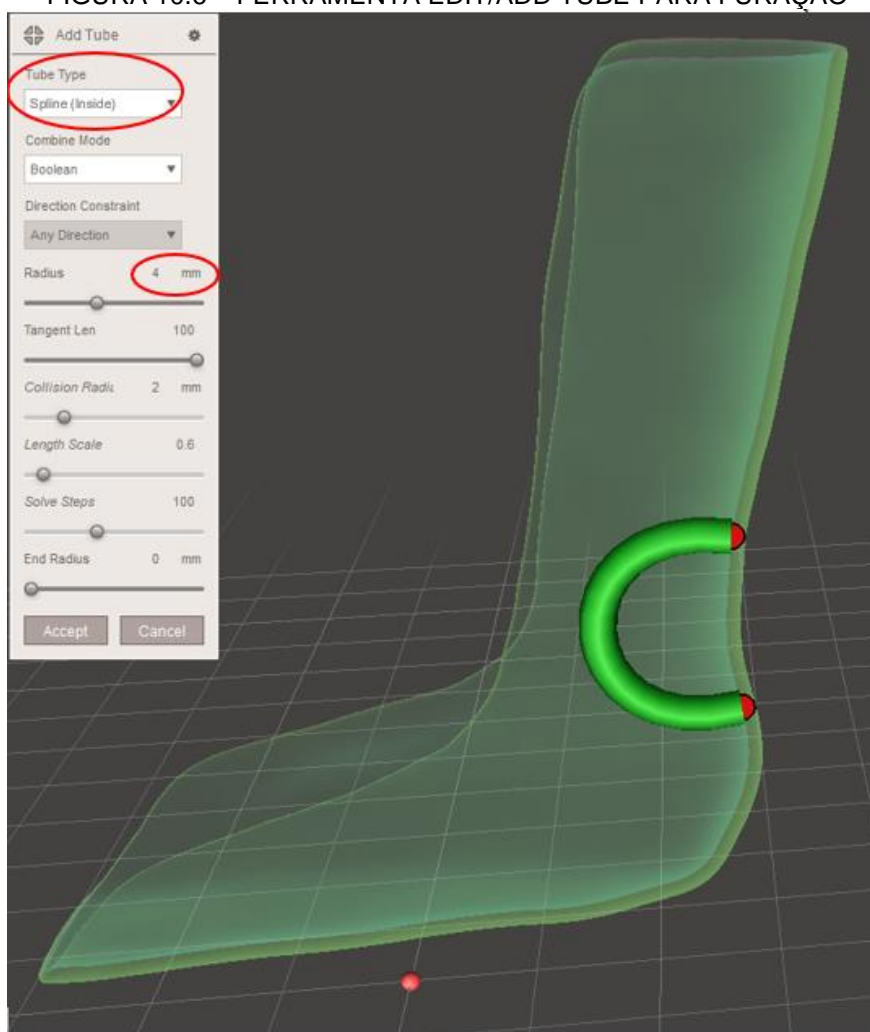
3) Furações

Nessa etapa são realizados os furos para ventilação e para visualização do calcanhar, esse procedimento pode ser suprimido caso não sejam desejados tais furos.

A furação pode ser realizada dentro do programa Meshmixer, adaptando o uso da ferramenta *Edit > Add Tube*, ou utilizando programas CAD, como o Fusion 360. Aqui será demonstrado o procedimento com a ferramenta *Edit > Add Tube*, a qual permite criar furos aos pares com o raio desejado, apenas selecionando o tipo *Spline (Inside)* na opção de Tipo de Tubo (*Tube Type*), como demonstrado na FIGURA 10.6. As extremidades vermelhas dos tubos devem ser posicionadas na órtese nos locais onde os furos são desejados. Deve-se também considerar se serão adicionados desenhos vazados no momento de posicionar os furos.

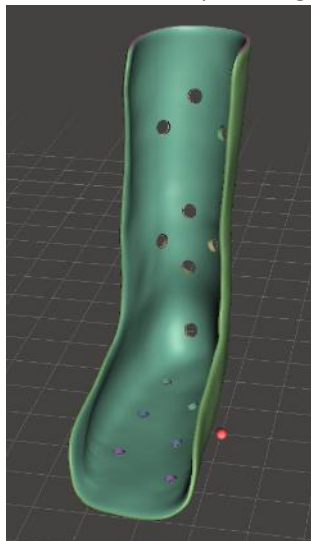
Aqui optou-se por realizar furos tanto na base do pé quanto na região da panturrilha, além do furo para visualização do calcanhar. O raio escolhido foi de 4mm na região da panturrilha e 3mm na base do pé.

FIGURA 10.6 – FERRAMENTA EDIT/ADD TUBE PARA FURAÇÃO



O resultado dos furos feitos com a ferramenta *Edit > Add Tube* pode ser visto na FIGURA 10.7.

FIGURA 10.7 – FERRAMENTA EDIT/ADD TUBE PARA FURAÇÃO



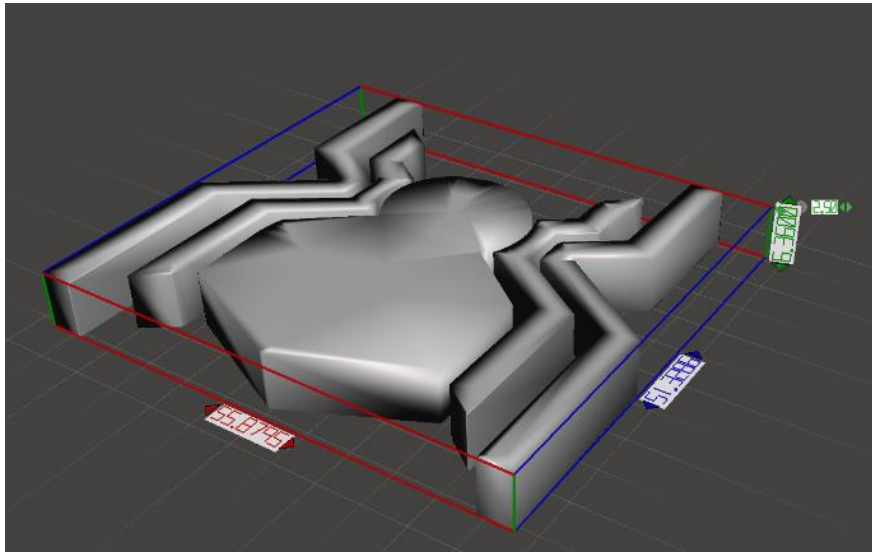
4) Detalhes Vazados

Detalhes vazados também podem ser incluídos nas órteses utilizando o programa Meshmixer. Para tanto, é preciso ter o arquivo STL com o formato desejado.

Pode-se projetar desde o início em um programa CAD a geometria desejada. Ou, como no caso do detalhe vazado em formato de aranha, recorreu-se ao banco de dados de arquivos para impressão 3D do *Thingiverse*, o qual pode ser consultado pelo link: <https://www.thingiverse.com/thing:1410067>. Nesse *website* arquivos STL são disponibilizados gratuitamente para os usuários.

