



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE SÃO PAULO

Câmpus Itaquaquetuba

PRÓTESES MECÂNICAS DE MEMBROS SUPERIORES

Discentes

Adrielly Medeiros da Silva

Débora Barbosa de Souza

Letícia Cristina de Oliveira Rico

Marcos Vinicius Rodrigues de Oliveira

Thainá Silva Gonçalves Fogaça

Orientadores

Iberê de Oliveira Santos

Rodolfo Liporoni Dias

Itaquaquetuba - SP

2022

SUMÁRIO

Introdução	3
Objetivos	7
Material & Métodos	8
Resultados encontrados & Discussão	16
Conclusão	35
Referências	36

Introdução

Diariamente, confinados em uma sociedade, diversas pessoas estão expostas a riscos iminentes e imprevisíveis como em acidentes de trânsito ou trabalho, e outros problemas relacionados à saúde, dos quais podemos citar as diabetes, tumores ósseos, infecções generalizadas, malformação congênita e complicações vasculares. O possível resultado de todos esses infortúnios é a amputação do(s) membro(s) acometido(s) pela causa (JÚNIOR et al., 2016).

A amputação pode ser definida como a remoção de uma extremidades do corpo, através de uma cirurgia ou do próprio acidente (MILANI, 2020), e apesar de surgir como uma situação irreversível na vida de uma pessoa, atualmente existem várias maneiras as quais permitem a substituição do membro perdido, de maneira artificial.

De acordo com o censo de 2010 realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE), 2,7% das pessoas apresentam deficiência física nos membros superiores. Consequentemente, a vida das pessoas que apresentam deficiência motora e não possui algum dos membros seja superior ou inferior, se torna desgastante nos aspectos tanto físicos quanto psicológicos, e por isso as próteses ortopédicas são apresentadas como uma das tecnologias mais recentes e úteis que existem atualmente no mercado para ajudar o indivíduo a recuperar a funcionalidade do membro original perdido. Por isso, tais aplicações ortopédicas devem apresentar uma série de propriedades para que seu uso seja seguro, as quais podem ser destacadas: a biocompatibilidade, a resistência mecânica, a resistência à corrosão e ao desgaste (ROTTA et al., 2014). Sejam elas externas, superiores ou inferiores, seu uso é comum, com intuito de reconstruir seções ósseas comprometidas após acidentes ou doenças (MORAES, 2019), e permitir a reabilitação do indivíduo, contribuindo para uma vida mais sadia e mais adaptada à sociedade, além de uma melhor estética.

Cumprir todas as necessidades de uma parte do corpo humano através de uma prótese tem sido um dos principais desafios em muitas áreas promissoras para pesquisas de implantes ortopédicos (RODRIGUES, 2013), isso devido a complexidade que o corpo de uma pessoa possui, levando em consideração que os materiais usados nas próteses sempre estão em processo de pesquisa, buscando uma liga de aço melhor, com menor elasticidade, maior poder anti-corrosivo, ou materiais mais leves, mais baratos, mais biocompatíveis entre outros aspectos (ROTTA et al., 2014). Quando se trata de

uma mão biônica, o assunto é ainda mais delicado, porque sua tecnologia de funcionamento se baseia em sensores que captam a atividade muscular do usuário para que ocorra a movimentação dos dedos e pulso (ALVES, 2018), o que a torna bem específica. Mesmo diante de toda dificuldade apresentada e exigida pelo assunto, o uso de uma prótese ortopédica biônica de mão tem se mostrado um meio muito eficiente para recuperação dos movimentos de um indivíduo.

O primeiro relato escrito das próteses ortopédicas de mão foi identificado no ano 77 a.C., quando uma prótese foi confeccionada a fim de substituir o braço de um general romano para auxiliá-lo na utilização de seu escudo em batalhas (CARVALHO, 2003). Pertinente às próteses articuladas de mão, sua primeira aparição histórica ocorreu no ano de 1505, com o objetivo de tornar novamente possível que os cavaleiros e integrantes do exército - que perderam este membro em específico - cumprissem com suas funções normalmente, com a ausência de limitações ou impedimentos (CARVALHO, 2003). A evolução das próteses ortopédicas se deu com o decorrer do tempo, na medida em que a tecnologia foi avançando e modificando o modo de produção destas (CARVALHO, 2014). Além disso, a aparência de uma mão biônica está cada vez mais próxima da realidade humana, contudo, há acréscimos de custos significativos ao decorrer de sua proximidade com um membro biológico (MACHADO et al., 2011). Relativo ao que viria a ser uma mão biônica, trata-se de acessórios versáteis acoplados ao corpo do usuário, estes são responsáveis por solucionar a presença de uma deficiência (PAIVA, 2004), tornando conseqüentemente os indivíduos que perderam parte de seus membros, capazes de realizar novamente tarefas que pertenciam ao seu cotidiano como limpar, cozinhar, praticar esportes, tocar instrumentos etc.

Uma das principais características de uma prótese é a interação do material que a compõe com o corpo do indivíduo, isso porque esse corpo pode rejeitar a prótese por conta do material utilizado, estando sujeito também à não adaptação ao dispositivo por conta das suas propriedades mecânicas (BOAVENTURA et al., 2019). Além disso, deve-se pensar nos meios de fabricação das peças utilizadas no mesmo, pois serão eles os responsáveis por transmitir e realizar os movimentos nesse mecanismo. Essa informação nos possibilita pensar na fabricação e montagem de próteses pelo processo de MA (Manufatura Aditiva), que consiste em um processo de fabricação por meio da adição sucessiva de material na forma de camadas, com informações obtidas

diretamente de uma representação geográfica computacional 3D do componente (VOLPATO, 2017). Outro aspecto que deve ser levado em consideração, em que o processo AM proporciona grande benefício em relação a isto, é o custo de uma prótese biônica de mão, pois segundo DAVIDSON e SANTORELLI (2009), o alto custo de equipamentos da tecnologia assistiva existentes no mercado limita seu acesso pelas pessoas com deficiência.

Atualmente ter uma prótese biônica é aparentemente a solução mais plausível no que diz respeito à reprodução semelhante dos movimentos de uma mão humana e a possibilitar a melhor inclusão de um indivíduo na sociedade, porém apesar do grande e recente avanço tecnológico a tentativa de assemelhar-se o máximo possível a uma mão humana tem sido árdua, devido a complexidade da interação do sistema nervoso e sensorial e enorme influência que eles exercem nos nossos movimentos (SCHMIDEK, 2008). Por isso, após a averiguação de alguns aspectos abertos a melhoria de uma prótese ortopédica biônica ativa de membros superiores, de benefícios práticos do processo de Manufatura Aditiva (MA) e o conhecimento ainda superficial de alguns dos tipos de impressão 3D, as quais podem ser citadas a extrusão de material fundido ou FDM e SLA que é um tipo de impressão que utiliza como recurso a fotopolimerização e, se baseia em um filamento sólido que é aquecido e depositado na superfície de impressão. Baseada nessas informações, os componentes do grupo em consenso, e sob a indicação dos orientadores, adotou o seguinte problema de pesquisa: Como imprimir uma prótese de mão utilizando impressoras 3Ds através das técnicas de Extrusão de Material Fundido - FDM (*Fused Deposition Modeling*) e Estereolitografia - SLA?.

As próteses biônicas vêm chamando atenção por sua alta tecnologia e naturalidade de seus movimentos, proporcionando a várias pessoas que perderam algum membro do corpo, uma oportunidade de melhoria da qualidade de vida e bem-estar (MARTINS, 2017), motivos esses que levaram a escolha do tema. E quando se trata de AM o contexto se torna muito mais interessante, porque essa técnica tem crescido muito atualmente tendo em vista que o mercado e serviços compostos por esse método cresceu 29,4% em 2011, e ainda assim continua a oferecer enorme potencial inexplorado (SOUZA et al., 2013). E no que diz respeito a problema-pergunta desse projeto, dentre as inúmeras tecnologias de prototipagem rápida, teremos a oportunidade de explorar um mesmo dispositivo feito por meio dessas duas técnicas muito distintas já que uma é feita a partir da solidificação de polímeros líquidos expostos a radiação ultravioleta, e a outra

a partir do filamento de material aquecido e após solidificado (SOUZA et al., 2013). Além disso, a MA é um método simples, eficaz, rápido e barato em relação a outros meios.

Objetivos

Objetivo Geral;

Avaliar a viabilidade da impressão 3D de peças de próteses de mão usando as técnicas: FDM e SLA.

Objetivos Específicos;

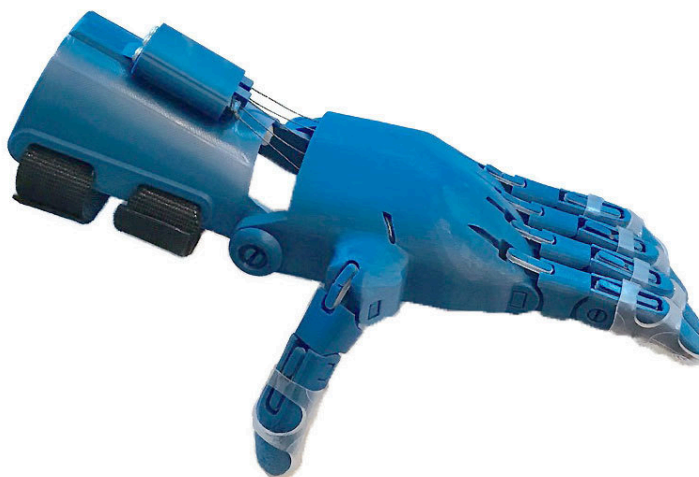
- Investigar os requisitos necessários para a impressão 3D pelos processo extrusão de material fundido (FDM) e por estereolitografia (SLA), a partir de modelos *open source* disponíveis na internet;
- Imprimir e montar as peças de uma prótese a partir da fabricação aditiva, usando impressoras FDM e SLA;
- Avaliar as características das peças produzidas pelos dois métodos e comparar as suas propriedades mecânicas e aplicações;
- Determinar os aspectos facilitadores e desafiadores de ambas as técnicas para a produção.

