

## RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a) o texto completo desta Dissertação será disponibilizado somente a partir de 27/08/2022.



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN**

**Bruno Borges da Silva**

**O CO-DESIGN NA PRODUÇÃO DE UMA PRÓTESE TRANSRADIAL  
MIOELÉTRICA DE BAIXO CUSTO DESENVOLVIDA POR  
MEIO DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA**

**Bauru - SP  
2020**

**Bruno Borges da Silva**

**O CO-DESIGN NA PRODUÇÃO DE UMA PRÓTESE TRANSRADIAL  
MIOELÉTRICA DE BAIXO CUSTO DESENVOLVIDA POR MEIO DE  
PROTOTIPAGEM RÁPIDA**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Design, no Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, linha de pesquisa de Ergonomia, sob orientação do Prof. Dr. Luis Carlos Paschoarelli.

**Bauru - SP  
2020**

SILVA, Bruno Borges.

O Co-design na produção de uma Prótese Transradial Mioelétrica de baixo custo desenvolvida por meio de prototipagem rápida / Bruno Borges da Silva. 2020. :91f.

Orientador: Luis Carlos Paschoarelli

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru, 2020.

Palavras chave: 1. Co-design 2. Prótese Mioelétrica 3. Membro superior 4. Tecnologia Assistiva 5. Impressão 3D.

**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE BRUNO BORGES DA SILVA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN, DA FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO - CÂMPUS DE BAURU.**

Aos 27 dias do mês de agosto do ano de 2020, às 10:00 horas, no(a) via sistemas de videoconferência e outras ferramentas para comunicação a distância, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Titular LUIS CARLOS PASCHOARELLI - Orientador(a) do(a) Programa de Pós-Graduação em Design / FAAC/UNESP/Bauru, Prof. Dr. FAUSTO ORSI MEDOLA do(a) Programa de Pós-Graduação em Design / FAAC/UNESP/Bauru, Profª. Drª. EMILENE ZITKUS DE ANDRADE do(a) Loughborough University, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de BRUNO BORGES DA SILVA, intitulada **O CO-DESIGN NA PRODUÇÃO DE UMA PRÓTESE TRANSRADIAL MIOELÉTRICA DE BAIXO CUSTO DESENVOLVIDA POR MEIO DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA**. Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.



Prof. Titular LUIS CARLOS PASCHOARELLI

Prof. Dr. FAUSTO ORSI MEDOLA - **realizado via videoconferência.**

Profª. Drª. EMILENE ZITKUS DE ANDRADE - **realizado via videoconferência.**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço aos meus pais, Arnon e Rosemeire, que sempre me incentivaram e me apoiaram em toda minha vida acadêmica.

A minha namorada Denise Caputo, pelo companheirismo que tem sempre demonstrado.

A UNESP, FAAC, em especial ao PPG-Design, por todo conhecimento e vivência durante todo esse período.

Ao meu orientador Prof. Dr. Luis Carlos Paschoarelli, pelo auxílio e amizade durante toda minha permanência na universidade.

Aos integrantes e amigos do Laboratório de Ergonomia e Interfaces, em especial Rodolfo Porsani, Guilherme Bertolaccini, Larissa Ferro e Natham Martins.

Aos órgãos de fomento CNPQ e CAPES.

“Para as pessoas sem deficiência a tecnologia torna as coisas mais fáceis.  
Para as pessoas com deficiência, a tecnologia torna as coisas possíveis”  
(RADABAUGH, 1993).

## RESUMO

Com o grande avanço da ciência nas últimas décadas, o desenvolvimento de próteses que auxiliam as Pessoas com Deficiência contou com diferentes formas de abordagem metodológicas e aplicações de novas tecnologias nos campos dos materiais; dos sistemas e da contribuição social. Diferentes alternativas de próteses de membros superiores estão disponíveis no mercado, porém, a maioria dessas opções levam em conta especialmente as questões de funcionalidade do produto, em detrimento aos desejos e aspirações do usuário. Além disto, apresentam elevado custo, especialmente se considerarmos o contexto econômico dos países em desenvolvimento. Portanto, equacionar os fatores que envolvem o design de próteses parece ser de suma importância para garantir a qualidade funcional do produto; as expectativas dos usuários - especialmente se diminuir os estigmas que este artefato carrega e o custo do produto; contribuindo para melhoria da sua usabilidade e minimizando as taxas de abandono de próteses. O objetivo da presente pesquisa foi relatar um estudo de caso em que se aplicou as técnicas do Co-design - com a participação direta de um potencial usuário, com malformação congênita no membro superior esquerdo - em conjunto com as tecnologias de escaneamento e impressão 3D, no desenvolvimento de uma prótese transradial mioelétrica de baixo custo. Com isto, foi possível perceber em quais etapas do projeto o potencial usuário apresentou efetiva participação e como isto influenciou o design do produto. Embora fosse o primeiro contato do participante com este tipo de tecnologia assistiva o resultado foi positivo, demonstrando que a inclusão do usuário/potencial usuário durante todo o processo de desenvolvimento de design de produto possibilita a criação de um protótipo melhor, no que corresponde a eficácia, eficiência e satisfação.

