



Universidades Lusíada

Cunha, Ana Ricardina Cerqueira Fontoura da

Próteses pediátricas : Design e exploração de métodos criativos

<http://hdl.handle.net/11067/7711>

Metadados

Data de Publicação

2024

Resumo

Esta dissertação tem como objetivo principal analisar o estado atual das próteses infantis, entender os desafios e explorar os avanços na área. O foco principal é compreender o equilíbrio entre acessibilidade, durabilidade, inovação, tecnologia e personalização, funcionalidade e ergonomia das próteses pediátricas. Esta investigação utilizou informações recolhidas através de livros e Websites, centrando-se em dois projetos distintos que oferecem soluções inovadoras. O primeiro projeto visa melho...

The main aim of this dissertation is to analyse the current state of children's prostheses, understand the challenges and explore advances in the field. The main focus is to understand the balance between accessibility, durability, innovation, technology and personalisation, functionality and ergonomics of paediatric prostheses. This research used information gathered from books and websites, focusing on two distinct projects that offer innovative solutions. The first project aims to improve th...

Palavras Chave

Design, Design de produto - Aspectos ambientais - Sustentabilidade

Tipo

masterThesis

Revisão de Pares

Não

Coleções

[ULP-FAA] Dissertações

Esta página foi gerada automaticamente em 2024-11-15T02:17:36Z com informação proveniente do Repositório



Universidade Lusíada do Porto

Próteses pediátricas: design e exploração de métodos criativos

Ana Ricardina Cerqueira Fontoura da Cunha

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Design do Produto
2024



UNIVERSIDADE LUSÍADA DO PORTO

Próteses pediátricas: design e exploração de métodos criativos

Ana Ricardina Cerqueira Fontoura da Cunha

Dissertação apresentada à Faculdade de Arquitetura e Artes da Universidade Lusíada do Porto para a obtenção do grau de Mestre em Design do Produto

Orientadora: Professora Doutora Benedita Camacho

Porto, 2024



Universidade Lusíada do Porto

**Ana Ricardina
Cerqueira Fontoura
da Cunha**

**Próteses pediátricas:
design e exploração
de métodos criativos**

Dissertação apresentada à Universidade Lusíada do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Design do Produto, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Benedita Camacho

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais e ao meu namorado pela paciência e apoio durante a realização desta dissertação.

Especiais agradecimentos à minha orientadora, Prof. Doutora Benedita Camacho, pela disponibilidade e suporte que me deu durante a investigação.

Agradeço à biblioteca da Universidade da Medicina pelo apoio prestado durante a investigação.

palavras-chave

Design de produto, design sustentável, design e tecnologias, próteses infantis, design emocional, design funcional, análise de projetos, estética

resumo

Esta dissertação tem como objetivo principal analisar o estado atual das próteses infantis, entender os desafios e explorar os avanços na área. O foco principal é compreender o equilíbrio entre acessibilidade, durabilidade, inovação, tecnologia e personalização, funcionalidade e ergonomia das próteses pediátricas.

Esta investigação utilizou informações recolhidas através de livros e Websites, centrando-se em dois projetos distintos que oferecem soluções inovadoras. O primeiro projeto visa melhorar a usabilidade das próteses através do desenvolvimento de uma prótese funcional, enquanto o segundo projeto introduz tecnologias que permitem a personalização. A análise destes projetos revelou duas abordagens principais: design funcional e ergonómico versus design estético e funcional. O primeiro projeto criou com sucesso uma prótese funcional, mas não é atrativa para as crianças devido à personalização limitada. Em contraste, o segundo projeto integrou impressão 3D para produzir designs esteticamente apelativos para as crianças, mas enfrentou limitações de mobilidade. Em particular, a tecnologia atual não consegue reproduzir na perfeição o movimento natural do corpo humano.

No fim, é apresentada uma proposta de design para próteses biónicas de um braço de uma criança, inspiradas na prótese de Albert Manero e na prótese de Lego de Carlos Arturo Torres.

Em conclusão, ambas as abordagens têm as suas vantagens e desvantagens. A solução funcional possibilita que as crianças realizem diversas atividades, como desporto, brincar, saltar, correr e caminhar. A abordagem que possibilita a personalização, através da nova tecnologia de impressão 3D melhora muito a experiência das crianças, e reduz o custo da fabricação tradicional. Desenvolver um dispositivo funcional e esteticamente apelativo é um desafio devido às tecnologias que ainda se encontram em fase de experimentação.

keywords

Product design, sustainable design, design and technologies, children's prostheses, emotional design, functional design, analysis of projects

resume

The main aim of this dissertation is to analyse the current state of children's prostheses, understand the challenges and explore advances in the field. The main focus is to understand the balance between accessibility, durability, innovation, technology and personalisation, functionality and ergonomics of paediatric prostheses.

This research used information gathered from books and websites, focusing on two distinct projects that offer innovative solutions. The first project aims to improve the usability of prostheses by developing a functional prosthesis, while the second project introduces technologies that enable customisation. Analysing these projects revealed two main approaches: functional and ergonomic design versus aesthetic and functional design. The first project successfully created a functional prosthesis, but it is not attractive to children due to limited customisation. In contrast, the second project integrated 3D printing to produce aesthetically appealing designs for children, but faced mobility limitations. In particular, current technology cannot perfectly reproduce the natural movement of the human body.