As medidas da aranha original podem ser vistas na FIGURA 10.8 e estão em milímetros.

FIGURA 10.8 – ARQUIVO ORIGINAL DA ARANHA

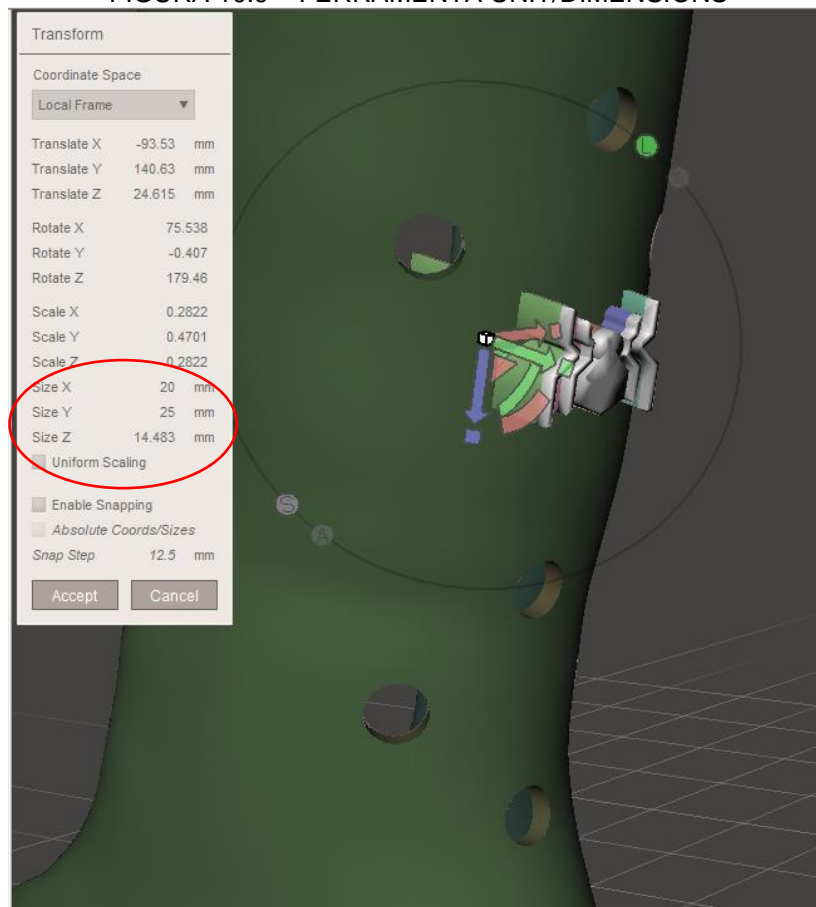


Com o arquivo STL no formato do desenho que se desejava, retornou-se ao modelo 3D da órtese de após a realização das furações e importou-se o arquivo da aranha na função *Append*, que adiciona o novo arquivo dentro do arquivo em que se está trabalhando.

O princípio para a realização do detalhe vazado no Meshmixer é aplicar uma operação booleana em que se subtrai do corpo (órtese) uma geometria (“ferramenta de corte”). Para isso, a ferramenta de corte no formato desejado deve ter a profundidade necessária para transpassar o objeto. Como pode ser visto na FIGURA 10.8, a profundidade da aranha era de menos de 10mm, portanto foi necessário aumentá-la e esse procedimento será explicado a seguir.

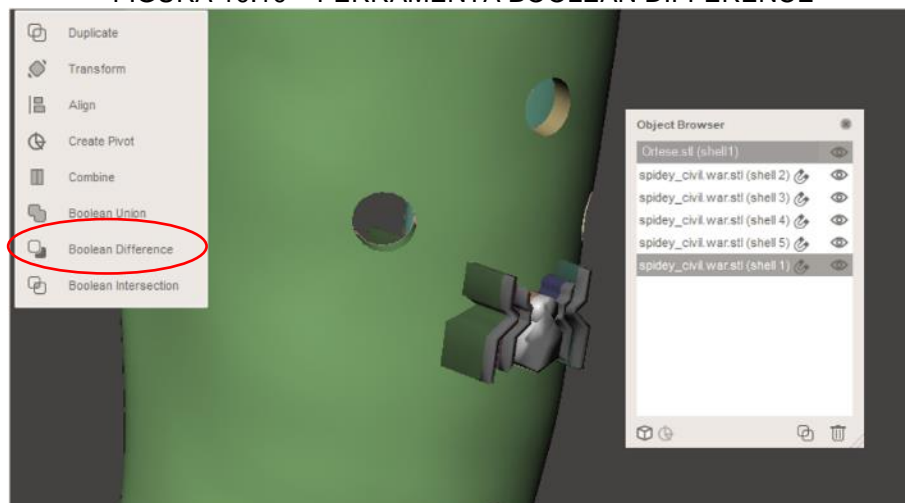
Usando a função *Edit > Transform*, a aranha foi posicionada de forma a transpassar a órtese na região da panturrilha; o tamanho da mesma foi corrigido habilitando a função *Uniform Scaling* e digitando os valores desejados. Para corrigir a profundidade da mesma, desabilitou-se a função *Uniform Scaling* e inseriu-se o valor desejado para a profundidade (eixo y), conforme FIGURA 10.9.

FIGURA 10.9 – FERRAMENTA UNIT/DIMENSIONS



Na Aba View do Meshmixer selecionou-se a opção *Show Object Browser* para que fosse possível visualizar uma lista de todos objetos que estão nesse arquivo. Para o caso da aranha, as pernas e o corpo constituíam partes isoladas, portanto, os procedimentos descritos a seguir foram realizados com cada parte. Então, selecionou-se no localizador de objetos, pressionando a tecla *Shift*, a órtese e uma das partes da aranha, de forma que a operação *Boolean Diference* apareceu no lado esquerdo da tela, como na FIGURA 10.10.

