

Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”

Faculdade de Artes, Arquitetura e Comunicação

prosteasy

Design de Prótese Mecânica Utilizando
Tecnologias de Prototipagem Rápida

Letícia Alcará da Silva

Trabalho de Conclusão de Curso
Bacharelado em Design de Produto

2017

Letícia Alcará da Silva

prosteasy

Design de Prótese Mecânica Utilizando
Tecnologias de Prototipagem Rápida

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Design, da Universidade Estadual
Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
como requisito parcial à obtenção
do título de Bacharel em Design.

Orientador: Prof. Dr. Fausto Orsi
Medola

Bauru
2017

RESUMO

O projeto consiste no desenvolvimento de uma prótese transradial mecânica para uma criança com base em uma abordagem interdisciplinar, combinando user-centered design, engenharia de reabilitação e tecnologias de prototipagem rápida (PR). O processo de design foi apresentado em algumas etapas: análise do método convencional de confecção de próteses; características e expectativas do usuário; produção de similar; design e produção de protótipos; e testes de usabilidade com o usuário. O uso de tecnologias de prototipagem rápida permitiu uma manufatura de peças sob medida e personalizadas de maneira mais rápida e precisa do que os métodos convencionais, tornando-se mais adequado para o desenvolvimento de próteses sob medida para cada paciente. Além disso, foi desenvolvido um aplicativo que permite o usuário criar e personalizar sua própria prótese, sem a necessidade de um conhecimento prévio de modelagem tridimensional virtual.

Palavras-chave: Design, Design centrado no usuário, Prototipagem Rápida, Prótese, Tecnologia Assistiva

ABSTRACT

This project elaborates on the development of an young girl's transradial mechanical prosthesis based on an interdisciplinary approach combining user-centered design, rehabilitation engineering, and rapid prototyping (RP) technologies. The design process was presented in a few stages: analysis of the conventional method of making prostheses; characteristics and expectations; production of existing prosthesis for comparison testing; design and production of prototypes; usability tests with the user. The use of rapid prototyping technology allowed a tailor-made manufacture of customized parts in a faster and more precise way than conventional methods, making them more suitable for the personalized development of prostheses for each patient. In addition, an application was developed that allows the user to create and customize their own prosthesis without the need for prior knowledge of virtual three-dimensional modeling.

Keywords: Design, User-centered design, Rapid Prototyping, Prosthesis, Assistive Technology

MOTIVAÇÃO

Optei pelo curso de Design porque temos a oportunidade de projetar qualquer coisa, sendo muito interdisciplinar. Automóveis, aplicativos, mobiliário, embalagens, ilustração, moda, editorial... As possibilidades são infinitas para um designer, o que é ótimo, porém acaba complicando a escolha de que rumo seguir.

No segundo ano de faculdade, ingressei no Centro Avançado de Desenvolvimento de Produtos (CADEP), onde participei do desenvolvimento de muitos projetos interdisciplinares envolvendo prototipagem rápida. Dentre meus projetos favoritos, a reconstrução do bico de um tucano que havia sido danificado por um tiro de arma, em parceria com o Zoológico de Bauru, e o desenvolvimento de implantes craniofaciais personalizados, em parceria com a Faculdade de Medicina da UNESP. Durante esse período, pude crescer muito como pessoa e profissional, devido ao laboratório funcionar como uma empresa e a responsabilidade que temos lidando com os clientes e com as tarefas do dia a dia.

No entanto, eu ainda sentia que precisava de algo mais. Me inscrevi no programa Ciências sem Fronteiras e no meu quarto ano de universidade, realizei um intercâmbio na *University of Illinois at Chicago*. Aproveitei ao máximo, cursando aulas que

não temos na grade da UNESP, como Desenvolvimento Interdisciplinar de Produtos, onde alunos de diferentes cursos se juntam para desenvolver um produto na área médica, e a aula de Empreendedorismo, onde desenvolvi meu primeiro produto lançado no mercado pela plataforma online de *crowdfunding* Kickstarter.