**Palavras chaves:** Co-design, Prótese Mioelétrica, Membro superior, Tecnologia Assistiva, Impressão 3D.

## **ABSTRACT**

With the great advance of science in the last decades, the development of prostheses that help People with Disabilities had different ways of approaching methodologies and applications of new technologies in the fields of materials; systems and social contribution. Different alternatives for upper limb prostheses are available on the market, however, most of these options take into account especially the issues of product's functionality, to the detriment of the user's wishes and aspirations. In addition, they are expensive, especially considering the economic context of developing countries. Therefore, addressing the factors that involve the design of prostheses seems to be of paramount importance to guarantee the functional quality of the product; the expectations of users - especially if it reduces the stigmas that this artifact carries and the cost of the product; contributing to improving its usability and minimizing prosthesis abandonment rates. The aim of this research was to report a case study in which the co-design techniques were applied - with the direct participation of a potential user, with congenital malformation in the left upper limb - together with the 3D scanning and printing technologies, in the development of a low-cost transradial myoelectric prosthesis. With this, it was possible to perceive in which stages of the project the potential user had an effective participation and how this influenced the product design. Although it was the participant's first contact with this type of assistive technology, the result was positive, demonstrating that the inclusion of the user/potential user throughout the product design development process allows the creation of a better prototype, in terms of effectiveness, efficiency and user satisfaction.

**Keywords:** Co-design, Myoelectric Prosthesis, Upper Limb, Assistive Technology, 3D Printing.

## LISTA DE ABREVIATURAS

|      |                                                 |
|------|-------------------------------------------------|
| ABS  | Acrilonitrila Butadieno Estireno                |
| CAD  | <i>Computer Aided Design</i>                    |
| CAM  | <i>Computer Aided Manufacturing</i>             |
| CoD  | Co-Design                                       |
| DCU  | Design Centrado no Usuário                      |
| EMG  | Eletromiografia                                 |
| FAAC | Faculdade de Arquitetura Artes e Comunicação    |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| LEI  | Laboratório de Ergonomia e Interfaces           |
| OMS  | Organização Mundial da Saúde                    |
| ONU  | Organização das Nações Unidas                   |
| PcD  | Pessoas com Deficiência                         |
| PETG | Politereftalato de Etileno Glicol               |
| PLA  | Poliácido Láctico                               |
| PMS  | Prótese de Membro Superior                      |
| PTM  | Prótese Transradial Mioelétrica                 |
| TA   | Tecnologia Assistiva                            |
| TCLE | Termo de Consentimento Livre e Esclarecido      |
| TPU  | Poliuretano Termoplástico                       |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Níveis de amputação .....                                       | 25 |
| Figura 2: Impressora 3D .....                                             | 28 |
| Figura 3: Scanner 3D .....                                                | 29 |
| Figura 4: Prótese Mecânica impressa em 3D .....                           | 33 |
| Figura 5: Prótese Transradial Mioelétrica 2018 .....                      | 34 |
| Figura 6: Digitalização do membro superior direito do participante. ....  | 36 |
| Figura 7: Digitalização do membro superior esquerdo do participante. .... | 36 |
| Figura 8: Painel de referências. ....                                     | 37 |
| Figura 9: Teste mioelétrico 1 .....                                       | 38 |
| Figura 10: Teste mioelétrico 2 .....                                      | 39 |
| Figura 11: Sketches iniciais do encaixe do coto .....                     | 40 |
| Figura 12: Sketches iniciais da prótese .....                             | 41 |
| Figura 13: Primeiro modelo do encaixe do coto .....                       | 42 |
| Figura 14: Segundo modelo do encaixe do coto .....                        | 42 |
| Figura 15: Terceiro modelo de encaixe do coto .....                       | 43 |
| Figura 16: Modelagem do quarto modelo de encaixe do coto .....            | 43 |
| Figura 17: Quarto modelo de encaixe do coto .....                         | 44 |
| Figura 18: Modelo final aprovado pelo participante .....                  | 44 |
| Figura 19: Sistema interno 1 .....                                        | 46 |
| Figura 20: Sistema interno 2 .....                                        | 47 |
| Figura 21: Sistema interno 3 .....                                        | 48 |
| Figura 22: Processo de produção do <i>Liner</i> .....                     | 50 |
| Figura 23: Resultado final do <i>Liner</i> com silicone Ecoflex .....     | 51 |
| Figura 24: Processo de produção da pega .....                             | 51 |
| Figura 25: Mão com pega de silicone e chave tátil .....                   | 52 |
| Figura 26: Adesivos .....                                                 | 53 |
| Figura 27: Prótese com textura de fibra de carbono .....                  | 61 |
| Figura 28: Prótese com ilustração .....                                   | 61 |
| Figura 29: Botão liga/desliga .....                                       | 62 |
| Figura 30: Cavidade da bateria .....                                      | 62 |
| Figura 31: Prótese completa, com <i>Liner</i> e sensor EMG .....          | 62 |