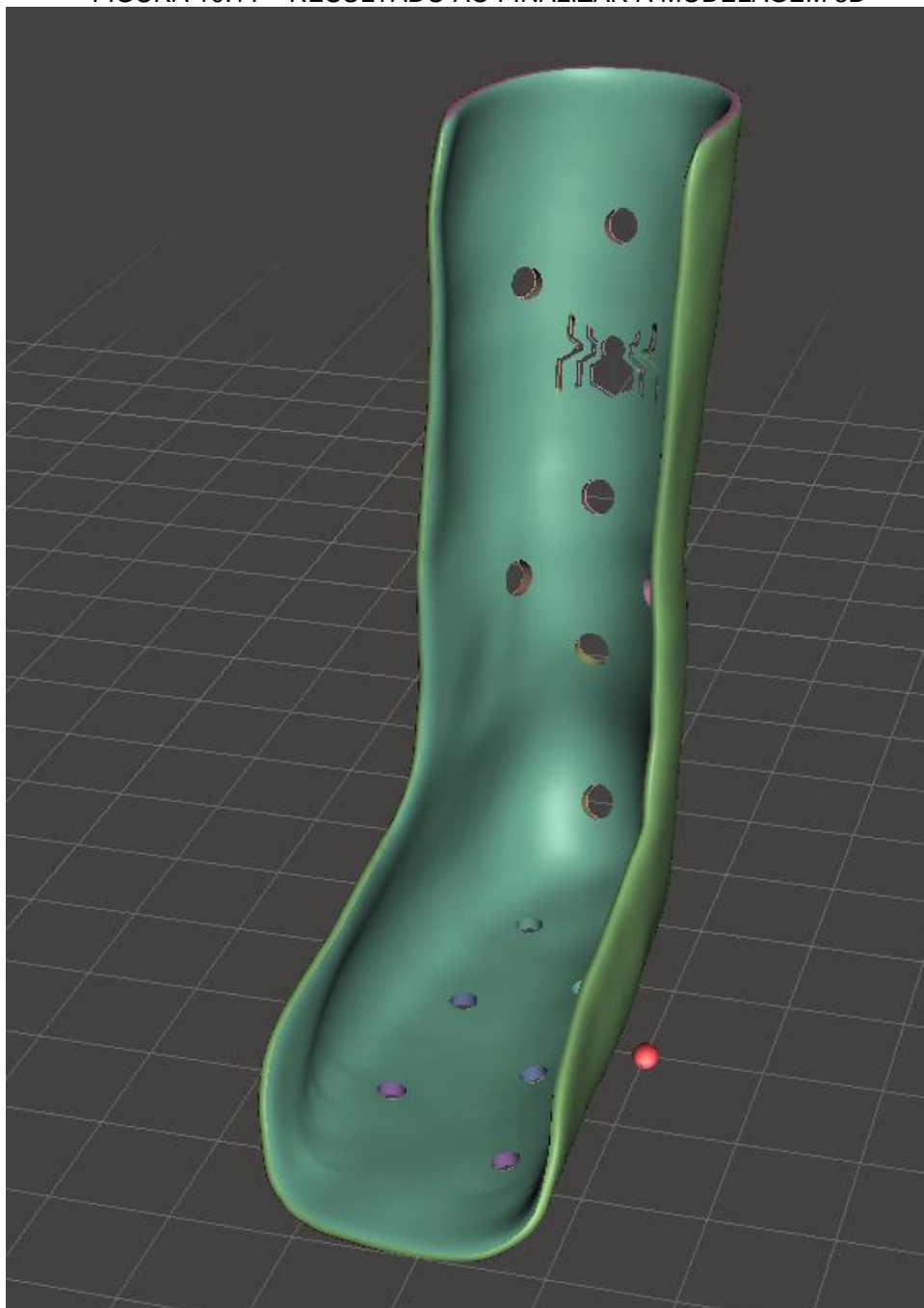
FIGURA 10.10 – FERRAMENTA BOOLEAN DIFFERENCE



Destaca-se que, como uma operação matemática, a ordem da seleção dos corpos tem influência no resultado da operação, sendo necessário selecionar primeiro o arquivo da órtese e depois o da ferramenta de corte.

Após repetir o procedimento para todas as partes da aranha, a FIGURA 10.11 ilustra o resultado final da modelagem 3D da órtese.

FIGURA 10.11 – RESULTADO AO FINALIZAR A MODELAGEM 3D



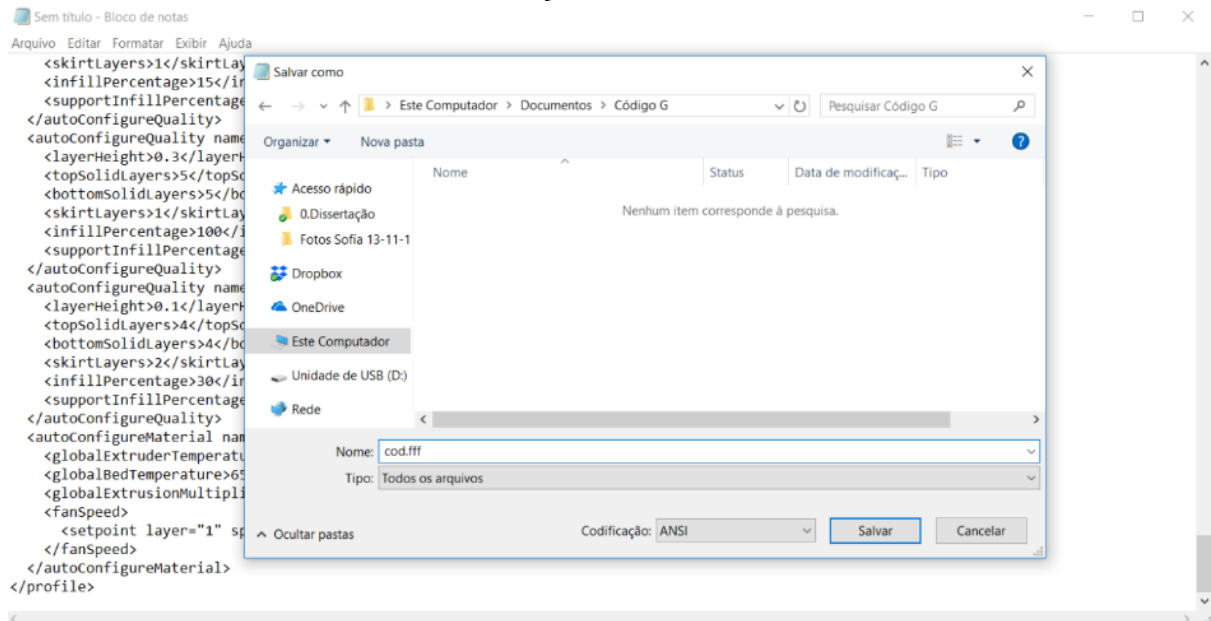
APÊNDICE 11 – PARÂMETROS DE IMPRESSÃO

Os parâmetros de impressão aqui apresentados foram utilizados para a impressora ANET® A8 DIY com filamento de TPU (da marca Gravoplast e de dureza Shore 95-98) para fabricar as órteses e as orelhas de fixação. O programa utilizado para fatiamento do modelo 3D foi o Simplify3D.

Caso se deseje utilizar essas mesmas configurações, basta abrir em um computador um novo documento do Bloco de Notas, copiar e colar em arquivos independentes exatamente as linhas de código aqui apresentadas e salvar como um arquivo de extensão “.fff”, assim como mostrado na Figura 11.1.

No Simplify3D é possível, então, importar esse arquivo FFF para realizar o fatiamento de novos modelos e gerar o código G com esses parâmetros de impressão.