Além disso, no verão, pude realizar estágio no Shedd Aquarium, um dos maiores aquários indoor do mundo. Lá, trabalhei junto aos biólogos, aquaristas, designers e veterinários, no desenvolvimento de uma prótese de perna para um lagarto Caiman, nomeado Hiss Majesty. Durante esse período, pesquisei muito sobre próteses superiores e inferiores humanas envolvendo impressão tridimensional, para tentar aplicar esse conhecimento na prótese para o Hiss.

Eu tinha uma certa ideia de desenvolver uma prótese como projeto de conclusão de curso, e depois de realizar intensas pesquisas, tive certeza. Contatei o professor Osmar expondo minhas ideias de

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO

2 OBJETIVOS

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Tecnologia assistiva: prótese

- Prótese estética/passiva
- Prótese endoenergética ou mecânica
- Prótese de propulsão exoenergética ou artificial
- Prótese híbrida

Componentes das próteses funcionais de membros superiores

Prototipagem rápida

- Processos baseados em líquido
- Processos baseados em sólido
- Processos baseados em pó
- Comparação entre os métodos de prototipagem rápida

Impressão 3D aplicada na área médica

- Impressão 3d aplicada na manufatura de próteses

Robohand
e-NABLE
Mao3D

- Similares - próteses transradiais *open source*

The Unlimbited Arm 2.0 - Alfie Edition
The Unlimbited Arm 1.7 - Isabella Edition
RIT Arm

- Resumo da análise de similares

4 PROJETO

Análise do método convencional de confecção de próteses de membro superior

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a *World Health Organization* (2017), mais de um bilhão de pessoas no mundo vivenciam deficiências de diferentes tipos e graus. No Brasil, Segundo a Cartilha do Censo 2010 – Pessoas com Deficiência (IBGE, 2010), 23,9% possuíam pelo menos uma das deficiências investigadas: visual, auditiva, motora e mental ou intelectual. Geralmente essas pessoas apresentam uma saúde frágil, educação inferior, poucas oportunidades econômicas e elevadas taxas de pobreza. Em grande parte, isso ocorre devido às barreiras enfrentadas no dia-a-dia, e não devido à deficiência. A deficiência não é apenas um problema de saúde pública, mas também uma questão de direitos humanos e desenvolvimento.

A maioria dessas pessoas necessita de um ou mais produtos assistivos. Com o envelhecimento das populações e o aumento de doenças não-transmissíveis, espera-se que este número aumente para mais de dois bilhões até 2050 (*World Health Organization*, 2017). Atualmente, apenas uma em cada dez pessoas tem acesso à tecnologia assistiva. A grande maioria dessas pessoas pode permanecer livre de deformidades ou ser restabelecida em suas funções na sociedade

se for provida com próteses/aparelhos ortopédicos apropriados.

Com os serviços de reabilitação adequados, a maioria dos amputados pode caminhar normalmente, correr, pular, praticar esportes, realizar todas as atividades da vida diária, reintegrando-se completamente na sociedade a partir da qual eles foram temporariamente proibidos por acidente ou doença. Apesar da evolução tecnológica atual, uma reprodução perfeita de um membro e suas funções ainda não foi possível, especialmente quando se refere a próteses para amputações de membros superiores.

Temos visto muitos investimentos em pesquisa e desenvolvimento tecnológico, melhorando os componentes das próteses, especialmente mãos e joelhos. A própria montagem deixa de ser feita à mão, abrindo espaço para a aplicação de novas tecnologias, como a prototipagem rápida, agilizando os processos de desenvolvimento e manufatura, reduzindo assim os custos finais do produto. Sendo assim, este trabalho buscou explorar as potencialidades do uso de tecnologias de prototipagem rápida aplicada ao processo de desenvolvimento de tecnologias assistivas.

2 OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho foi desenvolver uma prótese de membro superior a partir de um processo de design colaborativo e interdisciplinar associando tecnologias de prototipagem rápida e *user-centered design* ao processo de reabilitação. Ainda, foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- Realizar um estudo comparativo entre o processo convencional de desenvolvimento e manufatura de próteses e o processo utilizando tecnologias de Prototipagem Rápida (PR) e Impressão 3D.
- Verificar de que forma o uso de tecnologias de PR pode contribuir para o processo de

fabricação de próteses, permitindo que peças sob medida (únicas e customizadas) sejam produzidas de forma mais rápida e precisa em comparação com o processo convencional de modelagem e prototipagem, tornando-se mais adequado para o desenvolvimento de próteses.