Materiais e Métodos

Neste projeto, pretende-se produzir protótipos de próteses de membros superiores, analisando em etapas, duas peças fabricadas sob duas técnicas diferentes de Manufatura Aditiva. A primeira delas, será a técnica FDM que se baseia em um filamento sólido que é aquecido e depositado na superfície de impressão. Já a segunda é a SLA que utiliza como recurso a fotopolimerização, onde uma resina de fotopolímero é exposta à luz de um comprimento de onda específico e sofre uma reação química para se tornar sólida. Ambos os processos são construídos camada a camada, de maneira com que seus materiais sejam resfriados até o ponto de se solidificarem.

Para investigar os requisitos para impressão da prótese de membro superior em ambos os métodos, será utilizado o projeto open source da prótese mecânica de membro superior do modelo “*Unlimbited Phoenix Hand*”, disponível na internet, no site da comunidade *Enabling the Future* (<https://enablingthefuture.org/>) e a partir de tal modelo pretende-se imprimir um protótipo, usando as técnicas de FDM e SLA em diferentes componentes..

Figura 1 - Modelo Unlimbited Phoenix Hand de prótese mecânica



Fonte: ENABLING THE FUTURE, 2022.

<https://hub.e-nable.org/s/e-nable-devices/wiki/Unlimbited+Phoenix+Hand>

Antes do procedimento de montagem e impressão das peças, é necessário que seja descrito os requisitos necessários para o início do processo, quanto a isso verificou-se que é fundamental:

- Matéria-Prima para produção das peças (Materiais poliméricos com propriedades biológicas que possibilitem compatibilidade com o corpo humano);
- Projeto *Open Source* projetado em *software* CAD (Computer Aided Design);
- *Softwares* de interface para comunicação do computador com as impressoras 3D (softwares fatiadores)
- Impressora 3D especializada para o meio de produção FDM;
- Impressora 3D especializada para o meio de produção SLA;
- Ferramentas que auxiliem na montagem dos componentes dos protótipos (Alicates, chaves de fenda, chaves phillips, etc).

Ambas as impressoras, insumos e ferramentas para a execução do trabalho, foram ofertados pelo Instituto Federal de São Paulo - Câmpus Itaquaquecetuba, e produzimos o protótipo no mesmo, sob a supervisão e auxílio dos orientadores e docentes dessa área na instituição. Já o recurso do projeto *Open Source* de desenho do modelo selecionado, foi extraído da internet, no site da instituição (Enabling the Future) que desenvolveu o projeto.

Para a técnica de FDM, foi usada a impressora 3D disponível no campus do fabricante “GTMax3D”, modelo “IMPRESSORA 3D PRO - GTMAX3D CORE H4”. O custo da mesma, acompanhada do *software simplify3D* e de 1 kg de filamento ABS é de cerca de R\$ 8.459,00. Esse modelo do fabricante GTMax3D possui o volume total de 27 litros, e a velocidade máxima caracteriza-se por: 180mm/s (milímetros por segundo) de impressão; 400mm/s de deslocamento e 3.000mm/s² (milímetros por segundo quadrado) de aceleração.

Figura 2 - IMPRESSORA 3D PRO - GTMAX3D CORE H4



Fonte: GTMax3D, 2022.

<https://www.gtmax3d.com.br/impressora-3d-pro/gtmax3d-core-h4-simplify3d>

Para a técnica SLA foi usada a impressora 3D disponível no campus da fabricante “Sprintray”, modelo “Moonray D75”. O volume da área de impressão é de $380 \times 380 \times 500$ mm, e o custo da mesma, acompanhada de seus apetrechos, é estimado em cerca de R\$37.900,00.

Figura 3 - Impressora 3D Sprintray -Moonray D75



Fonte: 3d natives,2022.<https://www.3dnatives.com/3D-compare/en/3d-printers/moonray-d75/>

Para produção dos componentes foram usados os filamentos poliméricos Acrilonitrila butadieno estireno (ABS, na sigla em inglês) e Ácido Polilático (PLA, na sigla em inglês) com as propriedades requeridas para FDM; e resina polimérica para SLA, tendo em vista que foi impresso componente a componente, e a montagem foi feita manualmente pelos discentes e docentes envolvidos no projeto. O número total dos elementos que compõem a prótese de mão mecânica do modelo *Unlimbited Phoenix Hand* é 30, excluso os elementos de fixação, como descrito na Tabela 1.

Tabela 1 - Descrição e dimensionamento prévios de cada grupo de componentes da *Unlimbited Phoenix Hand*.

Componente	Quantidade	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)
Grupo Dedos	5	43,55	78,32	15,72
Grupo Falanges	5	35,53	80,85	17,19
Grupo Pinos	13	40,00	65,19	04,03
Manopla	1	87,00	95,05	04,89
Molde*	1	88,25	56,76	37,75
Palma	1	91,96	82,17	30,55
Pinos Tensores	3	30,00	22,61	04,03
Tensor	1	11,03	23,62	28,00

Fonte: Autoria própria.

*Esse item não é um componente, mas sim, uma parte impressa que é usada na termoformagem para moldar a manopla

Para a composição da tabela acima, foram baixados arquivos separados de cada componente da *Unlimbited Phoenix Hand* no site *Enabling the Future*. Após isso, usou-se o e-mail de um dos integrantes do grupo para fazer login no *software - Tinkercad*. Com auxílio desse *software* foi possível fazer upload de cada arquivo separadamente e obter as medidas de altura, largura e comprimento em tamanho real de cada componente, e com isso montar-se a Tabela 1.

Antes do início das sessões de impressões, foi necessário conhecer os softwares de interface com a impressora. O *Repetier* é o software que permite conexão com a impressora para produção dos componentes do protótipo, nele é possível alterar as configurações de filamento e temperatura da impressora, alterar as propriedades da peça como tempo de impressão e posição nos eixos X, Y e Z, e fatiar o projeto para melhor visualização do procedimento. Em conjunto com o *Repetier* trabalha o *slicer*, o software fatiador da peça, ao usá-lo para o fatiamento temos uma melhor visão do tempo de impressão, quantidade de linhas, movimentos realizados, camadas e quantidade de filamento que será usado.

Após a impressão de todos os componentes da *Unlimbited Phoenix Hand* e aquisição dos elementos de fixação, foi feito o processo de termoformagem em alguns componentes para que tais adquiram a curvatura requerida. Outro aspecto relevante, é que os grupos de componentes foram impressos em cores diferentes, com o intuito de apresentar um modelo didático e diferenciar cada tipo de impressão, caracterizados no modelo final por: Amarelo (ABS) - Pinos Tensores e fixadores; Vermelho (ABS) - pontas e falanges e Cinza (Resina) - Tensor. Vale ressaltar que os componentes tensor e pinos tensores, tiveram o design modificado no software "*Siemens NX*" para melhor qualidade do protótipo. Em seguida foi realizada a montagem dos protótipos seguindo as instruções do vídeo disponível no site da instituição (<https://youtu.be/CXoVSTgzyec>), usando as ferramentas auxiliares disponibilizadas ao nosso alcance dentro do campus, tais como: alicate, chave philips, paquímetro e arames maleáveis.

Com o protótipo já montado, para que avaliemos as diferenças e semelhanças tanto nas interações mecânicas, quanto nas características variáveis como velocidade e preenchimento, de um mesmo dispositivo com peças feitas por duas técnicas diferentes de impressão, é necessário a aquisição de outros componentes comercialmente disponíveis, sendo eles descritos na tabela 2.

Tabela 2 - Descrição dos itens utilizados para efetuar a montagem.

Item	Quantidade	Valor Unitário
Agulhas	4 unidades	R\$ 3,00
Cola Super Bonder Gel	1 unidade	R\$ 5,50
Cordões (“linhas tendões”)	6 metros	R\$ 4,50
Elásticos dentários	20 unidades	Doado
Fita dupla face	1 unidade	R\$ 3,50
Folha de E.V.A	1 unidade	R\$ 4,00
Isqueiro	1 unidade	R\$ 1,50
Linha de costura	1 unidade	R\$ 2,00
Linha de pesca	2 metros	R\$ 0,90
Parafusos tensores	3 unidades	R\$ 0,50
Velcro	1 metro	R\$ 8,00

No processo completo de formação do protótipo, foi necessário conhecer os fundamentos básicos do software de desenho 3D *Inventor*, e imprimir todas as peças que compõem a prótese para ter melhor compreensão do design de cada uma delas. O software *Repetier* também foi fundamental, pois é ele que permite a comunicação com a GTMax3D, juntamente com o *Slicer* que faz o fatiamento. Logo após os parâmetros dos *softwares* serem ajustados, a impressão de cada peça foi iniciada, e com todas concluídas iniciamos a montagem com o auxílio de algumas ferramentas, como arames maleáveis, agulhas de costura, agulha de crochê, chave phillips, alfinete e alicate, os quais nos permitiram maior facilidade ao passar os cordões por dentro das peças mal acabadas internamente. A cola foi usada para proporcionar maior aderência a algumas partes do protótipo, o isqueiro foi utilizado para queimar as pontas dos cordões e linhas, viabilizando maior fluidez ao penetrarem as peças. Os elásticos foram usados como elementos de fixação e transmissão dos movimentos dos dedos, assim como os cordões, a fita dupla face e o E.V.A tiveram o intuito de oferecer maciez à rigidez do material. Por fim, os parafusos foram utilizados para fixar a peça que seguram os cordões, e o velcro tem a intenção de fixar o dispositivo no braço do paciente.