FIGURA 11.1 - CAPTURA DA TELA DO BLOCO DE NOTAS EXPLICITANDO AS CONFIGURAÇÕES DE SALVAMENTO



Outras informações sobre parâmetros de impressão para filamentos flexíveis podem ser obtidas no website:

<https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/flexible/>

- Parâmetros de impressão das órteses de tornozelo e pé (AFO) não articuladas

```
<?xml version="1.0"?>
<profile name="Órteses Jéssica" version="2018-12-06 18:25:19" app="S3D-
Software 4.0.1">
  <baseProfile>Default</baseProfile>
  <printMaterial>TPU</printMaterial>
  <printQuality>Medium</printQuality>
  <printExtruders></printExtruders>
  <extruder name="Primary Extruder">
    <toolheadNumber>1</toolheadNumber>
```

```

<diameter>0.4</diameter>
<autoWidth>0</autoWidth>
<width>0.4</width>
<extrusionMultiplier>1</extrusionMultiplier>
<useRetract>1</useRetract>
<retractionDistance>3</retractionDistance>
<extraRestartDistance>0</extraRestartDistance>
<retractionZLift>0.5</retractionZLift>
<retractionSpeed>1800</retractionSpeed>
<useCoasting>0</useCoasting>
<coastingDistance>0.3</coastingDistance>
<useWipe>0</useWipe>
<wipeDistance>5</wipeDistance>
</extruder>
<primaryExtruder>0</primaryExtruder>
<layerHeight>0.3</layerHeight>
<topSolidLayers>5</topSolidLayers>
<bottomSolidLayers>5</bottomSolidLayers>
<perimeterOutlines>3</perimeterOutlines>
<printPerimetersInsideOut>1</printPerimetersInsideOut>
<startPointOption>1</startPointOption>
<startPointOriginX>0</startPointOriginX>
<startPointOriginY>0</startPointOriginY>
<sequentialIslands>0</sequentialIslands>
<spiralVaseMode>0</spiralVaseMode>
<firstLayerHeightPercentage>100</firstLayerHeightPercentage>
<firstLayerWidthPercentage>100</firstLayerWidthPercentage>
<firstLayerUnderspeed>0.8</firstLayerUnderspeed>
<useRaft>1</useRaft>
<raftExtruder>0</raftExtruder>
<raftTopLayers>1</raftTopLayers>
<raftBaseLayers>1</raftBaseLayers>
<raftOffset>7</raftOffset>
<raftSeparationDistance>0.1</raftSeparationDistance>
<raftTopInfill>90</raftTopInfill>
<aboveRaftSpeedMultiplier>1</aboveRaftSpeedMultiplier>
<useSkirt>1</useSkirt>
<skirtExtruder>0</skirtExtruder>
<skirtLayers>1</skirtLayers>
<skirtOutlines>10</skirtOutlines>
<skirtOffset>0</skirtOffset>
<usePrimePillar>0</usePrimePillar>
<primePillarExtruder>999</primePillarExtruder>
<primePillarWidth>12</primePillarWidth>
<primePillarLocation>7</primePillarLocation>
<primePillarSpeedMultiplier>1</primePillarSpeedMultiplier>
<useOozeShield>0</useOozeShield>
<oozeShieldExtruder>999</oozeShieldExtruder>
<oozeShieldOffset>2</oozeShieldOffset>
<oozeShieldOutlines>1</oozeShieldOutlines>

```

```

<oozeShieldSidewallShape>1</oozeShieldSidewallShape>
<oozeShieldSidewallAngle>30</oozeShieldSidewallAngle>
<oozeShieldSpeedMultiplier>1</oozeShieldSpeedMultiplier>
<infillExtruder>0</infillExtruder>
<internalInfillPattern>Rectilinear</internalInfillPattern>
<externalInfillPattern>Concentric</externalInfillPattern>
<infillPercentage>100</infillPercentage>
<outlineOverlapPercentage>35</outlineOverlapPercentage>
<infillExtrusionWidthPercentage>90</infillExtrusionWidthPercentage>
<minInfillLength>5</minInfillLength>
<infillLayerInterval>1</infillLayerInterval>
<internalInfillAngles>45,-45</internalInfillAngles>
<overlapInternalInfillAngles>0</overlapInternalInfillAngles>
<externalInfillAngles>45,-45</externalInfillAngles>
<generateSupport>1</generateSupport>
<supportExtruder>0</supportExtruder>
<supportInfillPercentage>20</supportInfillPercentage>
<supportExtraInflation>0.21</supportExtraInflation>
<supportBaseLayers>3</supportBaseLayers>
<denseSupportExtruder>0</denseSupportExtruder>
<denseSupportLayers>2</denseSupportLayers>
<denseSupportInfillPercentage>75</denseSupportInfillPercentage>
<supportLayerInterval>1</supportLayerInterval>
<supportHorizontalPartOffset>0.03</supportHorizontalPartOffset>
<supportUpperSeparationLayers>1</supportUpperSeparationLayers>
<supportLowerSeparationLayers>0</supportLowerSeparationLayers>
<supportType>0</supportType>
<supportGridSpacing>3</supportGridSpacing>
<maxOverhangAngle>50</maxOverhangAngle>
<supportAngles>0</supportAngles>
<temperatureController name="Primary Extruder">
  <temperatureNumber>0</temperatureNumber>
  <isHeatedBed>0</isHeatedBed>
  <relayBetweenLayers>0</relayBetweenLayers>
  <relayBetweenLoops>0</relayBetweenLoops>
  <stabilizeAtStartup>1</stabilizeAtStartup>
  <setpoint layer="1" temperature="210"/>
</temperatureController>
<temperatureController name="Bed">
  <temperatureNumber>0</temperatureNumber>
  <isHeatedBed>1</isHeatedBed>
  <relayBetweenLayers>0</relayBetweenLayers>
  <relayBetweenLoops>0</relayBetweenLoops>
  <stabilizeAtStartup>1</stabilizeAtStartup>
  <setpoint layer="1" temperature="65"/>
</temperatureController>
<fanSpeed>
  <setpoint layer="1" speed="0"/>
</fanSpeed>
<blipFanToFullPower>0</blipFanToFullPower>

```

```

<adjustSpeedForCooling>0</adjustSpeedForCooling>
<minSpeedLayerTime>15</minSpeedLayerTime>
<minCoolingSpeedSlowdown>20</minCoolingSpeedSlowdown>
<increaseFanForCooling>0</increaseFanForCooling>
<minFanLayerTime>45</minFanLayerTime>
<maxCoolingFanSpeed>100</maxCoolingFanSpeed>
<increaseFanForBridging>0</increaseFanForBridging>
<bridgingFanSpeed>100</bridgingFanSpeed>
<use5D>1</use5D>
<relativeEdistances>0</relativeEdistances>
<allowEaxisZeroing>1</allowEaxisZeroing>
<independentExtruderAxes>0</independentExtruderAxes>
<includeM10123>0</includeM10123>
<stickySupport>1</stickySupport>
<applyToolheadOffsets>0</applyToolheadOffsets>
<gcodeXoffset>0</gcodeXoffset>
<gcodeYoffset>0</gcodeYoffset>
<gcodeZoffset>0</gcodeZoffset>
<overrideMachineDefinition>1</overrideMachineDefinition>
<machineTypeOverride>0</machineTypeOverride>
<strokeXoverride>200</strokeXoverride>
<strokeYoverride>200</strokeYoverride>
<strokeZoverride>200</strokeZoverride>
<originOffsetXoverride>0</originOffsetXoverride>
<originOffsetYoverride>0</originOffsetYoverride>
<originOffsetZoverride>0</originOffsetZoverride>
<homeXdirOverride>-1</homeXdirOverride>
<homeYdirOverride>-1</homeYdirOverride>
<homeZdirOverride>-1</homeZdirOverride>
<flipXoverride>1</flipXoverride>
<flipYoverride>-1</flipYoverride>
<flipZoverride>1</flipZoverride>
<toolheadOffsets>0,0|0,0|0,0|0,0|0,0|0,0</toolheadOffsets>
<overrideFirmwareConfiguration>0</overrideFirmwareConfiguration>
<firmwareTypeOverride>RepRap
(Marlin/Repetier/Sprinter)</firmwareTypeOverride>
<GPXconfigOverride>r2</GPXconfigOverride>
<baudRateOverride>115200</baudRateOverride>
<overridePrinterModels>0</overridePrinterModels>
<printerModelsOverride></printerModelsOverride>
<startingGcode>G28 ; home all axes</startingGcode>
<layerChangeGcode></layerChangeGcode>
<retractionGcode></retractionGcode>
<toolChangeGcode></toolChangeGcode>
<endingGcode>M104 S0 ; turn off extruder,M140 S0 ; turn off bed,M84 ;
disable motors,G28; home all axes</endingGcode>
<exportFileFormat>gcode</exportFileFormat>
<celebration>0</celebration>
<celebrationSong>Star Wars</celebrationSong>
<postProcessing></postProcessing>