- Desenvolver estratégias para adequar o design de próteses de forma a atender a expectativas, necessidades e preferências do usuário.
- Desenvolver aplicativo que permita o usuário criar sua própria prótese, possibilitando a personalização do tamanho e forma.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Tecnologia assistiva: prótese

- Prótese estética/passiva
- Prótese endoenergética ou mecânica
- Prótese de propulsão exoenergética ou artificial
- Prótese híbrida

Componentes das próteses funcionais de membros superiores

Prototipagem rápida

- Processos baseados em líquido
- Processos baseados em sólido
- Processos baseados em pó
- Comparação entre os métodos de prototipagem rápida

Impressão 3D aplicada na área médica

- Impressão 3d aplicada na manufatura de próteses

Robohand
e-NABLE
Mao3D

Similares - próteses transradiais *open source*

RIT Arm
The Unlimbited Arm 1.7 - Isabella Edition
The Unlimbited Arm 2.0 - Alfie Edition

Resumo da análise de similares

3.1 TECNOLOGIA ASSISTIVA: PRÓTESES

Tecnologia Assistiva (TA) significa qualquer item, peça de equipamento ou sistema de produto, adquirido comercialmente, modificado ou personalizado

Antes do advento da ciência moderna e do aperfeiçoamento da manufatura protética, os indivíduos com perda de membros viviam sem o mesmo ou usavam os membros primitivos como substituto para realizar tarefas diárias. Os egípcios foram os progenitores no longo caminho para o desenvolvimento de próteses. A primeira prótese conhecida é o hálux artificial de uma múmia egípcia alojada no Museu do Cairo. (Live Science, 2007)

Mais além na linha do tempo, as próteses começaram a ser criadas para substituir os membros perdidos na batalha medieval. De acordo com SALLES E ROSA (2003),

Ambroise Paré foi o grande pioneiro na criação dos mecanismos necessários para o funcionamento das próteses superiores do corpo. Em 1912, o primeiro gancho protético foi desenvolvido por D. W. Dorrance, cujo objetivo era melhorar a função do membro superior amputado.

Esta versão é usada ainda hoje por causa de sua simplicidade e durabilidade. Os avanços médicos e tecnológicos mais notáveis na restauração protética e reabilitação têm, sem dúvida, ocorrido nos últimos 100 anos. Depois da Primeira e Segunda Guerra Mundial, o desenvolvimento técnico das próteses foi melhorado por necessidade.

As inspirações de muitos dos avanços em próteses disponíveis para indivíduos, hoje, vêm de veteranos da Segunda Guerra Mundial e indivíduos que sofrem de malformações congênitas. A arte cuidadosa de esculpir um soquete e construir próteses feitas de madeira, couro e metais foi substituída por titânio, fibra de carbono, laminados de plástico e silicões. Os processos de fabricação e montagem tornaram-se mais eficientes através do uso de Desenho Assistido Por Computador (do inglês *Computer-Aided Design* - CAD) e Fabricação Assistida Por Computador (do inglês, *Computer-Aided Manufacturing* - CAM).

A intensa pesquisa e inova-

3.1.1 PRÓTESE ESTÉTICA/PASSIVA

Têm o objetivo exclusivo de complementar o membro amputado - ter a forma visual de uma mão é mais importante do que sua própria função. Não há movimento nessas próteses, o que significa que elas são passivamente controladas. O material de manufatura da prótese passiva deve ser o mais próximo possível do membro natural.



Fig. 6: Prótese transradial estética. (Fonte: <http://motorica.org/wp-content/uploads/2016/09/80496-9324673.jpg>, 2016)

3.1.2 PRÓTESE ENDOENERGÉTICA OU MECÂNICA

São próteses funcionais que também cumprem os propósitos cosméticos. Permite que o amputado execute mais tarefas do que a prótese passiva. Acionado pelo ombro, cotovelo ou punho, através de forças de tração aplicada nos cabos, eles podem abrir ou fechar um dispositivo terminal, seja uma mão, gancho, etc. Entre outras vantagens, este tipo de prótese tem peso reduzido; corpo como fonte de energia; elementos de fabricação simples, baixo custo; preservação do tônus muscular; danos mecânicos reduzidos e facilmente reparáveis; boa resistência; baixa manutenção.