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| Figura 32: Preensão de objeto pequeno.....              | 67 |
| Figura 33: Teste no supermercado .....                  | 68 |
| Figura 34: Teste Quickdash adaptado, sem a prótese..... | 70 |
| Figura 35: Teste QuickDash adaptado, com a prótese..... | 71 |
| Figura 37: Participante com a prótese .....             | 76 |

## SUMÁRIO

|                                                                               |           |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                                       | <b>13</b> |
| 1.1 Justificativas .....                                                      | 14        |
| 1.2 Objetivo.....                                                             | 16        |
| <b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>                                          | <b>18</b> |
| 2.1. Ergonomia, Design Ergonômico e Usabilidade.....                          | 18        |
| 2.2. Co-design .....                                                          | 21        |
| 2.3. Prototipagem Rápida, Impressão 3D e Prótese Transradial Mioelétrica..... | 23        |
| <b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>                                             | <b>27</b> |
| 3.1 Características do Estudo, Aspectos Éticos e do Participante.....         | 27        |
| 3.2 Instrumentos e Materiais.....                                             | 27        |
| 3.2.1 Instrumentos Metodológicos .....                                        | 27        |
| 3.2.2 Materiais da Prótese .....                                              | 29        |
| 3.3 Procedimentos Metodológicos: Co-design.....                               | 33        |
| 3.3.1 Motivação .....                                                         | 33        |
| 3.3.2 Seleção do participante e questões éticas.....                          | 34        |
| 3.3.3 Entrevista inicial.....                                                 | 35        |
| 3.3.4. Escaneamento.....                                                      | 35        |
| 3.3.5 Painel Semântico .....                                                  | 37        |
| 3.3.6 Programação e testes mioelétrico .....                                  | 38        |
| 3.3.7 Sketches iniciais do encaixe do coto e da carenagem da prótese.....     | 40        |
| 3.3.8 Teste com os modelos de encaixe .....                                   | 41        |
| 3.3.8 Estrutura interna da prótese .....                                      | 45        |
| 3.3.9 Estrutura da mão .....                                                  | 48        |
| 3.3.10 <i>Liner</i> .....                                                     | 49        |

|                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.3.11 Pega .....                                            | 51        |
| 3.3.12 Envelopamento .....                                   | 52        |
| 3.4 Procedimentos Metodológicos: Teste de usabilidade .....  | 53        |
| 3.4.1. Usabilidade - Entrevista .....                        | 53        |
| 3.4.2. Usabilidade - Diário de Utilização .....              | 54        |
| <b>4 RESULTADOS .....</b>                                    | <b>56</b> |
| 4.1 Co-design no desenvolvimento do produto .....            | 56        |
| 4.2.1 Resultados de Usabilidade - Entrevista .....           | 65        |
| 4.2.2 Resultados de Usabilidade - Diário de utilização ..... | 66        |
| 4.2.3 Resultados de Usabilidade - QuickDASH (adaptado) ..... | 69        |
| <b>5 DISCUSSÃO .....</b>                                     | <b>74</b> |
| <b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                          | <b>77</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                      | <b>79</b> |
| <b>APÊNDICE A .....</b>                                      | <b>83</b> |
| <b>APÊNDICE B .....</b>                                      | <b>85</b> |
| <b>APÊNDICE C .....</b>                                      | <b>86</b> |
| <b>APÊNDICE D .....</b>                                      | <b>88</b> |