```



```

<defaultSpeed>1800</defaultSpeed>
<outlineUnderspeed>0.8</outlineUnderspeed>
<solidInfillUnderspeed>1</solidInfillUnderspeed>
<supportUnderspeed>0.8</supportUnderspeed>
<rapidXYspeed>2000</rapidXYspeed>
<rapidZspeed>1000</rapidZspeed>
<minBridgingArea>50</minBridgingArea>
<bridgingExtraInflation>0</bridgingExtraInflation>
<bridgingExtrusionMultiplier>1</bridgingExtrusionMultiplier>
<bridgingSpeedMultiplier>1</bridgingSpeedMultiplier>
<useFixedBridgingAngle>0</useFixedBridgingAngle>
<fixedBridgingAngle>0</fixedBridgingAngle>
<applyBridgingToPerimeters>0</applyBridgingToPerimeters>
<filamentDiameters>1.75|1.75|1.75|1.75|1.75|1.75</filamentDiameters>
<filamentPricesPerKg>100|46|46|46|46|46</filamentPricesPerKg>
<filamentDensities>1.25|1.25|1.25|1.25|1.25|1.25</filamentDensities>
<useMinPrintHeight>0</useMinPrintHeight>
<minPrintHeight>0</minPrintHeight>
<useMaxPrintHeight>0</useMaxPrintHeight>
<maxPrintHeight>0</maxPrintHeight>
<useDiaphragm>0</useDiaphragm>
<diaphragmLayerInterval>20</diaphragmLayerInterval>
<robustSlicing>1</robustSlicing>
<mergeAllIntoSolid>0</mergeAllIntoSolid>
<onlyRetractWhenCrossingOutline>1</onlyRetractWhenCrossingOutline>
<retractBetweenLayers>1</retractBetweenLayers>
<useRetractionMinTravel>1</useRetractionMinTravel>
<retractionMinTravel>3</retractionMinTravel>
<retractWhileWiping>1</retractWhileWiping>
<onlyWipeOutlines>1</onlyWipeOutlines>
<avoidCrossingOutline>1</avoidCrossingOutline>
<maxMovementDetourFactor>3</maxMovementDetourFactor>
<toolChangeRetractionDistance>1</toolChangeRetractionDistance>
<toolChangeExtraRestartDistance>-0.5</toolChangeExtraRestartDistance>
<toolChangeRetractionSpeed>600</toolChangeRetractionSpeed>
<externalThinWallType>0</externalThinWallType>
<internalThinWallType>2</internalThinWallType>

<thinWallAllowedOverlapPercentage>30</thinWallAllowedOverlapPercentage>
  <singleExtrusionMinLength>1</singleExtrusionMinLength>

<singleExtrusionMinPrintingWidthPercentage>50</singleExtrusionMinPrintingWidthPercentage>

<singleExtrusionMaxPrintingWidthPercentage>200</singleExtrusionMaxPrintingWidthPercentage>

<singleExtrusionEndpointExtension>0.2</singleExtrusionEndpointExtension>
  <horizontalSizeCompensation>0</horizontalSizeCompensation>
  <autoConfigureMaterial name="PLA">

```

```

<globalExtruderTemperature>190</globalExtruderTemperature>
<globalBedTemperature>60</globalBedTemperature>
<globalExtrusionMultiplier>0.9</globalExtrusionMultiplier>
<fanSpeed>
  <setpoint layer="1" speed="0"/>
  <setpoint layer="2" speed="100"/>
</fanSpeed>
</autoConfigureMaterial>
<autoConfigureMaterial name="ABS">
  <globalExtruderTemperature>225</globalExtruderTemperature>
  <globalBedTemperature>100</globalBedTemperature>
  <globalExtrusionMultiplier>1</globalExtrusionMultiplier>
  <fanSpeed>
    <setpoint layer="1" speed="0"/>
  </fanSpeed>
</autoConfigureMaterial>
<autoConfigureMaterial name="PVA">
  <globalExtruderTemperature>195</globalExtruderTemperature>
  <globalBedTemperature>80</globalBedTemperature>
  <globalExtrusionMultiplier>1</globalExtrusionMultiplier>
  <fanSpeed>
    <setpoint layer="1" speed="0"/>
    <setpoint layer="2" speed="100"/>
  </fanSpeed>
</autoConfigureMaterial>
<autoConfigureMaterial name="Nylon">
  <globalExtruderTemperature>220</globalExtruderTemperature>
  <globalBedTemperature>80</globalBedTemperature>
  <globalExtrusionMultiplier>1</globalExtrusionMultiplier>
  <fanSpeed>
    <setpoint layer="1" speed="0"/>
  </fanSpeed>
</autoConfigureMaterial>
<autoConfigureQuality name="Fast">
  <layerHeight>0.3</layerHeight>
  <topSolidLayers>3</topSolidLayers>
  <bottomSolidLayers>3</bottomSolidLayers>
  <skirtLayers>1</skirtLayers>
  <infillPercentage>15</infillPercentage>
  <supportInfillPercentage>25</supportInfillPercentage>
</autoConfigureQuality>
<autoConfigureQuality name="Medium">
  <layerHeight>0.3</layerHeight>
  <topSolidLayers>5</topSolidLayers>
  <bottomSolidLayers>5</bottomSolidLayers>
  <skirtLayers>1</skirtLayers>
  <infillPercentage>100</infillPercentage>
  <supportInfillPercentage>20</supportInfillPercentage>
</autoConfigureQuality>
<autoConfigureQuality name="High">