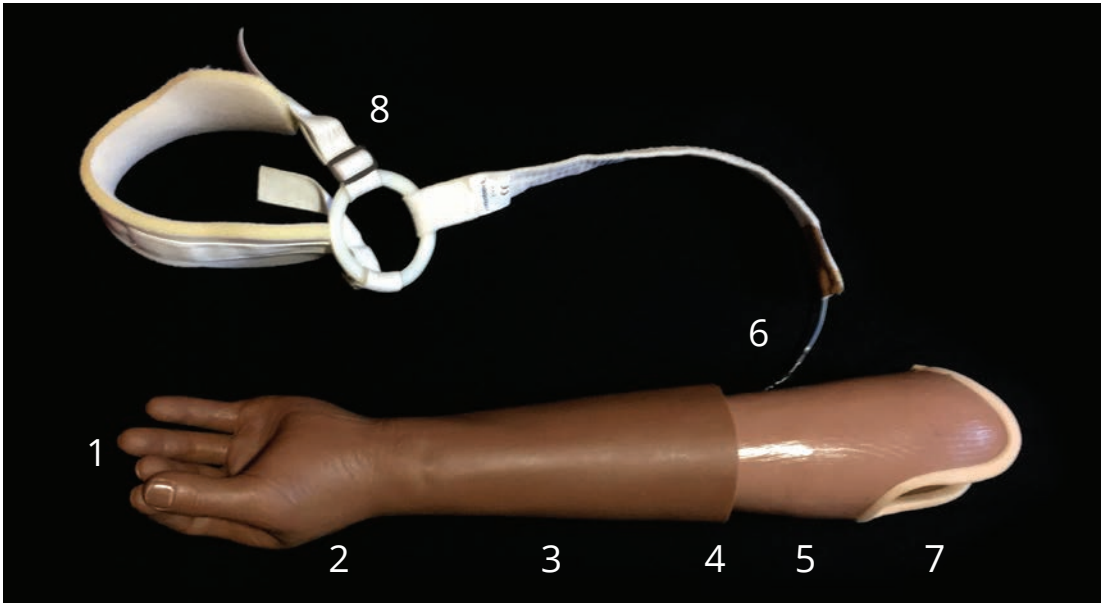


Fig. 7: Prótese transradial mecânica. (Fonte:

3.2 COMPONENTES DAS PRÓTESES FUNCIONAIS DE MEMBROS SUPERIORES

Qualquer prótese funcional de membro superior necessita de fonte de energia, sistema de transmissão da fonte, sistema de comando, dispositivo terminal (mão ou gancho), soquete e sistema de suspensão. Considerando a amputação transradial, vamos dispor dos componentes nomeados na Figura 9.

Fig. 9: Prótese funcional e seus componentes. (Fonte: a autora, 2017)



- | | |
|--|--|
| 1. Dispositivo terminal (mão ou gancho); | 5. Bloco correspondente ao braço; |
| 2. Articulação do punho; | 6. Sistema de cabos e correias (cabo de tração); |
| 3. Bloco correspondente ao antebraço; | 7. Soquete; |
| 4. Articulação do cotovelo; | 8. Sistema de suspensão |

A seguir, detalhamos alguns componentes que possuem uma maior variedade de opções, o soquete e o sistema de suspensão.

O soquete é a parte mais importante da prótese. É onde o membro residual se encerra e é anexado à prótese. O soquete é a fundação da prótese, que deve ser como uma extensão do corpo. Também deve ser do tamanho exato, proporcionando conforto e função. Caso contrário, quando o membro é movimentado, irá apenas se mover dentro da prótese ao invés de mover a prótese em si, ocasionando gasto de energia sem uma resposta completa. Além disso, pode ocorrer a fricção da pele com o soquete, resultando em dor e problemas de pele, comprometendo a mobilidade do paciente.