A partir da montagem completa com os elementos imprimidos, e comercialmente adquiridos é possível analisar o desempenho dos protótipos depois de prontos, por exemplo características de um componente impresso em cores e tempos diferentes. Por fim, após as amostras analisadas, prevê-se que sejam relatados os resultados em formato de tabela, quais aspectos foram facilitadores e quais foram desafiadores em relação a cada uma das técnicas apresentadas, quais foram as vantagens e desvantagens tanto na produção quanto nos esforços submetidos, como se comportaram os materiais e no geral qual delas proporcionou melhor custo-benefício.

Cronograma

Atividade	Início	Término	Status
Formação do Grupo	15 de Fevereiro	18 de Fevereiro	Concluído
Discussão em grupo sobre o tema	22 de Fevereiro	25 de Fevereiro	Concluído
Escolha dos orientadores	23 de Fevereiro	25 de fevereiro	Concluído
Envio da carta de aceite	1 de Março	15 de Março	Concluído
Análise de artigos sobre o tema	29 de Março	4 de Abril	Concluído
1º Reunião em grupo	6 de Abril	6 de Abril	Concluído
Escrita da Introdução	4 de Abril	10 de Abril	Concluído
1º Construção de Slides	12 de Abril	14 de Abril	Concluído
Ensaios para 1º apresentação	14 de Abril	19 de Abril	Concluído
1º Apresentação em sala	19 de Abril	19 de Abril	Concluído
Definição dos objetivos	20 de abril	10 de Junho	Concluído
Pesquisas de meios de MA	10 de Junho	11 de Junho	Concluído
Pesquisa tipos de impressão 3D	13 de Junho	14 de Junho	Concluído
Junção das referências utilizadas	13 de Junho	14 de Junho	Concluído
Escrita Materiais e métodos	14 de Junho	21 de Junho	Concluído
1º Contato com impressoras 3D	23 de Junho	23 de Junho	Concluído
2º Apresentação em sala de aula	Junho	Julho	Concluído
Definição dos Materiais	Julho	Agosto	Concluído
Escolha do Software de interface	Julho	Agosto	Concluído
Reunião das ferramentas necessárias	Agosto	Agosto	Concluído
Realização da impressão - Técnica SLA	Setembro	Setembro	Concluído
Realização da impressão - Técnica FDM	Setembro	Setembro	Concluído
Avaliação das semelhanças e diferenças	Setembro	Outubro	Concluído
Escrita dos Resultados	Outubro	Outubro	Concluído
Reunião presencial para a montagem	Outubro	Outubro	Concluído
Reunião para revisão do trabalho	Novembro	Novembro	Concluído
Escrita da Conclusão	Novembro	Novembro	Concluído
Apresentação e entrega final	Novembro	Novembro	Concluído

Resultados

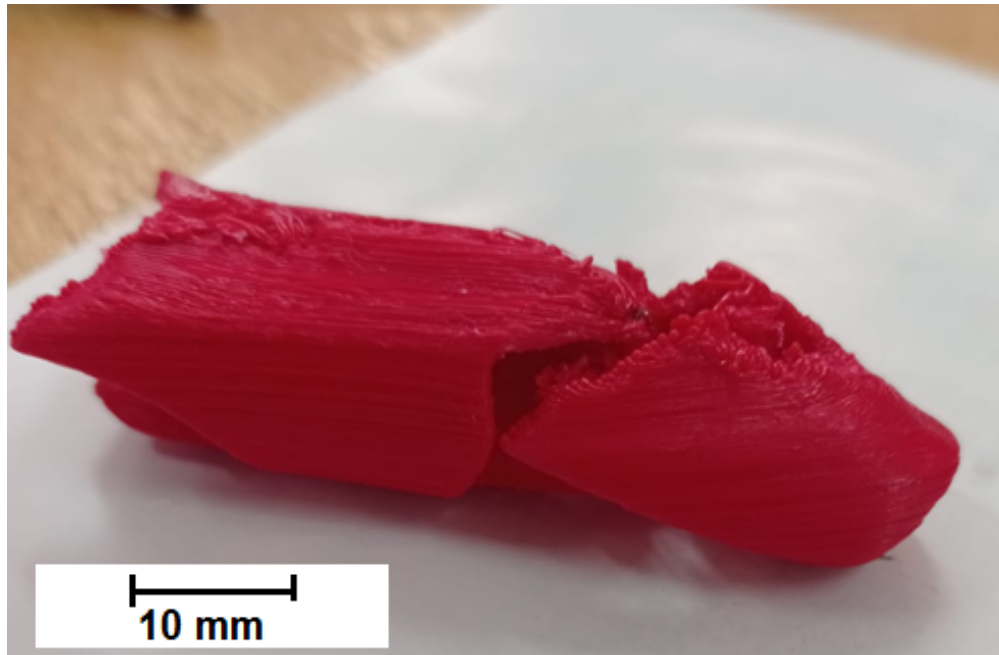
A princípio, pretendíamos cumprir os objetivos descritos anteriormente no modelo de prótese *K1 Hand*, porém, ao desenvolver as sessões de impressão, ocorreu um erro inesperado, pela razão do design do dedo ser articulado nesse modelo de prótese, os resultados obtidos não foram os esperados. Como apresentado nas figuras 4 e 5, o acabamento inconveniente se deu pela posição horizontal que ele obrigatoriamente teria de ser impresso, a quantidade de suporte a ser utilizada é extremamente elevada, e ainda assim a qualidade do componente é ruim, como pode ser comparado a seguir:

Figura 4 - Expectativa de como deveria ficar um dos dedos



Fonte: E-NABLE SISTEMAS 3D, 2015.

Figura 5 - Realidade de como ficou o dedo



Fonte: Autoria própria.

Não obstante dos resultados obtidos neste primeiro teste, estudou-se a possibilidade da mudança de um modelo de prótese mais viável, na qual fosse possível obter melhor acabamento e resistência. Assim, o novo modelo de prótese escolhido apresentava componentes separados e não-articulados, o que facilitava a impressão. O modelo recebe o nome de *Unlimbited Phoenix Hand*, um dispositivo voltado para crianças, mas cujas funções são as mesmas propostas na anterior (atender as necessidades de um ser humano).

Etapas para a realização do protótipo

Etapa 1 - Ligar a impressora e conectar no computador

1.1 O primeiro passo foi plugar a impressora na tomada e ligá-la pelo botão, após isso decorreu-se de ativar o comando “*Autotemp*” e colocar a impressora para aquecer previamente, feito isso a impressora está pronta para ser conectada ao computador.

1.2 Com o computador iniciado para a impressão por filamento o “*Repetier*” era aberto, e a cada impressão nova fazíamos o upload do respectivo arquivo, e em seguida alguns ajustes deveriam ser feitos. Referentes à posição foram ajustados modificando os eixos Y, X e Z da peça em relação ao plano de trabalho, os parâmetros de

preenchimento foram configurados como “colméia de abelha” e na espessura de 0,1 mm por camada na deposição de material. Tendo em vista que a cada modificação em um desses aspectos impactava diretamente o tempo de impressão.

1.3 Os parâmetros da impressora de filamento de temperatura da mesa e do bico extrusor são ajustados automaticamente de acordo com os parâmetros do material selecionados. As configurações de temperatura para cada tipo de filamento são variáveis, para o ABS a mesa tem que ser aquecida a 110°C e o bico a 230°C, já para o PLA a temperatura ideal da mesa é 70°C e do bico extrusor de 210°C. As demais informações de impressão como tempo de impressão, quantidade de filamento utilizado, números de camadas e linhas totais já eram fornecidos antes mesmo do início da impressão, como detalhados na tabela 4.

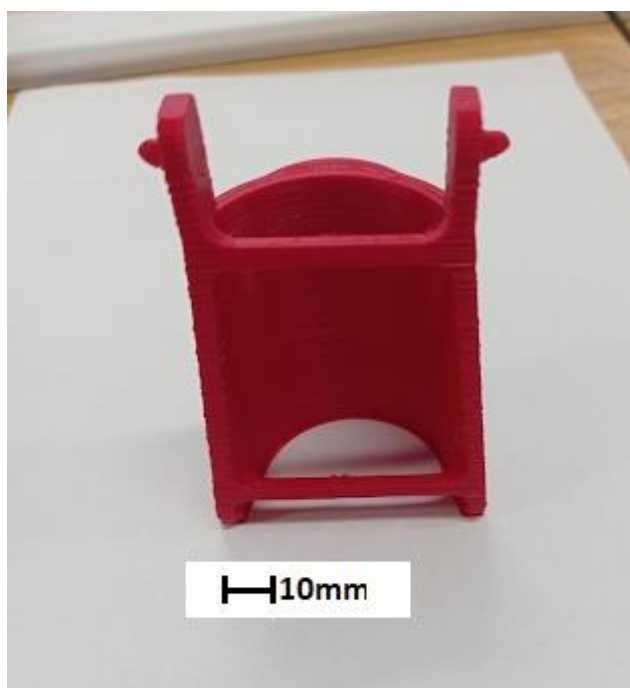
1.4 Cada arquivo submetido que continha o desenho da peça teve que ser fatiado com o “*Slicer*”, um software utilizado para visualização, análise e fatiamento de imagens e malhas 3D. Após o fatiamento, ligamos o computador à máquina e iniciamos a impressão. No entanto, algumas das sessões de impressão com a impressora de filamento apresentaram erro no intervalo entre a conclusão do aquecimento do bico e mesa e momento do início da impressão. Antes do material começar a ser depositado na área de impressão, a máquina parava e o programa no computador começava a ser reproduzido, enquanto a impressora continuava parada, para resolver esse contratempo acessamos as Configurações > Temperatura > Autotemp > On.