## INTRODUÇÃO

Com o grande avanço da ciência nas últimas décadas, o desenvolvimento de próteses que auxiliam as Pessoas com Deficiência (PcD) contou com diferentes formas de abordagens metodológicas e aplicações de novas tecnologias nos campos dos materiais, dos sistemas e da contribuição social.

As próteses são dispositivos projetados para substituição de um membro do corpo humano ou qualquer de suas partes com necessidade de reposição ou readaptação (FERNANDES; LUFT; GUIMARÃES, 1992), e representam um dos principais artefatos que caracterizam as Tecnologias Assistivas (TA); e estas são fundamentais para a reabilitação e integração social das PcD.

Neste sentido, o emprego de novos sistemas funcionais e novos métodos de desenvolvimento de produto têm surgido como alternativas para tornar as próteses mais eficientes, eficazes, confortáveis e aceitáveis, tanto pelos próprios usuários, quanto por aqueles indivíduos que fazem parte do seu contexto social e imprimem na PcD uma condição estigmatizada.

Diferentes alternativas de próteses de membros superiores (PMSs) (passivas, mecânicas e mioelétricas) estão disponíveis no mercado, porém, a maioria dessas opções levam em conta especialmente as questões de funcionalidade do produto, em detrimento aos desejos e aspirações do usuário. Além disto, apresentam elevado custo, especialmente se considerarmos o contexto econômico das sociedades dos países periféricos, nos quais o Brasil se encontra.

Portanto, equacionar os fatores que envolvem o design de próteses se mostram ser de suma importância para garantir a qualidade funcional do produto; as expectativas dos usuários - especialmente se diminuir os estigmas que este artefato carrega; e diminuir o custo do produto, contribuindo para seu pleno uso, com segurança, conforto e satisfação.

Assim, o presente estudo apresenta uma proposta de desenvolvimento de uma prótese transradial mioelétrica (PTM), baseado em métodos do Co-Design (CoD) e tecnologias de prototipagem rápida, visando oferecer uma alternativa para este artefato.

## 1.1 Justificativas

Nas últimas décadas é possível notar uma crescente preocupação mundial em reduzir as desigualdades sociais, étnicas e de gênero, assim como proporcionar mais acessibilidade para PcD, a fim de promover melhor qualidade de vida a todos os indivíduos.

A deficiência é um tema de direitos humanos e como tal obedece ao princípio de que todo ser humano tem o direito de desfrutar de todas as condições necessárias para o desenvolvimento de seus talentos e aspirações, sem ser submetido a qualquer tipo de discriminação (SECRETARIA NACIONAL DE PROMOÇÃO DOS DIREITOS DA PESSOA COM DEFICIÊNCIA, 2012).

Segundo os dados de 2011 da Organização Mundial da Saúde (OMS) um bilhão de pessoas vivem com alguma deficiência (uma em cada sete pessoas no mundo). A Organização das Nações Unidas (ONU) complementa esse dado ressaltando que 80% das pessoas que vivem com alguma deficiência residem em países em desenvolvimento. Além disso, ter alguma deficiência aumenta o custo de vida em cerca de um terço da renda, em média, e 50% das PcD não conseguem pagar por serviços de saúde (PORTAL NAÇÕES UNIDAS, s. d.).

No Brasil, de acordo com Censo Demográfico realizado em 2010 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), cerca de 45.623.910 de pessoas possuem pelo menos algum tipo de deficiência, quer seja visual, auditiva, motora, intelectual ou mental. Essa quantidade corresponde 23,92% de PcD, quase  $\frac{1}{4}$  da população brasileira, sendo que a deficiência motora é o segundo tipo mais recorrente, afetando 7% dos brasileiros.