Alguns fatores que devem ser considerados no projeto de um soquete

3.3 PROTOTIPAGEM RÁPIDA

Prototipagem Rápida (RP) é um conjunto de tecnologias que utilizam Comando Numérico Computadorizado (do inglês, *Computer Numerical Command* - CNC) para produzir modelos físicos. Estas tecnologias, que operam com diferentes processos de fabricação, permitem a fabricação de peças, protótipos, modelos e produtos em três dimensões, com as informações obtidas diretamente de um modelo geométrico gerado em um computador pelo sistema CAD de forma rápida, automatizada e flexível. Existem mais de vinte sistemas de impressão 3D no mercado, que seguem o mesmo princípio geral: baseiam-se na adição de material na forma de camadas sucessivas. De acordo com BEAMAN et al. (1997), essas tecnologias são capazes de produzir objetos sólidos complexos diretamente transmitidos a partir de um modelo de computador (CAD), sem a necessidade de ferramentas específicas

e conhecimentos técnicos.

A origem da prototipagem rápida veio das práticas em topografia e foto escultura, no fim do século XIX. Em 1972, Matsubara, da Mitsubishi Motors, propôs um sistema precursor da técnica atual de Estereolitografia. A técnica de Munz consistia de um sistema com exposição seletiva de seções transversais do objeto a ser desenvolvido, sobre uma emulsão foto transparente (VOLPATO, 2007). A fusão de todas essas pesquisas, processos e técnicas deram origem às técnicas de Prototipagem Rápida atuais.

Existem muitas formas de classificarmos os inúmeros sistemas de PR no mercado, mas a melhor maneira é pelo estado ou forma inicial da matéria-prima utilizada pela devida tecnologia. Dessa maneira, separamos os processos em três grupos: sistemas baseados em líquido, sistemas baseados em sólido e os sistemas baseados em pó.

3.3.1 PROCESSOS BASEADOS EM LÍQUIDO

Tecnologias em que a matéria prima utilizada para fabricar a peça encontra-se no estado líquido, antes de ser processada. Apesar de o material adicionado passar por um estado líquido ou pastoso em vários processos existentes, isto não o classifica como baseado em líquido. Somente aqueles

3.3.2 PROCESSOS BASEADOS EM SÓLIDO

Nos processos deste grupo, o material utilizado para a confecção das peças encontra-se no estado sólido, podendo estar na forma de filamento, lâmina, ou então não ter uma forma específica, pois será fundido (liquefeito) para ser depositado. Para estes últimos processos, a diferença é pequena em relação a alguns processos apresentados na seção anterior que utilizam material inicialmente já no estado líquido (VOLPATO, 2007).

Dois métodos são possíveis para o processamento dos materiais sólidos: o método de Modelagem por Fusão e Deposição (FDM - *Fused Deposition Modeling*), que funde o material antes de sua deposição; e o método que apenas recorta uma lâmina do material adicionado, como a Manufatura Laminar de Objetos (LOM - *Laminated Object Manufacturing*) e a Tecnologia com Lâminas de Papel (PLT - *Paper Lamination Technology*).