Finally, a design proposal is presented for bionic prostheses for a child's arm, inspired by Albert Manero's prosthesis and Carlos Arturo Torres' Lego prosthesis.

In conclusion, both approaches have their advantages and disadvantages. The functional solution allows children to carry out various activities, such as sports, playing, jumping, running and walking. The approach that makes customisation possible through new 3D printing technology greatly improves the children's experience and reduces the cost of traditional manufacturing. Developing a functional and aesthetically appealing device is a challenge due to the technologies that are still at the experimental stage.

Índice

Agradecimentos	3
Índice.....	13
Índice de Figuras.....	15
Capítulo 1. Introdução ao tema	18
1.1 Contexto.....	18
1.2 Objetivo da Investigação.....	20
1.3 Abordagem metodológica	21
1.4. Problemática	23
1.5 Motivação.....	24
Capítulo 2. Estado da Arte das Próteses	26
2.1 Requisitos no Design de próteses	26
2.2 Principais problemas relacionados com próteses infantis	32
2.3 Materiais relativos a próteses infantis	34
2.4 Ergonomia relativa a próteses de mãos para crianças	35
2.5 Aspetos psicossociais	36
2.6 Regulamentação e Normas	36
2.7 Conclusão do capítulo 2.....	37
Capítulo 3. Estudos de caso	39
3.1 Requisitos do design de produto.....	39
3.2 Análise de quatro próteses de baixo custo em impressão 3D	49
3.3. Impressão 3D em dispositivos protéticos.....	57
3.4 Caso de estudo 1 “Projeto Unlimited – Prótese Infantil: Uma abordagem modular que cresce com o utilizador”	66
3.5 Caso de estudo 2 - “Limbitless Solutions - Membros protéticos biônicos de impressão 3D para crianças”	74
3.6 Conclusão do capítulo 3.....	80
Capítulo 4. Desenvolvimento Projetual	81
4.1. O problema e o Público-alvo.....	82
4.2. <i>Moodboard</i> , Conceito e inspirações.....	83
4.3. Geração de conceitos, desenhos de estudo, hipóteses e soluções, evolução das ideias, estudos da anatomia do braço/mão	89
4.4. Renders, materiais acabamentos e versões/cores	91
4.5. Desenhos técnicos.....	94

4.6. Produto final do exercício.....	95
4.7. Maquetes	104
Capítulo 5. Conclusões finais.....	105
Bibliografia.....	109

Índice de Figuras

Figura 1 – Vista de superior da prótese. Prótese de mão impressa em 3D para crianças. (National Library of Medicine, 2015).

Figura 2 – Prótese de mão com módulos de custo reduzido, impressa em 3D para crianças, da Universidade de Engenharia da Suíça (Zhaw, 2017)

Figura 3 – Prótese de mão de custo reduzido, impressa em 3D para crianças, da Universidade de Engenharia da Suíça (Zhaw, 2017)

Figura 4 – Prótese em testes de funcionamento (Diego Ronaldo, Cristian Giovanni e Pablo Raul, 2023)

Figura 5 – Prótese e-Nable (Health New, 2018)

Figura 6 – Medicamento Spritam® - Primeiro medicamento a ser impresso com impressora 3D (Jennifer Kite-Powell, 2016)

Figura 7 - Prótese Gyromotics – Forma (Gyromotics, n.d.)

Figura 8 - Ergonomia do dispositivo Gyromotics (Gyromotics, n.d.)

Figura 9 - Elemento de cor (Gyromotics, n.d.)

Figura 10 - Tipos de acabamentos e texturas (Gyromotics, n.d.)

Figura 11 - Logótipo Gyromotics (Gyromotics, n.d.)

Figura 12 - Ergonomia do dispositivo Limbitless Solutions (The Guardian, n.d.)

Figura 13 - Exemplos dos dispositivos desenvolvidos pela empresa Limbitless Solutions

Imagem retirada da empresa Limbitless Solutions (The Guardian, n.d.)

Figura 14 - Jogos desenvolvidos pela empresa Limbitless Solutions (Limbitless Solutions, n.d.)

Figura 15 - Prótese Lego de Carlos Arturo Torres (Pequenas Empresas Grandes Negócios, n.d.)

Figura 16 – Peça lego com forma retangular e tubos na parte superior (Brick Owl, nd.).

Figura 17 – Peças lego com diferentes formas e cores. Permitem a construção de um carro (Lego, n.d.).

Figura 18 – Brinquedo Mini Golf Playmobil (Playmobil, n.d.)

Figura 19 – Ilustração de Mauro Martins (Domestika, n.d.).

Figura 20 – Personagem Hello Kitty (ZenPop, n.d.).

Figura 21 – Tabela Moodboard. Imagem desenvolvida pelo autor

Figura 22 – Dispositivo protético de Alberto Manero - Limbitless Solutions (The Guardian, s.d.).