1.4.1 Para a impressora de resina, o software usado foi o “*RayWare*”, versão 2.8.4, e a resina “gray GRR 12414”.

Etapa 2 - Impressão e acabamento das peças

2.1 Ao finalizar a impressão de cada peça, precisamos aguardar em média 15 minutos até que a mesa atinja a temperatura de 40°C para a retirada da(s) peça(s) da superfície de impressão. Houve também a impressão de um molde em ABS, que não é um componente inserido na prótese, mas essencial na termoformagem da manopla.

Figura 6 - Molde



Fonte: Autoria própria

A figura 6 expressa a o componente que foi impresso com o intuito de ser usado como molde para curvar a manopla durante a termoformagem.

2.2 As peças recém impressas apresentam um aspecto rústico, por isso foi preciso que fizéssemos o acabamento a mão, com o auxílio de um estilete e alicate.

2.2.1 A peça que foi impressa por meio de fotopolimerização precisou de uma cura, sendo exposta a raios solares para adquirir melhor resistência.

2.3 Duas das peças foram impressas especialmente em PLA, porque necessitaram de um tratamento térmico denominado Termoformagem, o qual consistia em colocar as peças na água fervente a cerca de 90°C, para adquirir a curvatura desejada. Uma peça foi totalmente submersa no refratário de água quente e colocada sob um molde por alguns segundos, para que durante seu resfriamento sob o molde ela alcance novamente a dureza do início.

Etapa 3 - Montagem do protótipo

3.1 A primeira parte da montagem foi conectar as falanges na palma com os pinos de encaixe, mas no entanto, o design do modelo fornecia pinos que quando encaixamos ficaram frouxos, por isso o grupo de pinos precisou ser reimpresso mais de uma vez para que pudéssemos nos apropriar de pinos maiores para ligar as falanges proximais dos dedos à palma.

3.2 Em seguida com a palma ligada às falanges conectamos as pontas dos dedos, também com pinos impressos, modificados em relação aos indicados no design.

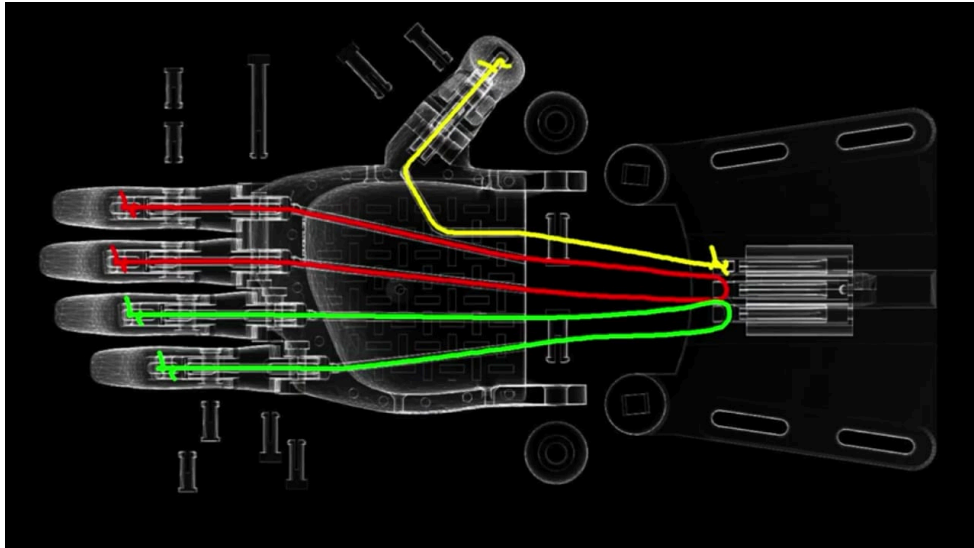
3.3 Com os dedos todos já montados por completo e conectados à palma, precisamos dar melhor fixação entre eles e mantê-los em pé. Para isso, utilizamos elásticos dentários, os quais foram posicionados nos vãos entre a palma e as falanges, e entre as falanges e as pontas dos dedos. Os elásticos possibilitaram maior mobilidade de movimentos, no qual podemos curvar os dedos manualmente com o retorno a sua posição inicial sendo automático. Durante a aplicação do elástico no dedão, entre a palma e a falange, o suporte do elástico no dedo se rompeu, e com o intuito de solucionar esse problema, reimprimimos essa peça separadamente e substituímos a danificada pela nova. Porém na hora de testar se decorreu novamente a mesma situação, então chegamos a conclusão de que aquela peça não estava preparada para resistir a grandes esforços, e mesmo que a substituíssemos novamente a complicação voltaria a ocorrer, todavia como ajuste técnico para manter o dedão em pé, posicionamos um elástico preso à palma e conectado diretamente à ponta do dedão.

3.4 Com os dedos realizando o movimento de flexão e já conectados à palma, foi feito o encaixe da manopla fixando-a com os alfinetes e as capas de pino, dando o movimento de articulação ao mecanismo. A fixação da manopla à palma não se manteve totalmente estabilizada, devido a insuficiência do tamanho do pino e das capas de pino, e como solução dessa instabilidade colamos alguns pedaços de papéis para calçar os pinos.

3.5 No intuito de proporcionar maior conforto a um eventual usuário do modelo da prótese, e devido a rigidez do material, medimos e recortamos partes da folha de E.V.A para inserir na parte inferior da manopla e na parte interna inferior da palma, já para a fixação do E.V.A foi utilizada a cola super bonder gel.

3.6 Com a prévia da mão montada era preciso passar os cordões pelos canais internos da palma e dos dedos, portanto fizemos o indicado, amarramos uma das pontas do cordão que traspassaram por dois dos dedos como indicado na figura 7.

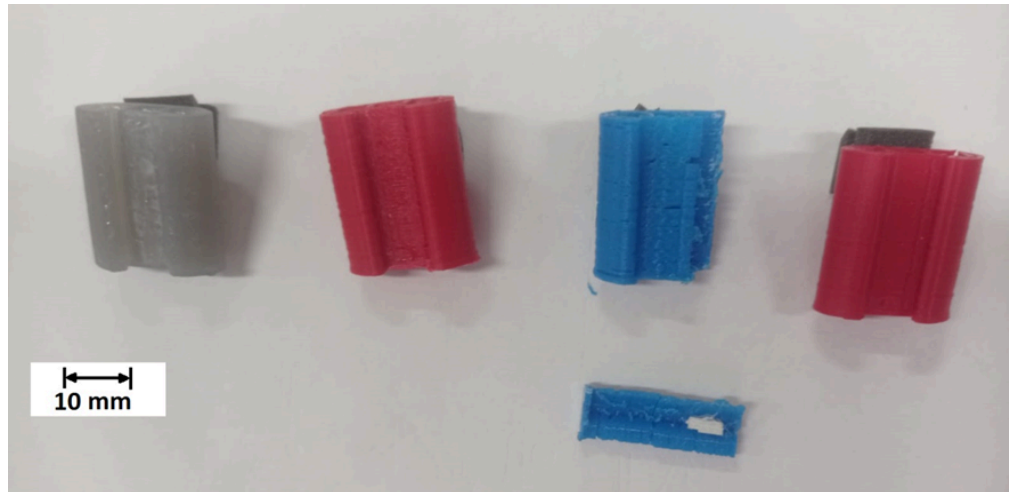
Figura 7 - Visão interna da posição dos cordões



Fonte: Youtube, 2022 <https://youtu.be/CXoVSTgzyec>

3.7 Os cordões foram previamente conectados, então encaixamos o tensor na manopla e nesse exato momento o tensor se rompeu por não aguentar a pressão do encaixe, devido ao design da peça. Diante disso, prevemos que seria necessário substituí-la por outra, por isso a imprimimos em PLA e o resultado obtido foi que a fragilidade era ainda maior em relação ao ABS, sem contar o fato de que a qualidade era muito inferior. Por isso, ao analisar o comportamento dos dois materiais, notamos que o defeito não se encontrava somente na qualidade ou no material da impressão, mas também no design da peça. No entanto, colocamos a peça para ser impressa por meio do processo de fotopolimerização e, após a conclusão e o acabamento, notamos que a resistência oferecida por essa impressão era relativamente maior que as anteriores, então anexamos essa última peça feita no protótipo.

Figura 8 - Tensores impressos em diferentes materiais

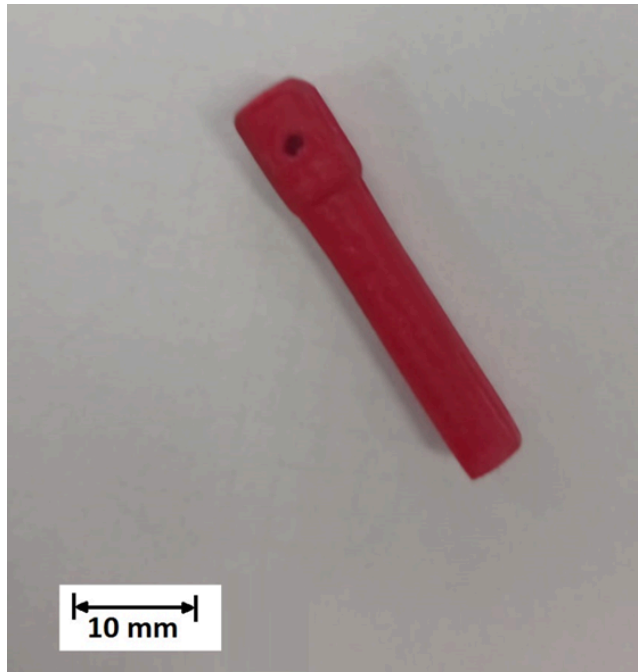


Fonte: Autoria própria.