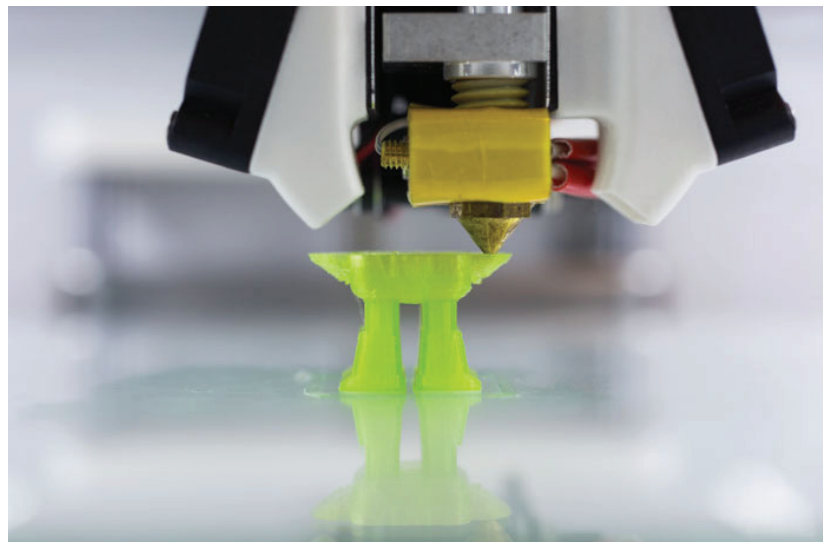


Fig. 11: Modelagem por Fusão e Deposição (FDM - *Fused Deposition Modeling*). (Fonte: <http://enablingthefuture.org/wp-content/uploads/2015/02/printing-in-progress.jpg>, 2015)

3.3.3 PROCESSOS BASEADOS EM PÓ

Neste grupo de processos o material utilizado encontra-se na forma de pó, sendo que uma das principais diferenças entre os processos está basicamente no uso ou não de laser para processar o material. Algumas tecnologias se diferem somente nos pequenos detalhes dos equipamentos. Uma grande vantagem geral desse grupo é que, devido ao fato de se trabalhar com pó, uma grande variedade de mate-

3.3.4 COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA APRESENTADOS

	Baseado Em Líquido	Baseado Em Sólido	Baseado Em Pó
Processo	SL	FDM	3DP
Custo inicial de aquisição	Alto	Médio	Baixo
Custo do material	Alto	Baixo	Médio
Custo do Protótipo	Alto	Baixo	Médio
Precisão	Alta	Média	Alta
Variedade de materiais	Pequena	Média	Média
Velocidade de construção	Média	Baixa	Alta
Resistência mecânica	Média	Média	Baixa
Necessidade de suporte	Sim	Sim	Não
Acabamento superficial	Excelente	Regular	Regular
Protótipo em cores	Sim, monocromáticos	Sim, monocromáticos	Sim, cores variadas
Perda de material (reutilização do material não processado)	Material do suporte é o mesmo da peça e não é reaproveitável	Somente há perda do material de suporte	Não há perda, reutilização total
Necessidade de pós-processamento	Sim, retirada de suporte	Sim, retirada de suporte	Sim, jateamento de ar e infiltração com resina

Tabela 1: Comparação entre os métodos de prototipagem rápida apresentados. (Fonte: VOLPATO, N., 2007)

3.4 IMPRESSÃO 3D APLICADA NA ÁREA MÉDICA

Alguns dos usos mais interessantes da impressão 3D são desenvolvidos na área médica. As aplicações nessa área são diversas, como por exemplo na impressão (ou bioimpressão) de células para o desenvolvimento de ossos, órgãos e tecidos para uso cirúrgico, ainda em fase inicial de desenvolvimento. Uma outra aplicação é no setor farmacêutico, com a impressão de fármacos. Além disso, a impressão 3D já auxilia no planejamento cirúrgico, por meio da impressão de mo-

delos anatômicos para os médicos visualizarem e planejarem cirurgias complexas da melhor maneira. Dessa forma, o tempo de cirurgia é extremamente reduzido, pois não ocorrem tantos imprevistos. A impressão e digitalização 3D também está presente no desenvolvimento de órteses e próteses, permitindo a personalização das mesmas. No entanto, as grandes indústrias de próteses ainda não aderiram a impressão 3D em grande escala.

3.4.1 IMPRESSÃO 3D APLICADA NA MANUFATURA DE PRÓTESES

3.4.1.1 Robohand

A Robohand começou com Richard Van As, um carpinteiro que teve um acidente de trabalho em 2001, o fazendo perder todos os dedos de sua mão direita. Richard então, começou a pesquisar e desenvolver dedos mecânicos para ele mesmo. Ele descobriu após seu acidente que próteses não têm valores acessíveis. Depois de criar seus primeiros protótipos, Richard entrou em contato com Ivan Owen pela internet e perguntou se ele gostaria de colaborar no desenho de um dedo substituto. Ivan tinha criado uma mão mecânica anteriormente,

então estava muito empolgado em participar do projeto. Em setembro de 2012, Robohand foi oficialmente nomeada e o primeiro protótipo foi publicado. A princípio, a Robohand desenvolvia mãos de alumínio. Com os avanços da tecnologia, a impressão 3D foi introduzida, com um custo efetivo e sendo uma rápida maneira de gerar protótipos. Desde de 2013, Richard criou mais de 200 mãos para indivíduos de todo o mundo. Isso é possível graças à digitalização 3D, moldes e impressão 3D. Hoje, disponibilizam a Roboarm, Robofinger e Robohand.