Figura 23 – Partes do dispositivo protético desenvolvido no software Illustrator. Imagem desenvolvida pelo autor

Figura 24 – Partes do dispositivo protético com placas de Lego desenvolvido no software Illustrator. Imagem desenvolvida pelo autor

Figura 25 – Dispositivo protético desenvolvido no software de modelação Blender. Vista lateral. Imagem desenvolvida pelo autor

Figura 26 – Dispositivo protético com vista superior. Imagem desenvolvida pelo autor

Figura 27 – Dispositivo protético com vista inferior. Imagem desenvolvida pelo autor

Figura 28 – Dispositivo protético com placa Lego encaixada – Vista superior. Imagem desenvolvida pelo autor

Figura 29 – Dispositivo protético com duas placas Lego encaixadas – Vista superior. Imagem desenvolvida pelo autor

Figura 30 – Placa de encaixe de mão e braço – Vista superior. Imagem desenvolvida pelo autor

Figura 31 – Placa de encaixe vista lateral. Imagem desenvolvida pelo autor

Figura 32 – Moodboard: Inspiração para a ilustração da figura 33. Imagem desenvolvida pelo autor

Figura 33 – Design com animais no estilo Doodle e Japonês. Imagem desenvolvida pelo autor

Figura 34 – Moodboard: Inspiração para a ilustração da figura 35. Imagem desenvolvida pelo autor

Figura 35 – Design unicórnio com nuvens e morangos. Imagem desenvolvida pelo autor

Figura 36 – Moodboard: Inspiração para a ilustração da figura 37. Imagem desenvolvida pelo autor

Figura 37 – Design panda. Imagem desenvolvida pelo autor

Figura 38 – Moodboard: Inspiração para a ilustração da figura 39. Imagem desenvolvida pelo autor

Figura 39 – Design arco-íris com estrelas. Imagem desenvolvida pelo autor

Figura 40 – Moodboard: Inspiração para a ilustração da figura 41. Imagem desenvolvida pelo autor

Figura 41 – Design pequenos-monstrinhos. Imagem desenvolvida pelo autor

Figura 42 – Moodboard: Inspiração para a ilustração da figura 43. Imagem desenvolvida pelo autor

Figura 43 – Design com gatos. Imagem desenvolvida pelo autor

Figura 44 – Moodboard: Inspiração para a ilustração da figura 45. Imagem desenvolvida pelo autor

Figura 45 – Design abstrato. Imagem desenvolvida pelo autor

Figura 46 – Moodboard: Inspiração para a ilustração da figura 47. Imagem desenvolvida pelo autor

Figura 47 – Design de ramo de flores cerejeira. Imagem desenvolvida pelo autor

Capítulo 1. Introdução ao tema

1.1 Contexto

O design de próteses para crianças é um campo multidisciplinar que visa criar dispositivos funcionais, confortáveis e esteticamente atraentes para crianças que sofreram amputações. Incorporando princípios de engenharia biomédica, ciência dos materiais, anatomia humana, psicologia e design industrial, procurando-se restaurar a mobilidade e funcionalidade, melhorando a qualidade de vida dos mais pequenos. No entanto, há desafios importantes a serem enfrentados, como o ajuste confortável e seguro, o custo elevado e a acessibilidade limitada, a durabilidade e a adaptação às mudanças do crescimento das crianças. As próteses precisam de suportar o uso diário, serem resistentes e leves o suficiente para não restringir as atividades das crianças, que são naturalmente ativas. O design estético também é relevante, afetando a aceitação social e a imagem pessoal da criança. Além disso, é crucial considerar o impacto psicológico e emocional da perda do membro e a importância de restaurar a habilidade funcional de forma adequada à idade e ao desenvolvimento da criança.

Esta dissertação de mestrado tem como objetivo realizar uma análise e comparação de dois estudos de caso exemplares relacionados a próteses para crianças. Esta abordagem visa investigar semelhanças e diferenças entre os casos, examinar como variáveis específicas influenciam os resultados e analisar as implicações dos achados para a teoria e prática na área de estudo em questão. A estrutura da dissertação incluirá seções dedicadas à apresentação dos dois casos individuais, seguidas por uma seção de análise comparativa, na qual serão destacados pontos de convergência e divergência entre os casos, identificados padrões ou tendências, e oferecidos *insights* sobre as implicações dos resultados.

Ao longo da dissertação, serão abordadas questões que revelam os principais desafios enfrentados pelos designers de próteses e os obstáculos enfrentados pelas crianças, incluindo o impacto psicológico da perda de membro e adaptação à prótese, a importância da reabilitação para a integração das crianças na sociedade, e os diferentes estágios do processo de criação de próteses, com foco em aspectos como personalização, usabilidade, funcionalidade, materiais e construção, inovação, identidade de marca e feedback do usuário. Também serão discutidos a importância do design de produto na área da saúde e os novos métodos de desenvolvimento de próteses.

A análise de dois projetos de duas empresas permitirá investigar diferentes abordagens para solucionar os problemas enfrentados pelas crianças no desenvolvimento de próteses pediátricas. Um dos desafios mais complexos é o rápido crescimento das crianças durante os anos de formação, que muitas vezes torna as soluções das próteses tradicionais inadequadas para acompanhar esse crescimento contínuo. No entanto, surgiram soluções inovadoras que não só fornecem dispositivos protéticos mais funcionais e confortáveis, mas também aliviam a pressão financeira e emocional das famílias.

Com essa análise, procurara-se examinar os princípios do design de produto e as características dessas duas soluções, demonstrando seu potencial para avançar no campo

das próteses pediátricas. Essas soluções têm o potencial de melhorar significativamente a qualidade de vida das crianças e também de aliviar os desafios enfrentados pelas famílias em termos financeiros, logísticos e emocionais.