A figura 8 retrata da esquerda para a direita os tensores: feito por fotopolimerização (cinza); tensor modificado e impresso em ABS (vermelho); tensor frágil e quebrado de PLA (azul); e tensor não modificado ABS (vermelho).

3.8 Dando seguimento, passamos os cordões nos pinos tensores, encaixamos no tensor e amarramos os dedos restantes, porém ao iniciar dos testes, notamos que os pinos tensores romperam na parte em que se utiliza para segurar os cordões, em virtude disso foi possível perceber que a falha se encontrava no design da prótese e que seria preciso modificar a peça e estreitar o vão pelo qual passava os tendões. Usando então o software “*Siemens NX*” versão 8.5 o vão foi reduzido ao máximo possível, a peça modificada foi impressa e ao final, uma broca de 1,0 mm perfurou com exatidão o espaço necessário para a passagem do fio.

Figura 9 - Pino tensor modificado e com furo passante



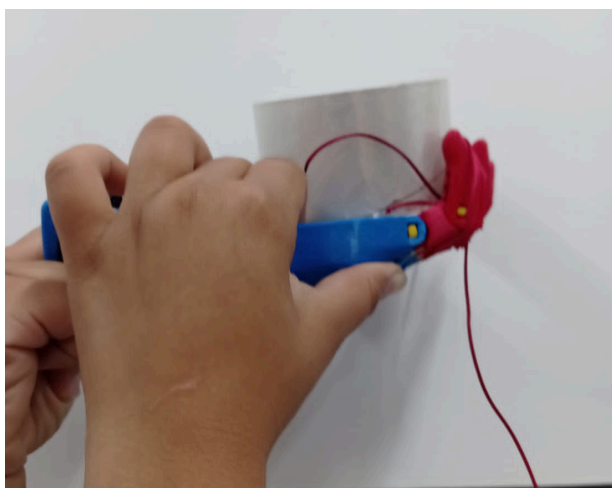
Fonte. Autoria própria

3.9 Por conseguinte, fixamos os parafusos com auxílio da chave phillips, conectando os pinos tensores com o tensor. Seguimos terminando de passar os cordões e amarrando-os nos espaços que faltavam definitivamente. Os cordões foram inseridos e transpassados no interior da prótese com auxílio de arames finos e agulhas.

3.10 Com o objetivo de finalizar a montagem do protótipo, foi inserido o velcro nos espaços da manopla, o qual tem a intenção de ajudar a fixar e se adaptar ao braço do paciente.

3.11 Com o protótipo concluído, efetuamos os testes iniciais consistentes em levantar itens com massas diferentes, representados nas imagens 9, 10 e 11, mas no momento em que tentamos levantar um vasilhame vazio de plástico infelizmente a parte inferior da palma veio a se romper, sendo necessário fixá-la novamente com o auxílio das folhas de E.V.A. Tendo a parte prática concluída, nos foi permitido obter a medida dos componentes descritos na tabela 3 e fazer as análises.

Figura 10 - Primeiro teste realizado com uma fita durex (50g)



Fonte: Autoria própria.

Figura 11 - Teste da prótese com a garrafa vazia (85g)



Fonte: Autoria própria.

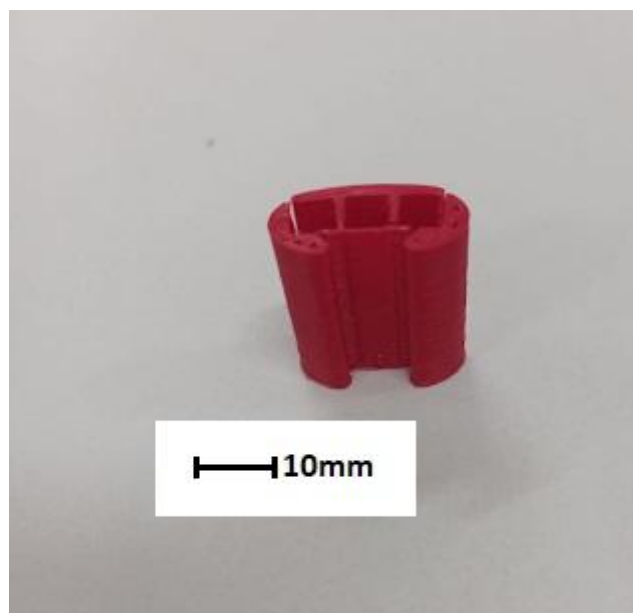
Figura 12 - Teste da prótese com um estojo (415g)



Fonte: Autoria própria.

A seguir estão representadas as imagens de cada componente com seus respectivos nomes e funções:

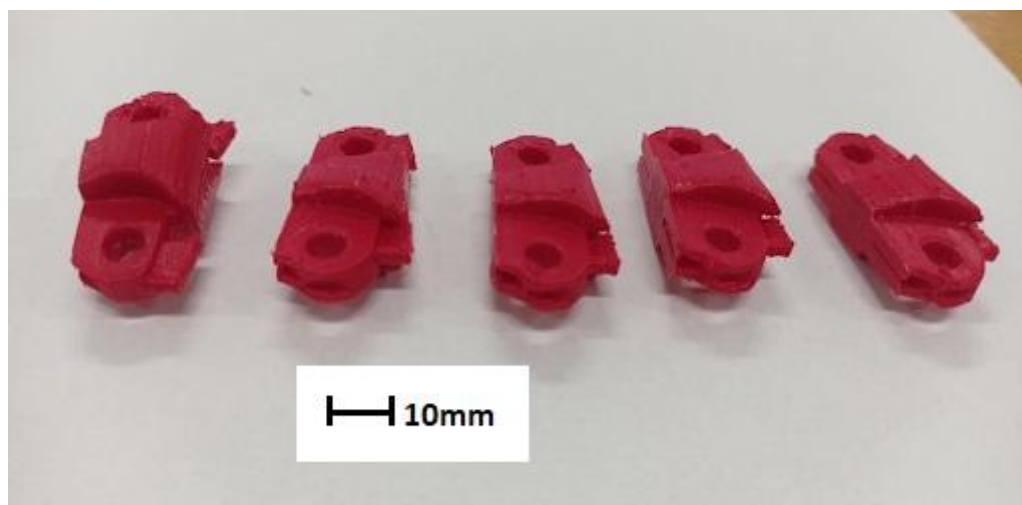
Figura 13 - Tensor



Fonte: Autoria própria.

A figura 13 representa o tensor que é fixado na manopla, no qual são inseridos os pinos tensores e os parafusos.

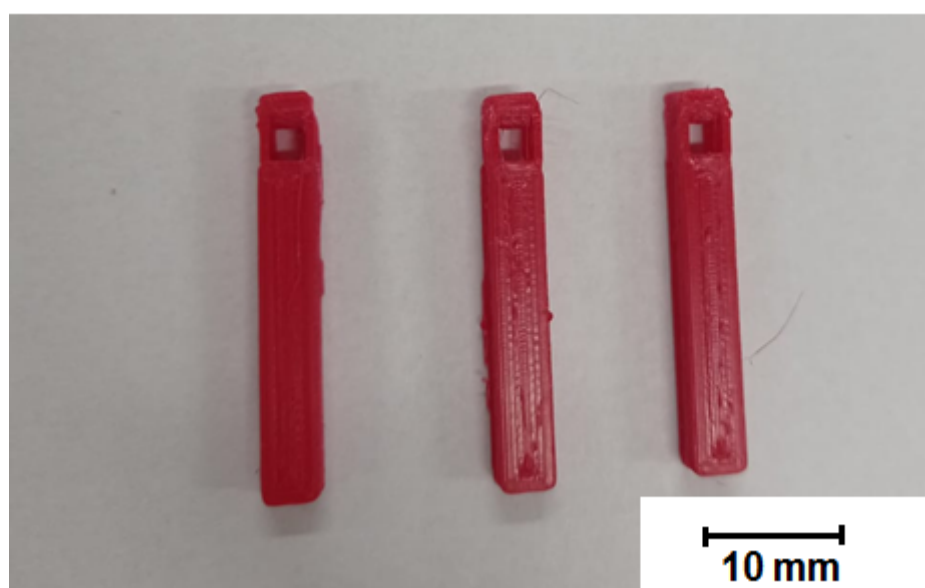
Figura 14 - Grupo de falanges



Fonte: Autoria própria.

A figura 14 apresenta as falanges, as quais se encontram presas entre a palma e as pontas dos dedos, e pela qual os tendões transpassam.