```

```

<layerHeight>0.1</layerHeight>
<topSolidLayers>4</topSolidLayers>
<bottomSolidLayers>4</bottomSolidLayers>
<skirtLayers>2</skirtLayers>
<infillPercentage>30</infillPercentage>
<supportInfillPercentage>40</supportInfillPercentage>
</autoConfigureQuality>
<autoConfigureMaterial name="TPU">
  <globalExtruderTemperature>210</globalExtruderTemperature>
  <globalBedTemperature>65</globalBedTemperature>
  <globalExtrusionMultiplier>1</globalExtrusionMultiplier>
  <fanSpeed>
    <setpoint layer="1" speed="0"/>
  </fanSpeed>
</autoConfigureMaterial>
</profile>

```

- Parâmetros de impressão das orelhas de fixação

```

<?xml version="1.0"?>
<profile name="Órteses Jéssica" version="2018-12-06 18:26:08" app="S3D-
Software 4.0.1">
  <baseProfile>Default</baseProfile>
  <printMaterial>TPU</printMaterial>
  <printQuality>Medium</printQuality>
  <printExtruders></printExtruders>
  <extruder name="Primary Extruder">
    <toolheadNumber>1</toolheadNumber>
    <diameter>0.4</diameter>
    <autoWidth>0</autoWidth>
    <width>0.4</width>
    <extrusionMultiplier>1</extrusionMultiplier>
    <useRetract>1</useRetract>
    <retractionDistance>3</retractionDistance>
    <extraRestartDistance>0</extraRestartDistance>
    <retractionZLift>0.5</retractionZLift>
    <retractionSpeed>1800</retractionSpeed>
    <useCoasting>0</useCoasting>
    <coastingDistance>0.3</coastingDistance>
    <useWipe>0</useWipe>
    <wipeDistance>5</wipeDistance>
  </extruder>
  <primaryExtruder>0</primaryExtruder>
  <layerHeight>0.3</layerHeight>
  <topSolidLayers>5</topSolidLayers>
  <bottomSolidLayers>5</bottomSolidLayers>
  <perimeterOutlines>3</perimeterOutlines>
  <printPerimetersInsideOut>1</printPerimetersInsideOut>
  <startPointOption>1</startPointOption>

```

```

<startPointOriginX>0</startPointOriginX>
<startPointOriginY>0</startPointOriginY>
<sequentialIslands>0</sequentialIslands>
<spiralVaseMode>0</spiralVaseMode>
<firstLayerHeightPercentage>100</firstLayerHeightPercentage>
<firstLayerWidthPercentage>100</firstLayerWidthPercentage>
<firstLayerUnderspeed>0.8</firstLayerUnderspeed>
<useRaft>0</useRaft>
<raftExtruder>0</raftExtruder>
<raftTopLayers>1</raftTopLayers>
<raftBaseLayers>1</raftBaseLayers>
<raftOffset>7</raftOffset>
<raftSeparationDistance>0.1</raftSeparationDistance>
<raftTopInfill>90</raftTopInfill>
<aboveRaftSpeedMultiplier>1</aboveRaftSpeedMultiplier>
<useSkirt>1</useSkirt>
<skirtExtruder>0</skirtExtruder>
<skirtLayers>1</skirtLayers>
<skirtOutlines>10</skirtOutlines>
<skirtOffset>0</skirtOffset>
<usePrimePillar>0</usePrimePillar>
<primePillarExtruder>999</primePillarExtruder>
<primePillarWidth>12</primePillarWidth>
<primePillarLocation>7</primePillarLocation>
<primePillarSpeedMultiplier>1</primePillarSpeedMultiplier>
<useOozeShield>0</useOozeShield>
<oozeShieldExtruder>999</oozeShieldExtruder>
<oozeShieldOffset>2</oozeShieldOffset>
<oozeShieldOutlines>1</oozeShieldOutlines>
<oozeShieldSidewallShape>1</oozeShieldSidewallShape>
<oozeShieldSidewallAngle>30</oozeShieldSidewallAngle>
<oozeShieldSpeedMultiplier>1</oozeShieldSpeedMultiplier>
<infillExtruder>0</infillExtruder>
<internalInfillPattern>Rectilinear</internalInfillPattern>
<externalInfillPattern>Rectilinear</externalInfillPattern>
<infillPercentage>100</infillPercentage>
<outlineOverlapPercentage>35</outlineOverlapPercentage>
<infillExtrusionWidthPercentage>90</infillExtrusionWidthPercentage>
<minInfillLength>5</minInfillLength>
<infillLayerInterval>1</infillLayerInterval>
<internalInfillAngles>45,-45</internalInfillAngles>
<overlapInternalInfillAngles>0</overlapInternalInfillAngles>
<externalInfillAngles>45,-45</externalInfillAngles>
<generateSupport>1</generateSupport>
<supportExtruder>0</supportExtruder>
<supportInfillPercentage>20</supportInfillPercentage>
<supportExtraInflation>0.21</supportExtraInflation>
<supportBaseLayers>3</supportBaseLayers>
<denseSupportExtruder>0</denseSupportExtruder>
<denseSupportLayers>2</denseSupportLayers>

```

```

<denseSupportInfillPercentage>75</denseSupportInfillPercentage>
<supportLayerInterval>1</supportLayerInterval>
<supportHorizontalPartOffset>0.03</supportHorizontalPartOffset>
<supportUpperSeparationLayers>1</supportUpperSeparationLayers>
<supportLowerSeparationLayers>0</supportLowerSeparationLayers>
<supportType>0</supportType>
<supportGridSpacing>3</supportGridSpacing>
<maxOverhangAngle>50</maxOverhangAngle>
<supportAngles>0</supportAngles>
<temperatureController name="Primary Extruder">
  <temperatureNumber>0</temperatureNumber>
  <isHeatedBed>0</isHeatedBed>
  <relayBetweenLayers>0</relayBetweenLayers>
  <relayBetweenLoops>0</relayBetweenLoops>
  <stabilizeAtStartup>1</stabilizeAtStartup>
  <setpoint layer="1" temperature="210"/>
</temperatureController>
<temperatureController name="Bed">
  <temperatureNumber>0</temperatureNumber>
  <isHeatedBed>1</isHeatedBed>
  <relayBetweenLayers>0</relayBetweenLayers>
  <relayBetweenLoops>0</relayBetweenLoops>
  <stabilizeAtStartup>1</stabilizeAtStartup>
  <setpoint layer="1" temperature="65"/>
</temperatureController>
<fanSpeed>
  <setpoint layer="1" speed="0"/>
</fanSpeed>
<blipFanToFullPower>0</blipFanToFullPower>
<adjustSpeedForCooling>0</adjustSpeedForCooling>
<minSpeedLayerTime>15</minSpeedLayerTime>
<minCoolingSpeedSlowdown>20</minCoolingSpeedSlowdown>
<increaseFanForCooling>0</increaseFanForCooling>
<minFanLayerTime>45</minFanLayerTime>
<maxCoolingFanSpeed>100</maxCoolingFanSpeed>
<increaseFanForBridging>0</increaseFanForBridging>
<bridgingFanSpeed>100</bridgingFanSpeed>
<use5D>1</use5D>
<relativeEdistances>0</relativeEdistances>
<allowEaxisZeroing>1</allowEaxisZeroing>
<independentExtruderAxes>0</independentExtruderAxes>
<includeM10123>0</includeM10123>
<stickySupport>1</stickySupport>
<applyToolheadOffsets>0</applyToolheadOffsets>
<gcodeXoffset>0</gcodeXoffset>
<gcodeYoffset>0</gcodeYoffset>
<gcodeZoffset>0</gcodeZoffset>
<overrideMachineDefinition>1</overrideMachineDefinition>
<machineTypeOverride>0</machineTypeOverride>
<strokeXoverride>200</strokeXoverride>