1.2 Objetivo da Investigação

O desenvolvimento de próteses infantis dispõe de um conjunto distinto de desafios que os diferenciam do design de dispositivos protéticos para adultos. Assim, esta dissertação visa explorar os desafios específicos no design de próteses infantis, as suas implicações e os novos métodos inovadores. Este relatório de investigação pretende:

- Compreender o impacto do crescimento durante a projeção da prótese. Ao contrário dos adultos, as crianças estão em constante crescimento, necessitando de ajustes frequentes ou substituições de peças. O objetivo é explorar como é que designers solucionam esse obstáculo e como a tecnologia pode oferecer soluções mais econômicas e eficientes face ao crescimento rápido das crianças.
- Investigar aspetos psicológicos e emocionais do uso de próteses. A projeção da prótese e o impacto da perda do membro, proporcionam eventos marcantes para o psicológico e emocional das crianças. Assim, esta pesquisa tem como objetivo investigar como esses aspetos são considerados no processo de design e como mecanismos de apoio são incorporados para ajudar as crianças a se adaptarem.
- Analisar a função e a importância do design estético na criação de uma imagem pessoal para as crianças. A aparência de um dispositivo protético afeta a aceitação social e a imagem de uma criança, que por consequência, afeta o seu psicológico e emocional. Pretende-se investigar a importância da estética no design de próteses infantis e examinar como as escolhas de design podem impactar o bem-estar psicológico da criança.
- Avaliar a capacidade funcional e usabilidade de próteses infantis. O principal objetivo de um dispositivo protético é restaurar a funcionalidade. No entanto, garantir que as crianças possam usar efetivamente as suas próteses é um desafio. Assim, pretende-se analisar e compreender como a idade e os estágios de desenvolvimento são considerados no processo de design, tecnologias atuais usadas para melhorar a funcionalidade do dispositivo e como a reabilitação pode melhorar a usabilidade.
- Avaliar os materiais e os métodos utilizados por engenheiros e designers para desenvolverem próteses duráveis e resistentes. As crianças apresentam uma necessidade maior de realizar atividades, em comparação com os adultos, como resultado, os dispositivos protéticos para crianças necessitam de ser projetados para suportar maior desgaste. Assim, com esta investigação pretende-se avaliar a durabilidade, robustez, materiais e métodos utilizados atualmente para a projeção de próteses infantis, bem como o impacto da evolução tecnológica no design.

Compreender os desafios no desenvolvimento de próteses infantis pode melhorar na sua projeção e informar pesquisas futuras. Ao considerar o crescimento, durabilidade, estética, impacto psicológico e físico, a funcionalidade e a usabilidade, pode avançar no campo do design de próteses pediátricas. Esta pesquisa fornecerá informações sobre as práticas atuais e como o avanço tecnológico pode melhorar o design de próteses e atender a diversos obstáculos como o custo e o tempo de fabricação. O objetivo desta dissertação é de contribuir com investigação para o desenvolvimento de próteses pediátricas mais eficazes e fáceis de usar.

1.3 Abordagem metodológica

É fundamental adaptar a metodologia de pesquisa de acordo com as necessidades específicas de cada **investigação de design do produto**, podendo ser necessário combinar diferentes abordagens ou ajustá-las de acordo com o contexto e os recursos disponíveis.

Ao comparar as estruturas do método científico e do método de design, observamos que ambos envolvem a aplicação de uma metodologia definida para investigar questões específicas. Ambos os métodos também incluem um processo de investigação de fundo para definir hipóteses e pressupostos conceituais e operacionais. Ambos visam testar e validar soluções para problemas identificados e compartilhar os resultados obtidos. No entanto, existem diferenças metodológicas entre o “desenvolvimento de um projeto de design em um contexto profissional” e um “projeto de design desenvolvido num contexto de pesquisa científica”. Estas diferenças incluem a ênfase na análise versus síntese, a produção de um produto versus conhecimento científico, a exploração de possibilidades versus probabilidades e a abordagem normativa baseada em preferências versus uma abordagem empírica baseada em fatos (fonte).

Numa pesquisa científica, como se pretende nesta dissertação, a questão de pesquisa nem sempre surge da identificação de um problema de design específico, mas muitas vezes é derivada da identificação de lacunas no conhecimento existente sobre um determinado tema. A fase de investigação aprofundada, incluindo o Estado da Arte, permite validar a pertinência da questão formulada e definir hipóteses de resposta.

Durante a execução deste estudo, podemos integrar métodos na procura de resultados inovadores e registando metodicamente todo o processo. Após a validação dos resultados teórico-práticos, voltamos à análise de dados e a elaboração das conclusões da pesquisa, verificando o seu alinhamento com as hipóteses e divulgando os resultados alcançados.

A metodologia de pesquisa adotada neste estudo foi essencialmente a dos Estudos de Caso. Esta abordagem envolve examinar exemplos reais de produtos ou projetos relacionados para obter insights sobre os desafios enfrentados, soluções implementadas e lições aprendidas. Os Estudos de Caso serviram como referência para orientar um pequeno exercício do prático de design do produto, proporcionando uma tentativa de explorar oportunidades em aberto na área das próteses para braços de crianças.