Ainda segundo o IBGE, quando comparados os fatores sociais de pessoas com e sem deficiência, existem mais deficientes nos quadros de analfabetismo, desempregados e nos quadros raciais em pessoas negras e pardas, demonstrando que o grau de instrução, poder aquisitivo e preconceito estão relacionados a essa quantidade. Logo, a deficiência, muitas vezes, impede a pessoa de ter acesso à educação e trabalho.

Essas dificuldades geradas pelas deficiências podem ser amenizadas por meio da TA no desenvolvimento e produção de órteses e próteses. Com decorrer do tempo, diversos tipos de próteses foram desenvolvidos e aprimorados, sendo que seus benefícios estão concentrados no cuidado integral com a saúde da pessoa

amputada, tendo como resultado final a manutenção do seu bem-estar físico e mental, bem como o desenvolvimento da sua autonomia e inclusão social (BRASIL, 2013). Neste sentido, Da Luz (2010) afirma que a utilização de uma prótese oferece uma melhor imagem corporal, ajudando o indivíduo a desenvolver maior confiança em suas habilidades físicas, além de melhorar sua qualidade de vida.

Outro fator que representa um problema quando se desenvolve uma nova prótese é sua rejeição ou elevada taxa de abandono. BIDDISS e CHAU, (2007a), levantaram dados de artigos publicados entre 1980 e 2006 que apontaram as taxas de rejeição de PMSs sendo da ordem de 35% (próteses elétricas) a 45% (próteses mecânicas) entre a população pediátrica. Já entre a população adulta, esta taxa de rejeição variou de 23% (próteses elétricas) e 26% (próteses mecânicas). Em relação às próteses elétricas, os autores indicam que 91% das rejeições deve-se ao desconforto, à falta de funcionalidades e à durabilidade. Além disso, 72% dos que rejeitaram suas próteses considerariam utilizá-las novamente caso fossem feitas melhorias, principalmente no que se refere ao conforto. Os mesmos autores, em outro estudo (BIDDISS e CHAU, 2007b), observaram outros fatores que envolvem a rejeição de PMSs: Indivíduos infantis, jovens e idosos apresentaram as maiores taxas de rejeição; mulheres (39%) foram mais propensas a rejeitar uma prótese que os homens (23%); e amputações radiais distais tiveram maior rejeição em comparação as proximais.

Figliolia (et al., 2019) analisaram o desenvolvimento de uma PMS mecânica, em que um dos protótipos foi rejeitado devido ao elevado peso, tamanho, dificuldade de uso e carência estética. McFarland (et al., 2010) parecem corroborar com este achado, pois afirmam que dor, desconforto e falta de funcionalidade são frequentemente reportados como causas de rejeição das próteses. Portanto, esses fatores deveriam ser considerados no design deste tipo de TA.

Vários dos autores citados anteriormente, apontam que a coparticipação do usuário no design de artefatos de TA podem aumentar o sucesso do produto. No campo do Design o trabalho criativo em conjunto e colaborativo com pessoas sem o conhecimento da área é denominado CoD (SANDERS, STAPPERS, 2008).

De acordo com Sanches de la Guia *et al.* (2017) os projetos participativos, desenvolvidos a partir do CoD, são reconhecidos como uma mudança fundamental na maneira como os designers compreendem as necessidades funcionais e emocionais dos usuários. Com o CoD o usuário passa a pertencer aos atores do

design, demonstrando seu domínio pleno sobre o conhecimento da experiência de uso (Visser et al., 2005). Por outro lado, o CoD ainda está em evolução, havendo uma carência de conhecimento prático sobre como ele se processa, especialmente se for considerado a especificidade de um artefato de TA. No caso das próteses, Figliolia (*et al.*, 2019), destacam a importância da participação colaborativa do usuário final para que os resultados deste tipo de artefato sejam positivos.