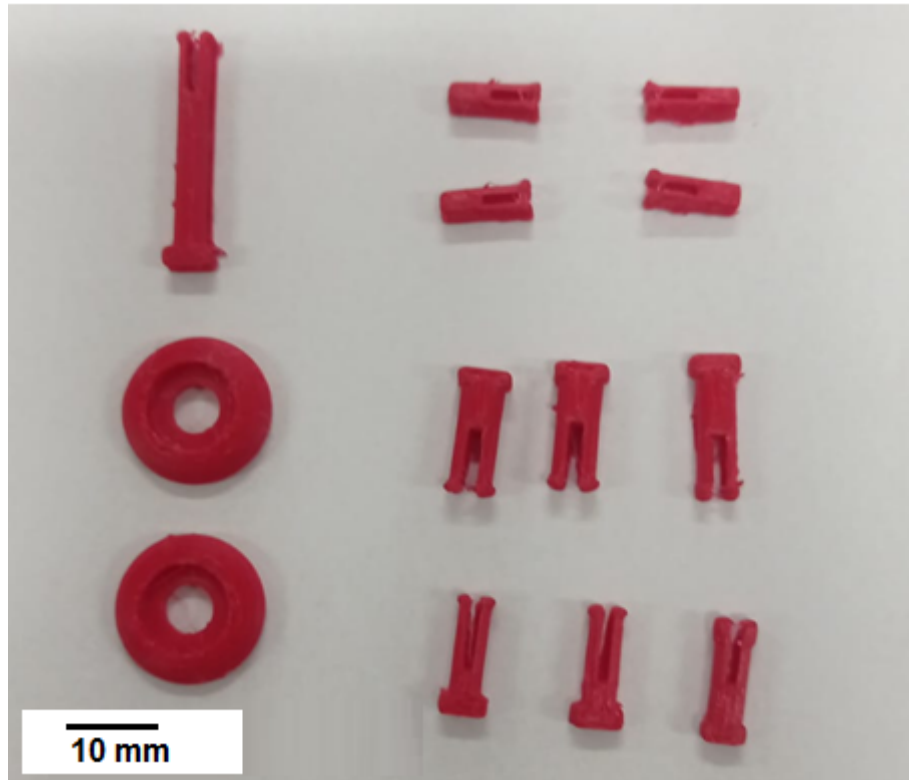
Figura 15 - Pinos tensores



Fonte: Autoria própria.

Na figura 15 estão os pinos tensores, os quais se fixam no tensor através dos parafusos, e no seu furo superior são traspassados os tendões que se prendem nos dedos.

Figura 16 - Grupo de pinos



Fonte: Autoria própria.

A figura 16 retrata os pinos, cuja função é: fixar a manopla na palma e transmitir o movimento, fixar uma ponta das falanges na palma e a outra nas pontas dos dedos

Figura 17 - Manopla

Item A - Manopla antes da termoformagem impressa em ABS



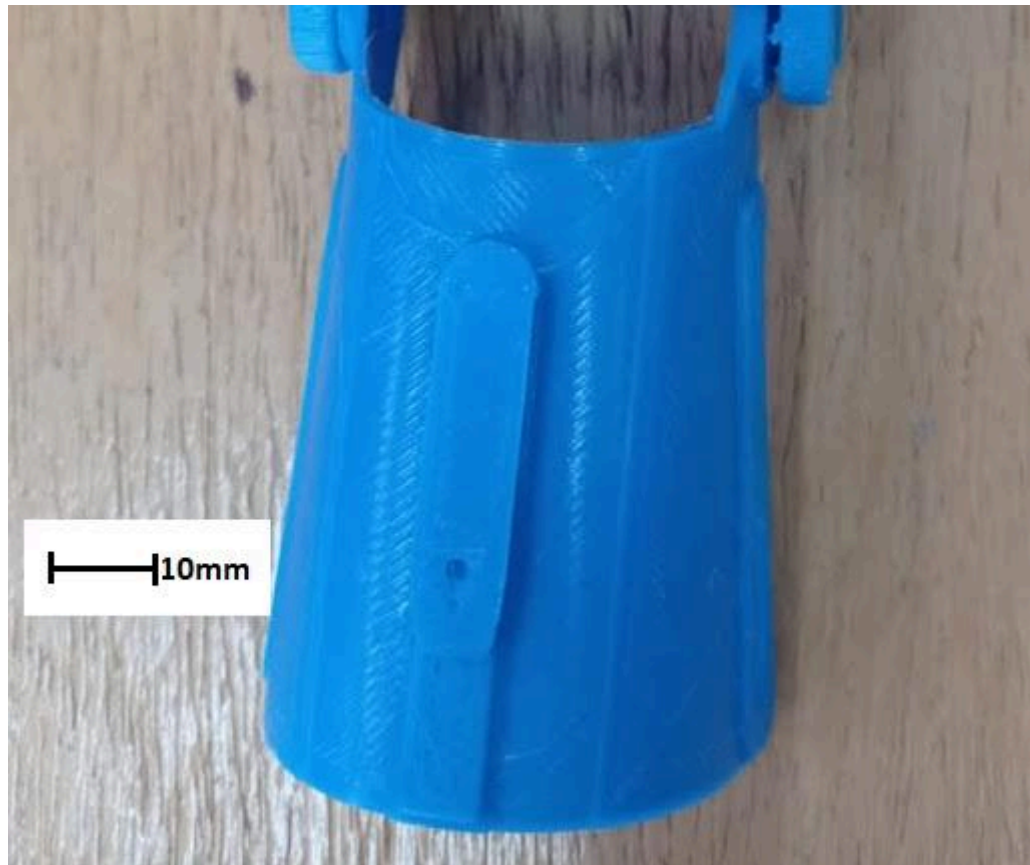
Fonte: Aatoria própria.

Item B - Manopla antes da termoformagem impressa em PLA



Fonte: Aatoria própria.

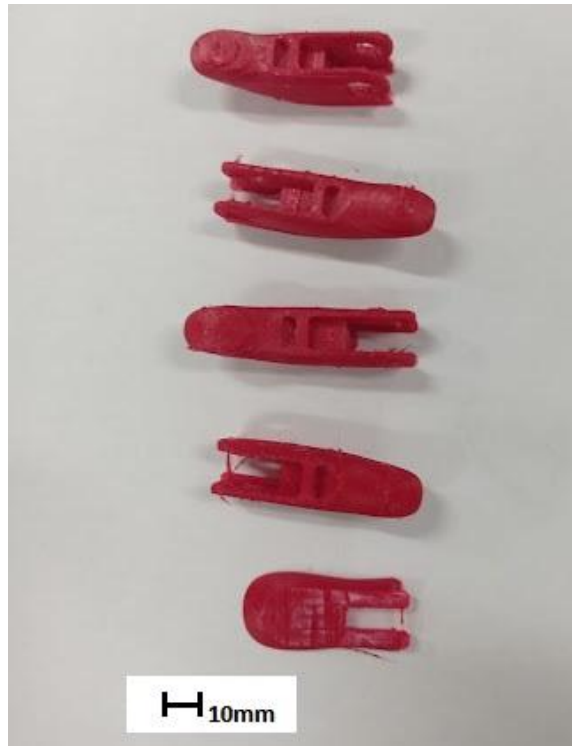
Item C - Manopla depois da termoformagem impressa em PLA



Fonte: Autoria própria.

Representada na figura 17, a manopla tem a função de puxar os cordões presos no tensor encaixado à manopla, ao fazê-lo, os dedos se fecham, dando a mão o movimento de pinça.

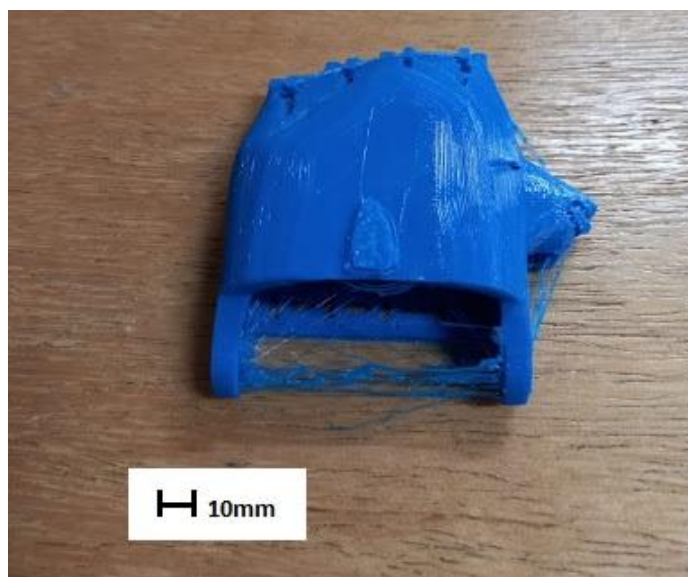
Figura 18 - Grupo de dedos



Fonte: Autoria própria.

Na figura 18 estão as pontas dos dedos e o polegar que foi mal sucedido e reimpresso individualmente posteriormente. Nas pontas dos dedos são amarrados os tendões, que ao serem esticados, puxam os dedos internamente em direção a palma.