Assim, neste projeto de design desenvolvido num contexto de pesquisa científica, a metodologia proposta traduz-se nas diferentes fases:

A | fundamentação teórica do projeto – definição dos objetivos e metodologias

B | estado da arte - análise de próteses para crianças

. principais problemas relacionados com próteses infantis

. design de próteses

. caracterização do design de produto

. prótese de baixos custo

. impressão 3D

C | proposta de exercício projetual – definição de orientações estratégicas e projetos de intervenção

D | conclusões

1.4. Problemática

O desenvolvimento de próteses infantis não aborda apenas a produção, mas diversas questões que requerem a preocupação do designer de próteses, que inclui conforto, adaptabilidade, funcionalidade e acessibilidade. Questões como:

- Como o crescimento da criança impacta no desenho da prótese?
- Quais são os maiores desafios que as crianças enfrentam na adaptação às próteses?
- O que difere nas necessidades das crianças para as necessidades de um adulto?
- Que tipo de custos existem durante o design de próteses?
- A prótese dispõe de uma interface de fácil utilização para uma criança?
- A prótese é robusta e resistente o suficiente para acomodar as atividades essenciais na vida da criança?
- A aparência da prótese impacta de forma positiva na imagem da criança?
- De que forma é que a prótese impacta o aspecto psicológico e físico da criança?
- Os custos associados à produção e materiais impedem que a criança usufrua da prótese?
- A ergonomia da prótese é confortável e eficiente para a criança?
- De que forma é que o treino e a reabilitação impactam na boa adaptação à prótese?

A adaptabilidade da prótese ao crescimento e desenvolvimento rápido das crianças, é um dos obstáculos mais complexos de solucionar, uma vez que envolve ajustes e adaptações constantes nas próteses. Este fator, tem um custo adicional para as famílias, o que pode impedir que a criança aceda à prótese com as alterações. O processo de desenvolvimento de prótese apresenta um custo elevado, bem como a demora para a fabricação de cada elemento do dispositivo protético. Cada peça da prótese, necessita de ser projetada à medida exata do tamanho e da forma do membro da criança. Ao contrário dos adultos, as crianças sofrem diversas alterações no corpo e nas habilidades cognitivas. Este fator, é um dos problemas mais complexos para engenheiros e designers protéticos, uma vez que é necessário que a prótese apresente uma estrutura de fácil adaptação ao rápido crescimento da criança.

Os materiais, desenho, fabricação e a troca de peças que possam atender ao crescimento da criança, bem como pessoas especializadas na área, apresentam um custo elevado. Este fator, impede que diversas crianças possam usufruir de uma prótese única para os seus desafios. A demora da fabricação das próteses é outra das problemáticas que impede na boa adaptação física e psicológica. Os dispositivos protéticos são desenhados, fabricados e construídos de modo atender às necessidades específicas de cada criança, uma vez que cada criança apresenta desafios, tamanhos e formas únicas. Como resultado, não existe um tamanho ou formato universal para as crianças. Todo o processo de desenvolvimento de próteses infantis, é demorado, devido à necessidade de avaliar a estrutura da criança, ao aspecto financeiro familiar, analisar os métodos e materiais que se adequam aos requisitos, a habilidade cognitiva e a construção de uma interface simples para a criança se adaptar e manusear facilmente. A demora da fabricação das peças ou da prótese pode impedir que a criança usufrua da prótese finalizada, uma vez que as medidas e as habilidades da criança já se encontram desatualizadas devido ao rápido crescimento.

Para as crianças, a prótese necessita de cumprir a função do membro perdido e de contribuir para a sua imagem pessoal e autoestima. A natureza ativa da criança é um obstáculo e um fator importante a considerar durante o desenho do dispositivo protético, pois a prótese pode apresentar sinais de desgaste devido as pressões constantes durante as atividades. Desta forma, é essencial que a prótese seja resistente, durável e leve para fácil utilização. No entanto, desenvolver uma prótese robusta, resistente e leve, apresenta um custo. A questão económica impede que as crianças com dificuldades financeiras usufruam de próteses mais eficientes.

A funcionalidade e usabilidade da prótese é também um dos obstáculos no design de próteses. O objetivo final do dispositivo protético é de restaurar o possível da função original do membro perdido. Nas crianças, essa função é complexa pelo desenvolvimento físico e cognitivo contínuo. O design deve ser adaptável e fácil para uma criança usar em diferentes estágios de seu desenvolvimento, uma vez que a má projeção leva ao desinteresse e abandono da prótese. Este fator, leva a que a criança não utilize a prótese como ferramenta na realização de atividades.

Geralmente, as próteses tradicionais são fabricadas com cores e texturas simples com pouca consideração pelo apelo estético. A aparência básica sem consideração pela cor, acessórios, texturas, que, geralmente, é apreciada pelas crianças, pode ser um fator que pode levar ao abandono da prótese. O design estético de uma prótese influencia na aceitação social e na imagem pessoal do utilizador. As crianças preocupam-se como outras crianças as observam, geralmente, sentem vergonha e constrangimento pela aparência mecânica do dispositivo protético.

Esta dissertação visa enfatizar os problemas e analisar como os avanços tecnológicos podem proporcionar novas soluções funcionais e estéticas para as crianças. O objetivo é de analisar a evolução tecnológica, a ciência dos materiais e os benefícios que estas áreas trazem para o desenvolvimento das próteses infantis. No final da investigação, são analisados dois estudos de caso, com projetos distintos que apresentam soluções para os problemas das crianças.