A aplicação dos princípios do CoD no desenvolvimento de novas próteses pode contar com um importante aliado metodológico, que é o emprego de tecnologias de prototipagem rápida, incluindo o escaneamento e a impressão 3D. De acordo com Kate, Smit e Breedveld (2017), a aplicação dessas tecnologias para este tipo de TA (p.e., as PMS) trazem as seguintes vantagens: liberdade de criar geometrias complexas; produção rápida e com baixo custo; e personalização dos produtos, como por exemplo a possibilidade de se aplicar diferentes encaixes, cores, formas e tamanhos. Ainda com relação às próteses de membro superior, Vujaklia e Farina (2018) observaram que comunidades de prototipagem rápida tem influenciado diretamente o desenvolvimento de membros artificiais, apesar da maioria das soluções ainda estarem voltadas para braços robóticos em vez de aplicações protéticas. Neste sentido, os autores apontam que o grande desafio de se desenvolver próteses funcionais está relacionado às diferentes funções do Design, não bastando apenas transformar aplicações robóticas em próteses, que muitas vezes utilizam soluções rudimentares, volumosas e com pouca força. Os autores destacam ainda que a maioria dos dispositivos comerciais são fornecidos aos pacientes juntamente com um serviço profissional de adaptação protética, que geralmente levam várias sessões para obter conforto e função ideais, influenciando diretamente nos custos. Assim, a utilização da impressão e o escaneamento 3D resulta em uma produção mais rápida, precisa e econômica.

## **1.2 Objetivo**

O objetivo da presente pesquisa foi relatar um estudo de caso em que se aplicou as técnicas do CoD - com a participação direta de um potencial usuário - e tecnologias de escaneamento e impressão 3D, no desenvolvimento de uma PTM de baixo custo. Também analisar em quais etapas do projeto o participante apresentou efetiva participação e como isto influenciou o design do produto.

Dessa forma, como objetivos específicos propôs-se:

- Conhecer o estado da arte nas áreas e campos de conhecimento correlatos (usabilidade, CoD, tecnologias de prototipagem rápida) ao Design, à Ergonomia e TA;
- Aplicar as tecnologias de prototipagem rápida - escaneamento e impressão 3D - durante o desenvolvimento de uma PTM de baixo custo, a partir de procedimentos metodológicos baseados em CoD;
- Avaliar o uso do artefato (resultado tecnológico) com a participação de um potencial usuário.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento deste estudo contou com um participante com malformação congênita no membro superior esquerdo, resultando em uma melhor compreensão de como é a realidade de uma PcD, quais são seus pontos de vista, quais são suas reais dificuldades e aspirações, permitindo assim a criação de uma prótese mais adequada, de baixo custo e fácil utilização.

Os objetivos foram alcançados, pois o CoD envolveu etapas de envolvimento efetivo do participante; e cujo resultado aplicado - prótese - foi bem recebido e, de modo geral, bem aceito pelo participante (com elevado nível de usabilidade) o que deve minimizar a possibilidade de abandono deste tipo de TA.

Particularmente, com relação aos testes de usabilidade (e, como era previsto), houveram dificuldades de adaptação e foi possível perceber que a PTM ainda necessita de melhorias. No entanto, isso não deixou o participante desanimado. Na verdade, houve mais percepção de dificuldades na realização das tarefas por parte do pesquisador do que pelo participante. Isso pode ser devido a diversos fatores, como por exemplo, o participante não querer desagradar o pesquisador; o participante se ver representado no produto e desejar que ele tenha um bom desempenho; ou por perceber que o produto traz benefícios, mesmo precisando de aperfeiçoamentos.

Com relação ao processo de desenvolvimento, é importantíssimo destacar que os métodos do CoD dependem de outros aperfeiçoamentos metodológicos, próprio do design dos produtos. Neste caso, as tecnologias 3D de escaneamento, modelagem e impressão demonstraram ser muito eficientes, facilitando o desenvolvimento do projeto pela possibilidade de criar vários protótipos diferentes - como, por exemplo, a modelagem da mão que precisou ser modificada várias vezes - e também pela exatidão das dimensões, permitindo a criação de um encaixe para o coto totalmente personalizado, produzido muito mais rápido do que o método convencional e que não gerou desconforto algum ao participante.

Do ponto de vista da inovação, é importante destacar que, embora o participante não tenha utilizado o Liner de silicone junto com a prótese, este produto pode ser bastante promissor, afinal, este demonstrou ser bem agradável em contato com a pele, é atóxico, resistente, pode ser muito mais barato do que os existentes no mercado e, aliado às formas de produção utilizadas neste estudo, ainda pode

ser personalizado para cada participante, diferentemente dos já existentes que são fabricados apenas em formato padrão.

Quanto ao produto final, nota-se que o mesmo apresentou características formais, especialmente demonstradas esteticamente por meio do envelopamento e demais elementos de acabamento, que tornaram o produto bem atrativo e de modo positivo (status), não apenas pelo usuário, mas principalmente pelas pessoas de seu convívio. Aspectos estéticos devem ser preconizados no desenvolvimento deste tipo de artefato.