4 PROJETO

Análise do método convencional de confecção de próteses de membro superior

Desenvolvimento de prótese com o uso da tecnologia de prototipagem rápida

Estudo de caso: entrevista e informações coletadas

Requisitos do projeto

Produção de similar

- Geração das medidas e de arquivos 3D

- Impressão 3D

- Montagem

Comparação entre as próteses transradiais Unlimbited e SORRI

Teste com usuário

Aprimoramento do design da prótese pós-teste com usuário

- Confecção do molde do coto do usuário

- Digitalização do molde

- Redesign da prótese

- Materiais

 - ABS

 - PLA

 - TPU

- Impressão 3D

- Montagem

4.2 DESENVOLVIMENTO DE PRÓTESE TESTE COM O USO DA TECNOLOGIA DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA

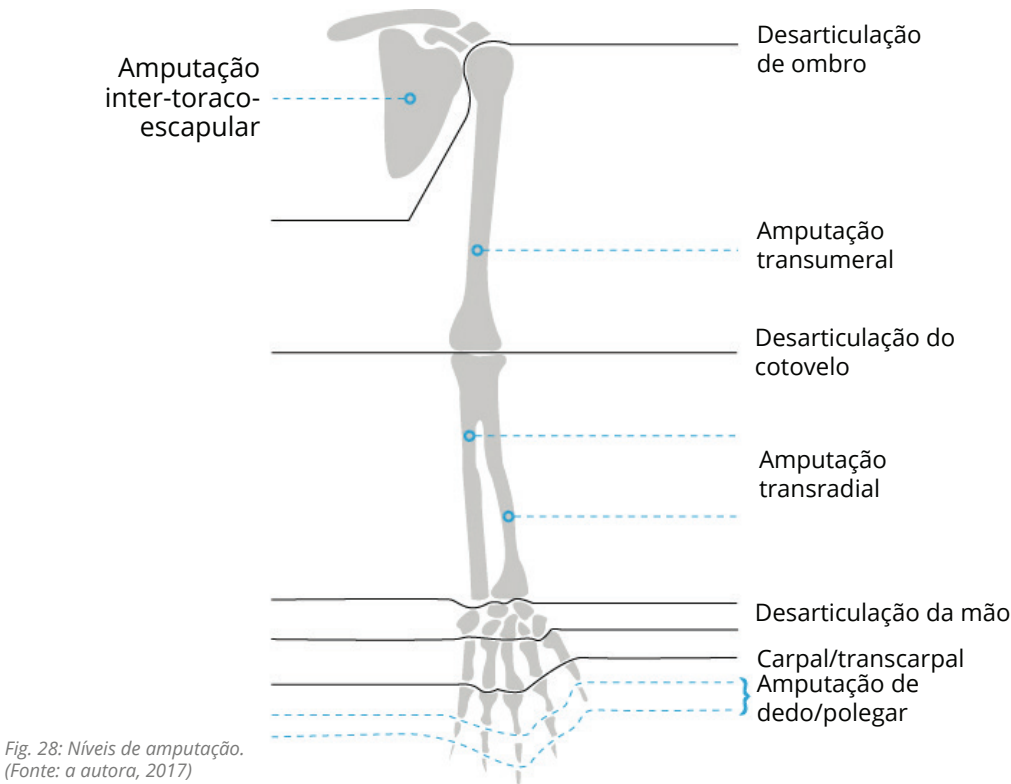
Primeiramente, entrevistamos a futura usuária da prótese para conhecer seu histórico, suas necessidades e preferências. Realizamos um teste de similar, construindo o modelo Unlimbited Arm, que é a melhor opção entre as próteses open source disponíveis, para entender melhor a montagem, funcionamento e analisar, realizando testes com a usuária.