1.5 Motivação

A minha curiosidade sobre o design de produto surgiu no momento que comecei a trabalhar no mercado de trabalho, numa empresa que desenvolvia produtos para hospitais e clínicas.

Observar engenheiros e designers de produto a debaterem diferentes designs, considerando fatores como a usabilidade, o conforto e a estética, despertou a minha curiosidade em aprofundar os meus conhecimentos em design de produto.

Para desenvolver esta tese de mestrado sobre a conceção de próteses para crianças, fui impulsionada por uma notícia, que descrevia a dificuldade enfrentada por uma mãe e a sua filha com uma prótese pouco funcional e apelativa para a jovem. A prótese não permitia brincar, necessitava constantemente de trocar peças devido ao crescimento da criança, sendo um fator muito dispendioso e lento. Este fator motivou-me em querer compreender

mais o processo de desenvolvimento de próteses, o impacto de uma prótese na vida de uma criança, quais são os principais problemas que as crianças enfrentam, o impacto social provocado pela amputação e enquanto portadoras de próteses pouco apelativas para um público tão jovem. Desenvolvi um especial interesse em testar a minha capacidade de tentar desenvolver um design mais adorável e carinhoso para crianças.

É importante ressaltar que a minha formação não é em design de produto, no entanto, procurei que este fator não fosse um impedimento para me formar e procurar saber mais sobre este campo e prestar algum contributo para esta vasta área.

Capítulo 2. Estado da Arte das Próteses

2.1 Requisitos no Design de próteses

Design de próteses é um campo interdisciplinar que trabalha com os princípios de engenharia, medicina e design que visam recuperar a mobilidade perdida, recuperar a identidade pessoal e melhorar a qualidade de vida. O design de próteses evoluiu conforme a evolução do Homem e dos avanços do conhecimento de materiais, tecnologia e do corpo humano.

O processo de design inicia com uma avaliação das necessidades, estilo de vida e objetivos específicos de cada pessoa. A seleção de materiais desempenha um papel muito importante no design protético, pois afeta a funcionalidade e o conforto da prótese. Com os avanços no conhecimento, materiais leves e duráveis que oferecem maior conforto, flexibilidade e longevidade foram colocados nas próteses. Materiais que incluem fibra de carbono, titânio, plásticos e silicones fornecem maior resistência e adaptabilidade (Pranav G. Kulkarni, Namuna Paudel, Shilpa Magar, Maria Fernanda Santilli, Shubham Kashyap, Akash Kumar Baranwal, Paolo Zamboni, Priyank Vasavada, Aman Katiyar e Ajay Vikram Singh, 2023). A integração de materiais avançados também facilita o desenvolvimento de próteses personalizadas que possibilita a criação de uma nova imagem para os pacientes. A incorporação de microprocessadores, sensores e inteligência artificial permite um controle mais preciso e movimentos mais naturais. Atualmente, pesquisadores, engenheiros e profissionais médicos encontram-se a desenvolver próteses biônicas que possam interpretar sinais do membro saudável que permite interações intuitivas. Os princípios do design, centrados no paciente, orientam na projeção das próteses com foco no conforto, funcionalidade e na estética de cada paciente. Considerações ergonômicas, como distribuição de peso, alinhamento e ajuste, garantem maior conforto e minimizam lesões corporais (Pranav G. Kulkarni, Namuna Paudel, Shilpa Magar, Maria Fernanda Santilli, Shubham Kashyap, Akash Kumar Baranwal, Paolo Zamboni, Priyank Vasavada, Aman Katiyar e Ajay Vikram Singh, 2023). A integração de elementos de design que se aproximam das partes naturais do corpo humano, como a cobertura semelhante à pele e texturas realistas, aprimoram a imagem pessoal do paciente e a aceitação social.

Conforme a pesquisa e o desenvolvimento no design protético continuam a evoluir, há um foco crescente na melhoria do feedback sensorial e na criação de uma integração mais perfeita entre a prótese e o corpo. A tecnologia da impressão 3D, é uma solução para melhorar a funcionalidade e a personalização da prótese.

Na pesquisa e desenvolvimento do design protético, diversos requisitos podem ser considerados para garantir que as próteses atendam às necessidades dos usuários. Alguns desses requisitos incluem: funcionalidade, conforto, estética, personalização/customização, durabilidade, adaptabilidade, facilidade de uso, acessibilidade.

Funcionalidade

A prótese deve oferecer funcionalidade adequada para permitir que o usuário execute as atividades diárias com facilidade. Isso inclui garantir que a prótese seja capaz de realizar uma ampla gama de movimentos e funções que sejam relevantes para o usuário.

Conforto

É essencial que a prótese seja confortável de usar durante longos períodos, sem causar desconforto ou irritação à pele. Isso requer considerações cuidadosas sobre os materiais utilizados, o ajuste da prótese ao corpo e a distribuição adequada do peso.

Estética

A estética da prótese é importante para a autoestima e a aceitação social do usuário. O design deve ser atraente e discreto, se desejado pelo usuário, para que ele se sinta confiante ao usar a prótese em público.