O presente estudo apontou ainda que o CoD é uma ferramenta essencial para o desenvolvimento de próteses em geral - evidenciado na PTM em questão, especialmente quando associados às novas tecnologias de escaneamento 3D e prototipagem rápida.

Apesar de atingir os objetivos, o estudo abre outras lacunas para desenvolvimento futuro, como por exemplo: envolvimento de participantes que não tenham uma deficiência congênita; envolvimento de outras pessoas do círculo social do participante no processo de CoD; desenvolvimento de um maior número de testes de usabilidade, bem como por um período mais apropriado (extenso) de treinamento e avaliação; o envolvimento de outros profissionais (fisioterapeutas, psicólogos, engenheiros, tecnólogos de informação, ortopedistas) no CoD visando uma melhor qualidade geral no produto.

Por fim, e apesar dos limites apresentados, pode-se afirmar que os princípios do Design Ergonômico, aplicados por meio do CoD, podem ser uma boa estratégia para o desenvolvimento de PTM.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAS, C.; MALONEY-KRICHMAR, D.; PREECE, J. **User-Centered Design**. In Bainbridge, W. Encyclopedia of Human-Computer Interaction. Thousand Oaks: Sage Publications, p. 1–14, 2004.

AFONSO, C. et al. Amputações e Malformações Congênitas do Membro Superior na População Pediátrica - Revisão de 27 Anos. **Revista da Sociedade Portuguesa de Medicina Física e de Reabilitação**, vol 17, n. 1, ano 17, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9241-11: requisitos ergonômicos para trabalho de escritórios com computadores: parte 11 – orientações sobre usabilidade. Rio de Janeiro, p.3, 2002.

BIDDISS, E. A.; CHAU, T.T. Upper limb prosthesis use and abandonment: A survey of the last 25 years. **Prosthetics and Orthotics International**, Ontário, Canadá, int.31(3), p. 236 - 257, setembro, 2007.

BIDDISS, E. A.; CHAU, T.T. Upper-limb prosthetics: critical factors in device abandonment. **Am J Phys Med Rehabil**, 2007, 86, p.977–987, 2007.

BLOM, J.; FRENCH, T. The Aesthetics of Prosthetic Greaves: Co-Design for Expressing Personal Identity. **Making Futures**, Volume 5, ISSN 2042-1664, 2018.

BRASIL. **Diretrizes de atenção à pessoa amputada**. Brasília: Ministério da Saúde, 2013.

CARVALHO, J.; VOLPATO, N. **Prototipagem rápida**: tecnologias e aplicações. São Paulo: Edgard Blücher, 2007.

DONETTO, S.; PIERRI, P.; TSIANAKAS, V.; ROBERT, G. Experience-based co-design and healthcare improvement: realizing participatory design in the public sector. **The Design Journal**, v. 18, n. 2, 227-248, 2015.

DUL, J.; WEERDMEESTER, B. **Ergonomia prática**. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

FERNANDES, F.; LUFT, C. P.; GUIMARÃES, F. M. **Dicionário brasileiro globo**. 23 ed. São Paulo: Globo, 1992.

FRANCHIGNONI, F. et al. Psychometric properties of QuickDASH e a classical test theory and Rasch analysis study. **Manual Therapy**, v. 16, p. 177-182, 2011.

GLASEMANN, M., KANSTRUP, A. M. Emotions on diabetes: a design case of user mock-ups by young people living with diabetes. **CoDesign**, 7(2), 123–130, 2011

GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, M. Development of Upper Limb Prostheses: Current Progress and Areas for Growth. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, 95,1013-4, 2014.

GULLIKSEN, J.; GORANSSON, B.; BOIVIE, I.; BLOMKVIST, S.; PERSSON, J.; CAJANDER, A. Key Principles for UserCentred Systems Design. **Human-centered software engineering: Integrating Usability in the Software Development Lifecycle** Human-Computer Interaction Series, v. 8, p. 17-36, 2005.

HUSSAIN, S.; SANDERS, E.B.N. Fusion of Horizons: Co-Designing with Cambodian Children Who Have Prosthetic Legs, Using Generative Design Tools. **CoDesign**. 8, 43–79, 2012.

IIDA, I; GUIMARÃES, L. **Ergonomia: projeto e produção**. 3ª ed, São Paulo: Blücher, 2016.