E por fim, após análise e testes do modelo Unlimbited Arm, criamos um novo modelo de prótese transradial para a usuária.

4.3 ESTUDO DE CASO: ENTREVISTA E INFORMAÇÕES COLETADAS

Esse caso envolve uma paciente que, com um ano e um mês, teve seus membros superiores e inferiores amputados, devido a ocorrência de meningococemia, uma infecção causada pela bactéria *Neisseria meningitidis* (meningococo), o mesmo tipo de bactéria que pode causar meningite. Esse tipo de meningite tem rápida progressão e os sintomas podem aparecer como os sintomas de uma simples gripe. Os pacientes que passam por tratamento e resistem à doença podem desenvolver algumas sequelas. São elas a perda de braços ou pernas, problemas com dificuldades de

audição, ou até mesmo a perda total desse sentido e também o paciente pode ficar com lesões cerebrais. A doença causou sequelas na paciente, a amputação transtibial bilateral no terço superior da perna (área da panturrilha, a tíbia e a fíbula são cortadas) e a amputação transradial bilateral (secção óssea entre a articulação do cotovelo e do punho. Pode ser proximal, média ou distal). A SORRI-BAURU iniciou o acompanhamento em 2009, ano que ocorreram as amputações. A paciente já possui próteses para os membros inferiores, porém ainda não tem os membros superiores protetizados.



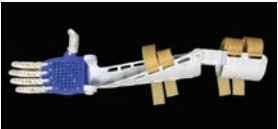
4.9 COMPARAÇÃO ENTRE AS PRÓTESES

A seguir, apresentamos uma tabela com critérios de comparação já apresentados anteriormente, porém agora com a prótese final.

A prótese “Redesign” é a mais leve entre as três, pesando apenas 125g.

Já o custo, a prótese “Redesign” saiu melhor que a *Unlimbited*, ambas apenas levando em conta o custo do material, sem hora máquina inclusa.

No tempo de fabricação, a prótese “Redesign” levou apenas 16 horas, enquanto as demais, *Unlimbited* e SORRI levaram 4 e 6 horas a mais, respectivamente.

	Prótese “Redesign”	Prótese Unlimbited	Prótese SORRI
			
Custo	R\$17,50 de material aproximadamente*	R\$ 26,53 de material, aproximadamente*	R\$ 3.105,00 (segundo a Tabela Descritiva do Sistema de Informações Ambulatoriais do Sistema Único de Saúde)
Peso	125g	189,5g	818g
Tempo Confecção	Aproximadamente 16 horas (tempo de impressão e montagem). O tempo de criação e modelagem das peças foi de aproximadamente 6 horas.	Aproximadamente 20 horas (tempo de impressão e montagem)	Aproximadamente 22 horas (confecção do molde, soquete e montagem)

*Levando em conta que um filamento de 1kg custa R\$140,00, sem hora máquina inclusa.

5.2.

BIBLIOGRAFIA

LIVROS E PUBLICAÇÕES

Beaman, J.J. et al. *Solid freeform fabrication: a new direction in manufacturing*. Norwell: Kluwer Academic Publishers, 1997.

Garrett, J.J. *The Elements of User Experience: User-Centered Design for the Web and Beyond*. London: Pearson Education, 2010.

Hopkinson, N.; Hague, R.J.M.; Dickens, P.M. *Rapid Manufacturing: An Industrial Revolution for the Digital Age*. Chichester: Willey, 2006.

Norman, D. *The Design of Everyday Things*. New York: Basic Books, 2013.

Pullin, G. *Design Meets Disability*. Boston: MIT Press, 2009.

Rafiq, I. N. *Rapid Prototyping: Principles and Applications*. Cingapura: Wiley, 2005.

Salles, I. C. D.; Rosa, A. R. *Amputações de Membros Superiores. Terapia Ocupacional em Reabilitação Física*. São Paulo: Rocca, 2003.

Seok, S. *Handbook of Research on Human Cognition and Assistive Technology: Design, Accessibility and Transdisciplinary Perspectives*. New York: IGI Global, 2010.

Volpato, N. *Prototipagem Rápida: tecnologias e aplicações*. São Paulo: Editora Blücher, 2007.

prosteasy