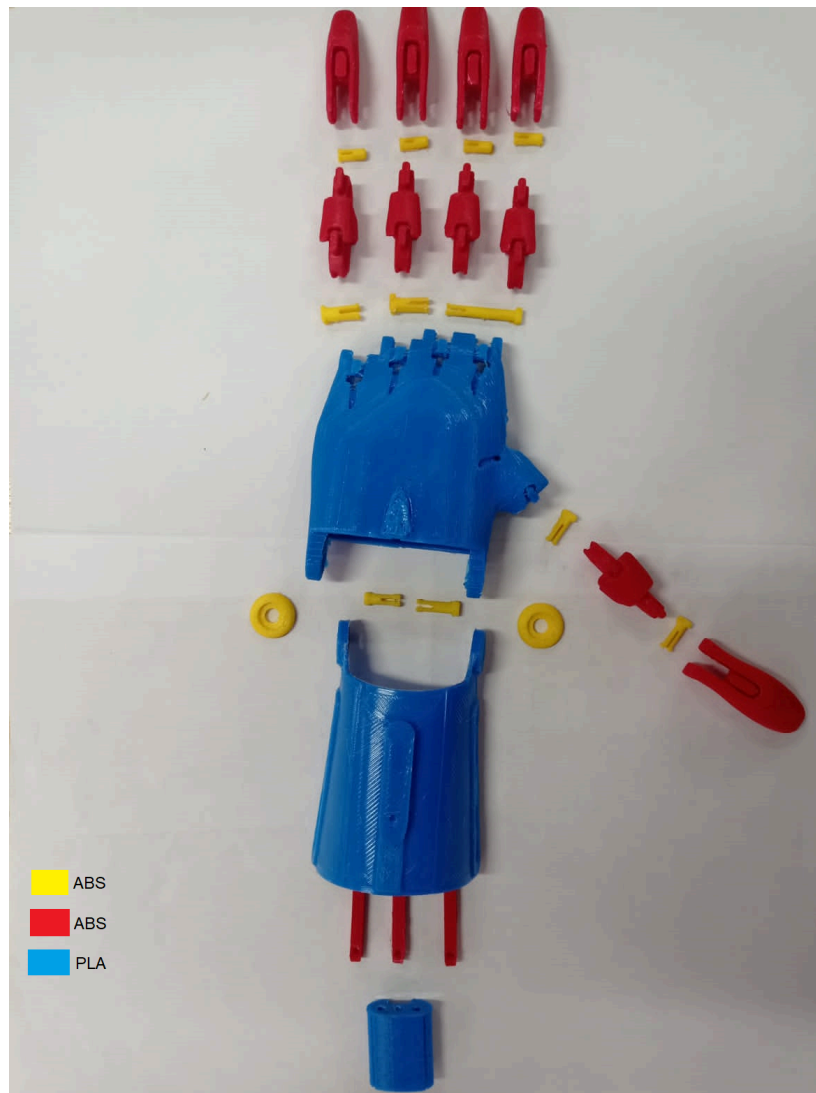
Figura 19 - Palma



Fonte: Autoria própria.

Na figura 19 está expressa a palma da prótese, que é onde se fixa a manopla, e as falanges dos dedos. Os tendões, quando presos aos pinos tensores, passam nos furos internos da palma antes de chegarem nos dedos e serem amarrados.

Figura 20 - Componentes finais da prótese pré posicionados para a montagem



Fonte: Autoria própria.

A figura 20 é uma prévia de como se constitui a localização dos componentes, para a montagem completa, segue o link de acesso a pasta com o vídeo passo a passo - <https://drive.google.com/drive/folders/1cPa7ApLys9HGYy6uyIyszodGEHmC4zXv?usp=sharing>

Tabela 3 - Dimensões finais dos componentes impressos da *Unlimbited Phoenix Hand*

Componente	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)
Alfinetes de articulação curta	03,42	05,84	04,42	-
Alfinetes de dedo	09,84	03,34	03,32	-
Alfinetes de pulso	13,60	6,80	4,35	-
Capas de pinos de pulso	-	-	-	16,20
Falanges proximais dos dedos	34,20	15,04	17,05	-
Junta Longa/Alfinete	21,50	03,62	03,30	-
Manopla	87,35	60,45	33,70	5,20
Molde	87,06	54,04	87,06	-
Palma	90,15	80,90	32,30	4,90
Pinos:				
articulação do polegar	13,05	4,75	3,40	-
ponta do polegar	16,60	5,35	3,30	-
tensores	29,42	04,52	04,30	-
Polegar falange	34,95	15,95	15,00	-
Tensor	28,00	23,34	35,95	-
Pontas:				
curta do dedo	39,90	11,45	15,05	-
polegar	43,65	15,80	15,20	-
longa do dedo	44,00	11,40	16,30	-

Durante o processo de produção, outro resultado obtido é a relação da programação do software e parâmetros de impressão de cada peça na impressora de filamento. Notou-se que cada aspecto que era modificado impactava significativamente no tempo de impressão. Como descrito na tabela 4, o item de impressão em menor tempo foram os pinos tensores (18 min), e o de maior tempo, a palma (7h:50min:5s), evidenciando o fato de que quanto maior for a complexidade do componente, maior será o tempo de impressão. A partir de uma análise rápida, foi percebido que qualidade de

acabamento e tempo de impressão são itens diretamente proporcionais, já que quanto maior for a demora da impressão, melhor será o acabamento.

Tabela 4 - Características de Impressão dos grupos e componentes

Componentes	Tempo de impressão	Número de camadas	Qtd. de material usado (mm)
Grupo de dedos	2h: 56m:12s	104	5512
Grupo de falanges	2h: 45m: 39s	85	5062
Grupo de pinos	38m: 21s	28	1049
Manopla	41m : 52s	24	5333
Molde	5h: 28m: 25s	587	9915
Palma	7h : 50m : 5s	194	15093
Pinos Tensores	18m	15	1532
Tensor	60m	100 mc	5 ml

O funcionamento da prótese tem como princípio o conceito de mecânica, característica por movimentos mais simples como abrir e fechar a mão em formato de pinça. A *Unlimbited Phoenix Hand* funciona a partir de tendões: o primeiro é inicialmente amarrado na ponta do dedo mindinho então, transpassa-o seguindo para o pino tensor de uma extremidade fixo ao tensor (que está preso à manopla) por um parafuso, e a outra ponta do cordão é transpassada no dedo anelar e é amarrada em sua ponta. Assim sucessivamente acontece com o dedo médio e o indicador, após o mesmo processo é feito com o dedão, no entanto a outra ponta do cordão é amarrada ao pino tensor da outra extremidade. Então sua ativação ocorre a partir do movimento de flexão da manopla, que quando arqueada, puxa os cordões presos aos pinos e aos dedos, obrigando os dedos a se fecharem, como descrito no vídeo (<https://youtube.com/shorts/twxUX8gdmTs?feature=share>).

Devido a falta de recursos, só foi possível imprimir um componente do protótipo em resina polimérica, mas ainda assim foi possível comparar as duas técnicas e os materiais empregados nele. Verificou-se que os materiais se desempenham de forma diferente. O ABS, apesar de funcional, não apresenta boa flexibilidade quando submetido ao calor, diferente do PLA, que é mais indicado para produzir peças que necessitem posteriormente de uma termoformagem. Já as peças geradas em resina polimérica necessitam de um tratamento de cura, que consiste em submeter a peça ao calor, em uma estufa ou expô-la a raios solares para que adquira maior resistência a esforços. Além disso verificou-se durante o processo, que a toxicidade da resina causa danos à pele, tendo como consequência do seu contato direto alergias intensas, por isso, ao manusear essa resina, é necessário ter todo um cuidado e usar luvas cirúrgicas de látex.

A conexão da impressora de filamento com o computador se deu por meio do cabo para impressora, conectado ao computador aberto no *Repetier*, algumas impressões foram realizadas pelo cartão SD inserido na impressora. Na impressão por resina polimérica, a conexão do computador à máquina foi via wi-fi.

Durante o processo de teste da diligência do protótipo, foi possível notar que a resistência mecânica da peça impressa por resina foi duas vezes melhor que a de filamento, o tensor feito em resina em nenhum momento ofereceu baixa resistividade, estalos, indícios de ruptura ou afrouxamento no suporte que a mantém presa na manopla. Diferentemente, as peças produzidas em filamento, apresentaram a todo tempo indícios de que são frágeis, (principalmente o tensor e os pinos tensores, os quais apresentaram maior suscetibilidade à tensão) e que não resistem a esforços, inclusive a maioria das peças feitas em filamento tiveram de ser reimpressas por conta de rupturas inesperadas quando submetidas a esforços mais intensos. Ainda assim, o filamento de PLA apresentou maior resistência em relação ao ABS, como foi possível notar na impressão da palma, que teve que ser impressa em PLA devido a termoformagem, e percebeu-se esse material mais resistente, porém com acabamento deteriorado.

Quanto ao acabamento, foi possível perceber que novamente a impressão por fotopolimerização se sobressai à do filamento. A precisão de detalhes na impressão por resina é notável, tendo em vista que é possível reproduzir com exatidão pequenos filetes, eventuais textos escritos sobre as peças mesmo que pequenas, furos etc, tendo um acabamento prático e feito com o auxílio de um alicate pelo operador, tornando a estética perfeita. O modo de produção por ambos os filamentos, porém, apresentaram

baixo desempenho ao simular furos e cavidades, refletindo o complexo modo de fazer o acabamento com um estilete, algumas peças permaneceram ainda com rebarbas mesmo depois de fazermos o acabamento, a estética tem uma característica que a deteriora, que são as aparições de linhas e movimentos realizados pela impressão.