```

```

<strokeYoverride>200</strokeYoverride>
<strokeZoverride>200</strokeZoverride>
<originOffsetXoverride>0</originOffsetXoverride>
<originOffsetYoverride>0</originOffsetYoverride>
<originOffsetZoverride>0</originOffsetZoverride>
<homeXdirOverride>-1</homeXdirOverride>
<homeYdirOverride>-1</homeYdirOverride>
<homeZdirOverride>-1</homeZdirOverride>
<flipXoverride>1</flipXoverride>
<flipYoverride>-1</flipYoverride>
<flipZoverride>1</flipZoverride>
<toolheadOffsets>0,0|0,0|0,0|0,0|0,0|0,0</toolheadOffsets>
<overrideFirmwareConfiguration>0</overrideFirmwareConfiguration>
<firmwareTypeOverride>RepRap
(Marlin/Repetier/Sprinter)</firmwareTypeOverride>
<GPXconfigOverride>r2</GPXconfigOverride>
<baudRateOverride>115200</baudRateOverride>
<overridePrinterModels>0</overridePrinterModels>
<printerModelsOverride></printerModelsOverride>
<startingGcode>G28 ; home all axes</startingGcode>
<layerChangeGcode></layerChangeGcode>
<retractionGcode></retractionGcode>
<toolChangeGcode></toolChangeGcode>
<endingGcode>M104 S0 ; turn off extruder,M140 S0 ; turn off bed,M84 ;
disable motors,G28; home all axes</endingGcode>
<exportFileFormat>gcode</exportFileFormat>
<celebration>0</celebration>
<celebrationSong>Star Wars</celebrationSong>
<postProcessing></postProcessing>
<defaultSpeed>1800</defaultSpeed>
<outlineUnderspeed>0.8</outlineUnderspeed>
<solidInfillUnderspeed>1</solidInfillUnderspeed>
<supportUnderspeed>0.8</supportUnderspeed>
<rapidXYspeed>2000</rapidXYspeed>
<rapidZspeed>1000</rapidZspeed>
<minBridgingArea>50</minBridgingArea>
<bridgingExtraInflation>0</bridgingExtraInflation>
<bridgingExtrusionMultiplier>1</bridgingExtrusionMultiplier>
<bridgingSpeedMultiplier>1</bridgingSpeedMultiplier>
<useFixedBridgingAngle>0</useFixedBridgingAngle>
<fixedBridgingAngle>0</fixedBridgingAngle>
<applyBridgingToPerimeters>0</applyBridgingToPerimeters>
<filamentDiameters>1.75|1.75|1.75|1.75|1.75|1.75</filamentDiameters>
<filamentPricesPerKg>100|46|46|46|46|46</filamentPricesPerKg>
<filamentDensities>1.25|1.25|1.25|1.25|1.25|1.25</filamentDensities>
<useMinPrintHeight>0</useMinPrintHeight>
<minPrintHeight>0</minPrintHeight>
<useMaxPrintHeight>0</useMaxPrintHeight>
<maxPrintHeight>0</maxPrintHeight>
<useDiaphragm>0</useDiaphragm>

```

```

<diaphragmLayerInterval>20</diaphragmLayerInterval>
<robustSlicing>1</robustSlicing>
<mergeAllIntoSolid>0</mergeAllIntoSolid>
<onlyRetractWhenCrossingOutline>1</onlyRetractWhenCrossingOutline>
<retractBetweenLayers>1</retractBetweenLayers>
<useRetractionMinTravel>1</useRetractionMinTravel>
<retractionMinTravel>3</retractionMinTravel>
<retractWhileWiping>1</retractWhileWiping>
<onlyWipeOutlines>1</onlyWipeOutlines>
<avoidCrossingOutline>1</avoidCrossingOutline>
<maxMovementDetourFactor>3</maxMovementDetourFactor>
<toolChangeRetractionDistance>1</toolChangeRetractionDistance>
<toolChangeExtraRestartDistance>-0.5</toolChangeExtraRestartDistance>
<toolChangeRetractionSpeed>600</toolChangeRetractionSpeed>
<externalThinWallType>0</externalThinWallType>
<internalThinWallType>2</internalThinWallType>

```

```

<thinWallAllowedOverlapPercentage>30</thinWallAllowedOverlapPercentage>
<singleExtrusionMinLength>1</singleExtrusionMinLength>

```

```

<singleExtrusionMinPrintingWidthPercentage>50</singleExtrusionMinPrintingWidthPercentage>

```

```

<singleExtrusionMaxPrintingWidthPercentage>200</singleExtrusionMaxPrintingWidthPercentage>

```

```

<singleExtrusionEndpointExtension>0.2</singleExtrusionEndpointExtension>
<horizontalSizeCompensation>0</horizontalSizeCompensation>
<autoConfigureMaterial name="PLA">
  <globalExtruderTemperature>190</globalExtruderTemperature>
  <globalBedTemperature>60</globalBedTemperature>
  <globalExtrusionMultiplier>0.9</globalExtrusionMultiplier>
  <fanSpeed>
    <setpoint layer="1" speed="0"/>
    <setpoint layer="2" speed="100"/>
  </fanSpeed>
</autoConfigureMaterial>
<autoConfigureMaterial name="ABS">
  <globalExtruderTemperature>225</globalExtruderTemperature>
  <globalBedTemperature>100</globalBedTemperature>
  <globalExtrusionMultiplier>1</globalExtrusionMultiplier>
  <fanSpeed>
    <setpoint layer="1" speed="0"/>
  </fanSpeed>
</autoConfigureMaterial>
<autoConfigureMaterial name="PVA">
  <globalExtruderTemperature>195</globalExtruderTemperature>
  <globalBedTemperature>80</globalBedTemperature>
  <globalExtrusionMultiplier>1</globalExtrusionMultiplier>
  <fanSpeed>