Personalização / Customização

A personalização de próteses é importante no design, uma vez que se concentra na adaptação dos membros protéticos para atender às necessidades de cada paciente, preferências e requisitos funcionais de cada pessoa (Kai Xu e Shengfeng Qin, 2023). A personalização visa aprimorar o conforto, funcionalidade e estética das próteses, melhorando a experiência e a qualidade de vida. Assim, o design centrado no utilizador visa responder a todas as necessidades dos pacientes como suporte e estabilidade, conforto, personalização estética, custo, entre outros. As próteses devem ser personalizáveis para atender às preferências individuais dos usuários. Isso pode incluir opções de cores, padrões e acessórios que permitam que o usuário personalize sua prótese de acordo com sua personalidade e estilo.

Usabilidade / Durabilidade

A usabilidade do design de próteses trata de facilitar o uso, a eficiência e eficácia de modo a responder às necessidades do paciente. Assim, equipas de profissionais desenvolvem próteses fáceis de manusear, confortáveis e que facilitam nas atividades diárias do paciente. As principais considerações no aprimoramento da usabilidade do design de próteses passam por design centrado no paciente, controlo e funcionalidade, durabilidade e manutenção e a experiência e o design interativo. As próteses devem ser duráveis e capazes de suportar o uso diário, incluindo atividades físicas e movimentos repetitivos. Isso requer a seleção de materiais resistentes e métodos de fabricação robustos.

Adaptabilidade

As próteses devem ser capazes de se adaptar às mudanças no corpo do usuário ao longo do tempo, especialmente em crianças em crescimento. Isso pode exigir sistemas de ajuste ou componentes modulares que possam ser facilmente modificados ou substituídos.

Facilidade de uso

A prótese deve ser fácil de usar e manter, mesmo para usuários com habilidades motoras limitadas. Isso pode envolver o desenvolvimento de interfaces intuitivas e sistemas de fixação simples.

Acessibilidade

As próteses devem ser acessíveis em termos de custo e disponibilidade para garantir que todas as pessoas que necessitam delas possam obtê-las. Isso requer considerações sobre os custos de produção, distribuição e manutenção das próteses.

Ao levar em conta esses requisitos durante a pesquisa e o desenvolvimento do design industrial protético, é possível criar próteses que melhorem significativamente a qualidade de vida e a inclusão social dos usuários

Por outro lado, será ainda necessário reconhecer a importância do Design centrado no paciente, Design iterativo, o Design universal e o Design prático *versos* design emocional.

Design centrado no paciente

Esse enfoque coloca as necessidades, desejos e experiências dos pacientes no centro do processo de design. Isso envolve a compreensão profunda das experiências e perspectivas dos usuários, bem como a colaboração ativa com eles ao longo de todas as etapas do processo de design. O objetivo é criar soluções que sejam verdadeiramente significativas e úteis para os pacientes, levando em consideração não apenas as suas necessidades físicas, mas também as suas necessidades emocionais e psicológicas.

Design centrado no paciente aborda e centra as necessidades e preferências do paciente no processo da produção da prótese (Don Norman, 1990). Para melhorar a experiência do paciente, é necessário a recolha de informações pessoais, através de entrevistas e pesquisas, de modo a compreender os objetivos, desafios e expectativas do paciente. Os designers preocupam-se em envolver o paciente durante todo o processo para garantir que a prótese respeita as suas preferências.

“User-centered design, also called human-centered design, was defined in the late 1980s by D. Norman, in his book *The design of everyday things*....It aims to design products that are easily usable and immediately understandable, thanks to a certain number of design principles, for example, the importance of affordances (the user understands what to do just by looking).”

(Kamalpreet Sandhu, Karupppasamy Subburaj e Saša Ćuković, 2022)

O processo de desenvolvimento de próteses percorre várias etapas, começando pela avaliação das necessidades do paciente. A avaliação abrange todas as necessidades, preferências, objetivos e desafios únicos dos pacientes, de modo a orientar todo o processo de design.

Design iterativo

O design iterativo envolve a criação de protótipos e iterações contínuas com base no feedback dos usuários e na avaliação dos resultados. Em vez de seguir um único caminho linear de desenvolvimento, o processo de design é flexível e adaptativo, permitindo que ajustes e melhorias sejam feitos ao longo do tempo. Isso ajuda a garantir que o produto final atenda efetivamente às necessidades dos usuários e seja refinado até atingir um alto nível de qualidade e usabilidade.

Recolher o ponto de vista do paciente juntamente com avaliações e testes sistemáticos, permite a identificação de problemas no design e no refinamento da prótese. A recolha da opinião do paciente e o design iterativo são fatores importantes no design de prótese, que envolvem a participação dos pacientes no processo de desenvolvimento para recolha de informações pessoais e melhorar o design com base nas necessidades.

O design iterativo é uma metodologia com um processo cíclico de prototipagem, teste, análise e aprimoração do produto (Interaction Design Foundation, 2023). Design iterativo tem como objetivo melhorar o produto através do ponto de vista do paciente e de testes de usabilidade. O processo de design iterativo no design de próteses consiste em cinco etapas básicas: identificação, prototipagem, implementação, avaliação, análise e refinamento. A primeira etapa é a identificação do problema e as necessidades de resposta da prótese com base nos obstáculos do paciente. Após a identificação do problema, desenvolve-se um design para a prótese, com todos componentes mecânicos e eletrônicos necessários para atender as necessidades do paciente, para no fim fabricar um protótipo. A prototipagem tem como objetivo testar e avaliar diferentes conceitos de design e obter a opinião do paciente. Os protótipos permitem avaliar o ajuste, a função, a estética e outros aspetos do design. Uma vez projetado o protótipo, segue-se a avaliação do sistema funcional, que é testado e avaliado pelos pacientes com objetivo de verificar se atende às necessidades pretendidas e aos requisitos de usabilidade. Por fim, é feito o refinamento da prótese que baseia-se nas melhorias necessárias que foram recolhidas na fase de avaliação e com base nos comentários do paciente, que pode envolver o ajuste e conforto, mecanismos de controlo da prótese, estética ou outros aspetos do dispositivo.