JORDAN, P. W. **An introduction to usability**. London: Taylor & Francis, 1998.

KATE, J. SMIT, G. BREEDVELD, P. 3D-printed upper limb prostheses: a review. **Disability and Rehabilitation: Assistive Technology**. 2017.

KLEINSMANN, M.; VALKENBURG, R. Barriers and enablers for creating shared understanding in co-design projects. **Design Studies**, volume 29, issue 4, july 2008. p.369-386.

KRUG, S. **Don't make me think: a common sense approach to web usability**. New Riders, 2000

LASPRILLA, A. J. R. et al. Poly-lactic acid synthesis for application in biomedical devices — A review. **Biotechnology Advances**, vol 30, 1, 321-328, 2012.

LEE, P. C.; KUO, W. F.; CHANG, F. C.; **Polymer**, v. 35, n. 26, p.5641-5650, 1994.

LOBACH, B. **Design Industrial: Bases para a configuração dos produtos industriais**. Trad. Freddy Van Camp. São Paulo: Edgard Blucher, 2001.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2007

MCFAARLAND, L.V., WINKLER, S.L.H., HEINEMANN, A.W., JONES, M., ESQUENAZI, A.: **Unilateral upper-limb loss: satisfaction and prosthetic-device use in veterans and servicemembers from Vietnam and OIF/OEF conflicts**. J. Rehabil. Res. Dev. 47, 299–316, 2010.

NIELSEN, J. **Usability engineering**. San Diego (CA): Academic Press, 1993.

OSVALDER, A. L. BLIGARD, L. O. **Usability and ergonomics in medical equipment**. In: Proceedings of the 39th Nordic ergonomics society conference, October 1–3 2007, Lysekil, Sweden, 2007.

PASCHOARELLI, L. C. **Design Ergonômico de Instrumentos Manuais: Metodologias de Desenvolvimento, Avaliação e Análise do Produto**. 1. ed. São Paulo: Blucher Acadêmico, 2011.

PORTAL NAÇÕES UNIDAS. **A ONU e as pessoas com deficiência**. Disponível em <https://nacoesunidas.org/acao/pessoas-com-deficiencia/>. Acesso em: 29 de julho de 2020.

RESNIK, L. Development and testing of new upper-limb prosthetic devices: Research designs for usability testing. **Journal of Rehabilitation Research & Development**, v. 48, n.6, p 697-706, 2011.

SANCHES DE LA GUIA, L.; CAZORLA, M. P.; DE-MIGUEL-MOLINA, B. Terms and Meanings of “Participation” in Product Design. From “User Involvement” to “Co-Design.” **The Design Journal**, 2017

SANDERS, Elizabeth B.N; STAPPERS, Pieter Jan. Co-creation and the new landscapes of design. **Co-design Journal**. Vol.4 No1. March, 2008, p.5 - 18, 2008.

SCHULMANN, D. **O Desenho Industrial**. Tradução de Maria Carolina. São Paulo: Papirus, 1994.

SECRETARIA NACIONAL DE PROMOÇÃO DOS DIREITOS DA PESSOA COM DEFICIÊNCIA. **Cartilha do censo 2010: Pessoas com deficiência**. Brasília: SDH-PR/SNPD, 2012. p.32. Disponível em: <http://www.pessoacomdeficiencia.gov.br>. Acesso em 09 de janeiro de 2017.

TAKAGAKI, L. K. Tecnologia de Impressão 3D. **Revista Inovação Tecnológica**, São Paulo, v.2, n.2, p.2840, jul./dez, 2012.

TULLIS, Thomas; ALBERT, Willian. **Measuring the user experience**: collecting, analyzing, and presenting usability metrics. Burlington: Morgan Kaufman, 2008.

VISSER, F. S. STAPPERS, P. J, VAN DER LUGT, R. SANDERS, E. B. N. Contextmapping: experiences from practice. In: **CoDesign**. 1:2, 119-149, 2005.

VUJAKLIJA I.; FARINA, D. **3D printed upper limb prosthetics**. Expert Review of Medical Devices, London, UK, 2018.

WILSON, S. ROPER, A. MARSHALL, J. GALLIERS, J. DEVANE, N. BOOTH, T. WOOLF, C. Codesign for people with aphasia through tangible design languages. In: **CoDesign**, 11(1), 21–34, 2015.