Relacionado a montagem, o grupo se deparou com algumas dificuldades mesmo após todas as peças impressas. Na montagem, o maior obstáculo com qual nos deparamos foi o de manter os tendões nos pinos tensores, pois a qualidade de impressão não é tão boa, e o furo passante pelo qual se passava os cordões era muito aberto, sendo assim, quando testamos a prótese, os pinos tensores não resistiram a força causada pelos tendões e se romperam. Para resolução do problema, o arquivo da peça teve que ser modificado, reduzindo o furo e deixando somente o diâmetro necessário para a passagem dos cordões, como mostra a figura 8. Outra grande dificuldade que lidamos, foi a qualidade de impressão das pontas dos dedos, quando impressos em conjunto, o furo destinado a passar os pinos de fixação ficava muito largo e cheio de rebarbas, a realização do acabamento com o estilete implicava no alargamento ainda mais do furo, e como consequência os buracos ficaram muito largos, e os pinos fixadores eram muito pequenos e passavam direto pelos furos. Como proposta de resolução dessa instabilidade, nós separamos cada dedo, em arquivos diferentes e salvamos o código G de cada um no cartão SD e imprimimos separadamente, fazendo isso foi possível notar que o tempo de impressão diminuiu significativamente, e os furos obtiveram um acabamento menos conflituoso e os pinos fixadores se encaixaram sem dificuldade de se manterem lá. Concluimos portanto que a maior dificuldade encontrada na montagem foi utilizar as peças sem elas se quebrarem, obstáculos esses que se davam por dois motivos:

1. O design dos arquivos da E-nable: A instituição na qual retiramos os arquivos open source é uma fundação não-governamental, e seus princípios se baseiam em uma espécie de ONG, cujo o intuito é ajudar pessoas que não tem os membros superiores a terem uma maior produtividade. Por isso, o design dos modelos não são tão precisos, e apresentam instabilidade;
2. A imprecisão da impressão: A maior parte dos componentes foi impressa por meio de filamento, e esse tipo de impressão feito em camadas, é impreciso e não apresenta muita qualidade no acabamento e nem na

resistência, mesmo funcional, o protótipo não deve ser exposto a esforços intensos.

Por esse motivos, diversas peças tiveram de ser impressas mais de uma vez e em diferentes materiais como notável na tabela 5, para que fosse possível analisar as características dos diferentes materiais.

Tabela 5 - Quantidades de peças impressas em diferentes materiais

Componentes	ABS	PLA	Resina	Total
Grupo de dedos	2	-	-	2
Grupo de falanges	1	-	-	1
Grupo de pinos	2	-	-	2
Manopla	1	1	-	2
Molde	1	-	-	1
Palma	-	1	-	1
Pinos Tensores	3	1	-	4
Tensor	3	1	1	5

Discussão

Através dos resultados obtidos no nosso trabalho, percebemos uma certa facilidade em relação a montagem e desmontagem da prótese “Unlimbited Phoenix Hand”, a qual se relaciona com o modelo “Raptor Reloaded” presente no artigo do Ferreira (2016), já que como visto em seu trabalho, é possível afirmar que o modelo escolhido por ele também apresenta uma rápida montagem e desmontagem.

No processo de análise do protótipo, também foi possível notar a questão estética contrária ao modelo do artigo, sendo que a prótese escolhida neste presente trabalho não houve preocupação com a ocultação de seus fios e demais itens expostos, entrando em dessemelhança com o arquivo analisado. Além disso, outra contradição entre artigos seria os filamentos flexíveis com uma melhor aderência aos objetos em geral, uma vez que somente o trabalho acadêmico de Ferreira tenha atendido essa questão.

Levando em consideração a prótese deste referido trabalho, observa-se que seu mecanismo de funcionamento é limitado em comparação com o modelo selecionado por Salmazo (2017), tendo em vista que em sua iniciação científica a prótese desenvolvida em questão, pode realizar movimentos dos dedos independentes uns dos outros, enquanto no modelo escolhido para este trabalho os dedos realizam somente movimentos coletivos, o que implica na liberdade de movimento. Ademais, a facilidade com que o dedo se contrai quando se fecha a prótese é muito mais prático e exige menos força do que o modelo “*Unlimbited Phoenix Hand*”, pois no artigo em questão, há chanfros entre as falanges para proporcionar um movimento mais liso ao fechar e abrir a prótese

A partir dessas análises foi possível concluir que perante aos artigos referenciados, nosso protótipo é inconveniente pelos aspectos: a articulação individual dos dedos não é suscetível em nosso projeto, uma vez que ao realizar o movimento da manopla, os dedos se fecham todos de uma vez em um movimento coletivo. Além disso, o movimento é restrito, levando em consideração que ao consolidar os dedos, eles não se fecham completamente e permanecem com certa inflexibilidade.

Conclusão

Mediante os resultados obtidos, concluímos que a prótese é sim viável, desde que não seja exposta a esforços exuberantes, pois a sua resistência mecânica é baixa. No entanto, o método de produção da prótese é intuitivo e muito pertinente, pois proporciona excelente custo-benefício e multifuncionalidade ao usuário, contudo, alguns arquivos do fornecedor E-nable, se modificados, proporcionarão uma vida útil ao protótipo mais extensa.

Os filamentos utilizados também são factíveis, o Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS) oferece versatilidade, é barato e depois de utilizado para impressão, tem boa resistência a temperaturas (até os 108,8°C). O Poliacido Láctico (PLA), por sua vez, é um polímero barato e abundante, além de maleável e reciclável, sua indicação para o uso de próteses e aplicações ortopédicas se dá pela sua característica de biocompatibilidade. A resina líquida também não está isenta de seus benefícios, pois uma vez rígida, a superfície se torna extremamente resistente a riscos e impactos e após o processo de cura, ela se torna muito mais resistente e durável.

As duas técnicas foram comparadas e é nítido o quanto a técnica de fotopolimerização se sobressai em relação à de filamento, apesar de possuir um custo um pouco maior seu acabamento é excelente, assim como sua dureza. Caso o protótipo fosse totalmente impresso por essa técnica, o mesmo teria um melhor acabamento e resistibilidade, assim como a sua funcionalidade iria aumentar significativamente, diferente da amostra produzida totalmente em filamento, que apesar de apresentar certa resistência, não pode ser exposta a forças intensificadas.

Caso fossemos dar continuidade ao projeto, o próximo passo seria imprimir todas as peças em resina, e montar um protótipo todo em resina polimérica, e também imprimir corpos de prova em ABS, PLA e Resina polimérica, e fazer um teste de ensaio de tração, para testar a partir de gráficos a resistência. E se tornássemos a realizar novamente esse projeto, seria apresentado como alternativa de melhoria a projetos futuros, a modificação dos arquivos 3D originais da prótese, resultando na melhoria do design, e proporcionando às peças melhor acabamento e resistência, já que poderíamos aumentar superfícies muito finas, melhorar furos desproporcionais e efetuar outras mudanças que achássemos relevantes e benéficas ao projeto.

REFERÊNCIAS

ALVES, Frederyk Antunnes de Sousa. **Protótipo de prótese robótica de punho e mão utilizando arduino**. 2018. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Sistemas de Informação) – Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Serra Talhada, 2018.

BOAVENTURA, Jefferson Rhenan Rodrigues et al. **Contribuição da engenharia para odontologia: estudos das propriedades mecânicas dos biomateriais**. Revista Anápolis digital, v. 8, n. 1, 2019.

CARVALHO, José André. **Amputações de Membros Inferiores: Em busca da Plena Reabilitação**. Editora Mnole, 2 ed., Brasil, 2003.

CARVALHO, Isabel Maria Marques. **Proposta de Kits destinados à melhoria da qualidade de vida do usuário de próteses de membro inferior**. 2014. 74 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Desenho Industrial)—Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

DAVIDSON, C.; SANTORELLI, M. **The impact of broad band on people with disabilities**. Washington: United States Chamber of Commerce, 2009.

FERREIRA, Daniel. **Desenvolvimento de prótese para Amputação Trans-radial do Membro Superior**. Produção de Baixo Custo por Impressão 3D. 2016.

JUNIOR, Ednaldo Alves et al. **Prótese mioelétrica para membro superior**. 100 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade São Francisco, Campinas, SP, 2016.

MACHADO, Afonso Antônio et al. **O corpo, o desenvolvimento humano e as tecnologias**. Motriz, Rio Claro, v.17 n.4, p.728-737, out./dez. 2011

MILANI, Sonia Denise. **Mudanças afetivas decorrentes da amputação de um membro corporal**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Psicologia) - Universidade Alto Vale do Rio do Peixe - UNIARP, 2020.

MORAES, Adrielle Nazar. **Desenvolvimento de uma plataforma multimodal para treinamento de próteses de membro superior**. 2018. 43 f. Trabalho de Conclusão de

Curso (Graduação em Engenharia Biomédica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

MORENO, Ana Luiza. **Estudo e desenvolvimento de uma prótese de mão mioelétrica.** Dissertação (Bacharelado - Engenharia Elétrica) - Bacharelado em Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, 2021.

PAIVA, Luciana Laureano. **Corpos amputados e suas próteses: a intervenção técnica (re)inventando formas de ser e de habitar o corpo na contemporaneidade.** Dissertação (Mestrado em Ciências do Movimento Humano) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, 2004.

RODRIGUES, Luciano Brito. **Aplicações de biomateriais em ortopedia.** vol. 9, n. 2, p. 63-76. Estudos Tecnológicos em Engenharia - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2013.

ROTTA, Ivana et al. A importância do desenvolvimento do cluster de próteses ortopédicas na região de Rio Claro–SP. **Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção**, Ponta Grossa, PR, Brasil, 03 a 05 de Dez. de 2014.

SALMAZO, João Victor. **Desenvolvimento de prótese de mão e punho através de prototipagem 3d.** Faculdade de Engenharia Industrial (FEI), 2017.

SCHMIDEK, Werner Robert et al. **Evolução do sistema nervoso, especialização hemisférica e plasticidade cerebral: um caminho ainda a ser percorrido.** Revista Pensamento Biocêntrico, v. 10, p. 181-204, 2008.

SOUZA Adriano et al. **Engenharia Integrada por computador e sistemas CAD/CAM/CNC: princípios e aplicações.** 2º Edição. Editora Artliber. Out. de 2013.

VOLPATO, Neri. **Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D.** Editora Blucher, 2017. Acesso em: 10 jun 2022.