```

```

    <setpoint layer="1" speed="0"/>
    <setpoint layer="2" speed="100"/>
  </fanSpeed>
</autoConfigureMaterial>
<autoConfigureMaterial name="Nylon">
  <globalExtruderTemperature>220</globalExtruderTemperature>
  <globalBedTemperature>80</globalBedTemperature>
  <globalExtrusionMultiplier>1</globalExtrusionMultiplier>
  <fanSpeed>
    <setpoint layer="1" speed="0"/>
  </fanSpeed>
</autoConfigureMaterial>
<autoConfigureQuality name="Fast">
  <layerHeight>0.3</layerHeight>
  <topSolidLayers>3</topSolidLayers>
  <bottomSolidLayers>3</bottomSolidLayers>
  <skirtLayers>1</skirtLayers>
  <infillPercentage>15</infillPercentage>
  <supportInfillPercentage>25</supportInfillPercentage>
</autoConfigureQuality>
<autoConfigureQuality name="Medium">
  <layerHeight>0.3</layerHeight>
  <topSolidLayers>5</topSolidLayers>
  <bottomSolidLayers>5</bottomSolidLayers>
  <skirtLayers>1</skirtLayers>
  <infillPercentage>100</infillPercentage>
  <supportInfillPercentage>20</supportInfillPercentage>
</autoConfigureQuality>
<autoConfigureQuality name="High">
  <layerHeight>0.1</layerHeight>
  <topSolidLayers>4</topSolidLayers>
  <bottomSolidLayers>4</bottomSolidLayers>
  <skirtLayers>2</skirtLayers>
  <infillPercentage>30</infillPercentage>
  <supportInfillPercentage>40</supportInfillPercentage>
</autoConfigureQuality>
<autoConfigureMaterial name="TPU">
  <globalExtruderTemperature>210</globalExtruderTemperature>
  <globalBedTemperature>65</globalBedTemperature>
  <globalExtrusionMultiplier>1</globalExtrusionMultiplier>
  <fanSpeed>
    <setpoint layer="1" speed="0"/>
  </fanSpeed>
</autoConfigureMaterial>
</profile>

```


APÊNDICE 12 – INFORMATIVO SOBRE CUIDADOS COM A ÓRTESE IMPRESSA



Você está recebendo gratuitamente órteses personalizadas fabricadas por impressão 3D. Leia atentamente as instruções antes de iniciar o uso.

Características do produto

A impressão 3D permite fabricar produtos depositando material camada a camada. Após a impressão são feitas as etapas de acabamento e colocação dos materiais de fixação e de conforto. As órteses são fabricadas em Poliuretano Termoplástico (TPU) com revestimento em Espuma Vinílica Acetinada (EVA). Como são órteses personalizadas na anatomia da criança, devem ser utilizadas apenas pela criança para a qual foram produzidas.

Instruções de uso

Acomodar o pé e perna na órtese, iniciando pelo posicionamento do calcanhar e fazer a fixação utilizando as fitas de velcro. Evite expor a órtese ao sol por períodos prolongados de tempo. Interromper o uso dessas órteses após o crescimento da criança e contate o fisioterapeuta que a acompanha para avaliar a necessidade de aquisição de uma nova órtese.

Instruções de limpeza e conservação

A parte externa da órtese pode ser lavada utilizando escova, sabão neutro e água em temperatura ambiente; a parte interna deve ser limpa utilizando apenas sabão neutro e água em temperatura ambiente. Não usar água quente.

Evite usar materiais abrasivos.

Secar à sombra. Não exponha a órtese à altas temperaturas, evitando a deformação do material da órtese e consequente perda de sua função.

Instruções de manutenção

Este produto não requer que você faça manutenção dentro do período de uso quando consideradas as instruções de uso, de limpeza e de conservação. Em casos de extremos de ruptura da órtese em decorrência de defeito de fabricação, favor entrar em contato com a equipe da UTFPR para a devida manutenção ou troca da órtese, quando necessário.

Obrigada por participar da pesquisa. Nós somos uma equipe de pesquisa científica e queremos contribuir para a modernização do processo de fabricação de órteses de membro inferior.

ANEXO 1 – AVALIAÇÃO DA SATISFAÇÃO DO USUÁRIO COM A TECNOLOGIA ASSISTIVA DE QUEBEC B-QUEST (2.0)

O objetivo do questionário QUEST é avaliar o grau de satisfação com seu recurso de Tecnologia Assistiva e os serviços relacionados que você usou. O questionário consiste de 12 itens de satisfação.

- Para cada um dos 12 itens, avalie sua satisfação com o recurso de Tecnologia Assistiva e os serviços relacionados que experimentou, usando a seguinte escala de 1 a 5:

1	2	3	4	5
Insatisfeito	Pouco satisfeito	Mais ou menos satisfeito	Bastante satisfeito	Totalmente satisfeito

- Circule ou marque o número que melhor descreve seu grau de satisfação com cada um dos 12 itens.
- Não deixe nenhuma pergunta sem resposta.
- Quando julgar necessário, comente na seção **comentários**.

	1	2	3	4	5
	Insatisfeito	Pouco satisfeito	Mais ou menos satisfeito	Bastante satisfeito	Totalmente satisfeito
RECURSO DE TECNOLOGIA ASSISTIVA					
Qual é o seu grau de satisfação com:					
1.	as dimensões (tamanho, altura, comprimento, largura) do seu recurso de Tecnologia Assistiva?				1 2 3 4 5
Comentários:					
2.	o peso do seu recurso de Tecnologia Assistiva?				1 2 3 4 5
Comentários:					
3.	a facilidade de ajustar (fixar, afivelar) as partes do seu recurso de Tecnologia Assistiva?				1 2 3 4 5
Comentários:					
4.	a estabilidade e a segurança do seu recurso de Tecnologia Assistiva?				1 2 3 4 5
Comentários:					
5.	a durabilidade (força e resistência ao desgaste) do seu recurso de Tecnologia Assistiva?				1 2 3 4 5

1	2	3	4	5			
Insatisfeito	Pouco satisfeito	Mais ou menos satisfeito	Bastante satisfeito	Totalmente satisfeito			
Comentários:							
6.	a facilidade de uso do seu recurso de Tecnologia Assistiva?		1	2	3	4	5
Comentários:							
7.	o conforto do seu recurso de Tecnologia Assistiva?		1	2	3	4	5
Comentários:							
8.	a eficácia do seu recurso de Tecnologia Assistiva (o quanto seu recurso atende às suas necessidades)?		1	2	3	4	5
Comentários:							
SERVIÇOS							
Qual é o seu grau de satisfação com:							
9.	o processo de entrega (procedimentos, tempo de espera) pelo qual você obteve o seu recurso de Tecnologia Assistiva?		1	2	3	4	5
Comentários:							
10.	os reparos e a assistência técnica (manutenção) prestados para o seu recurso de Tecnologia Assistiva?		1	2	3	4	5
Comentários:							
11.	a qualidade dos serviços profissionais (informações, atenção) que você recebeu pelo uso do seu recurso de Tecnologia Assistiva?		1	2	3	4	5
Comentários:							
12.	os serviços de acompanhamento (serviços de suporte contínuos) recebidos para o seu recurso de Tecnologia Assistiva?		1	2	3	4	5
Comentários:							

A seguir, consta uma lista com os mesmos 12 itens de satisfação. ESCOLHA OS 3 ITENS que você considera os mais importantes. Assinale um X nas 3 opções de sua escolha.

- 1) Dimensões
- 2) Peso
- 3) Ajustes
- 4) Segurança
- 5) Durabilidade
- 6) Facilidade de uso
- 7) Conforto
- 8) Eficácia

9) Entrega

10) Reparos/assistência técnica

11) Serviços profissionais

12) Serviços de acompanhamento

Obrigado por completar o questionário QUEST.