A participação do paciente facilita na projeção da prótese evitando esforços desnecessários para equipa e recursos que o paciente não necessita. Contudo, o processo não termina com a entrega inicial do dispositivo ao paciente, sendo importante o acompanhamento e a avaliação a longo prazo. O acompanhamento permite avaliar a durabilidade, o desempenho e a satisfação do paciente com a prótese. Assim, a recolha da opinião dos pacientes e outros dados relevantes do desempenho da prótese durante o funcionamento nas atividades diárias podem influenciar nos futuros projetos e melhorias de design.

Design Universal

O design universal visa criar produtos, ambientes e sistemas que sejam acessíveis e utilizáveis por todas as pessoas, independentemente de suas habilidades, idade ou status. Isso envolve a consideração de uma ampla variedade de características humanas, como tamanho, habilidades motoras, cognitivas e sensoriais. O objetivo é eliminar barreiras e

promover a inclusão, garantindo que todos os usuários possam interagir e se beneficiar do produto de maneira eficaz e sem discriminação.

Design que cumpra as normas principais de produto, como praticidade, usabilidade, estético e funcionalidade, pode aumentar o envolvimento do paciente e incentivar a usufruir. Os produtos de saúde devem ser projetados para atender às necessidades de diversos usuários, incluindo com deficiências ou necessidades especiais. Com isto, os produtos devem ser projetados através dos conceitos do design universal. Os princípios de design universal envolvem a projeção de produtos, ambientes, programas e serviços que possam ser utilizados por diversas pessoas, sem necessitar de adaptação ou design especializado. Contudo, design universal não atende a solução única para todas as pessoas, devido aos princípios da diversidade e a inclusão na prática do design, que abrange uma extensa variedade de preferências e habilidades individuais (Ronald L. Mace, 1997).

“Universal design is design that’s usable by all people, to the greatest extent possible, without the need for adaptation or specialized design.”

(Ron Mace, s.d.)

Os princípios do design universal de Ronald Mac atendem:

- Uso equitativo que defende o design útil e comercializável para pessoas com diversas habilidades;
- Flexibilidade de uso que acomoda diversas preferências e habilidades individuais;
- Uso Simples e Intuitivo que visa um design de fácil compreensão, abstraindo da experiência, conhecimento, habilidades linguísticas ou nível de concentração atual do usuário;
- Informação perceptível que visa comunicar informações necessárias de forma eficaz ao usuário, a despeito das condições ambientais ou das habilidades sensoriais do usuário;
- Tolerância ao erro que minimiza os perigos e as consequências adversas de ações acidentais ou não intencionais de um projeto;
- Baixo esforço físico que tem como objetivo a projeção do design que possa ser usado de forma eficiente e confortável e com um mínimo de fadiga;
- Tamanho e espaço para abordagem e uso visam projetar um design com tamanho e espaço apropriados para abordagem, alcance, manipulação e uso, independentemente do tamanho do corpo, postura ou mobilidade do usuário.

Design universal aumenta a qualidade de vida de um grupo grande de pessoas, criando produtos e sistemas que abrangem várias considerações, reduzindo a necessidade de criar produtos com necessidades específicas para um indivíduo (*Edward Steinfeld and Jordana L. Maisel, 2012*). Design universal tem como objetivo a projeção de produtos que possam ser usados por pessoas de todas as idades, habilidades e origens.

Design prático versus Design emocional

O design prático e o design emocional são duas considerações distintas do design que abordam e priorizam diferentes aspectos da experiência do paciente. O design prático prioriza a funcionalidade e usabilidade da prótese, enquanto o design emocional foca na ligação emocional entre o paciente e o produto.

O design prático prioriza a funcionalidade e a usabilidade em oposição da estética e do aspecto emocional. Segundo Don Norman, o principal objetivo do design prático é tornar um produto fácil de usar e eficiente para atender às necessidades das pessoas. O design prático concentra-se em melhorar a experiência do utilizador, evitando esforços desnecessários para usufruir do produto, reduzindo erros e aumentando a satisfação da experiência da pessoa. O principal objetivo do design prático é melhorar a usabilidade, eficiência, acessibilidade, adaptabilidade e a experiência do produto para o usuário final. O design emocional, ao contrário do design prático, tem como objetivo desenvolver um design que conecte emocionalmente a pessoa e o produto. Segundo Norman, o design emocional prioriza a criação de produtos que provoquem emoções positivas nos utilizadores, como alegria ou calma. A aparência e a estética de uma prótese podem impactar na autoestima, na imagem corporal e no bem-estar emocional do paciente. O design emocional visa desenvolver próteses que ressaltam a identidade dos pacientes, incorporando opções de design personalizados que permite que os pacientes optem por designs, cores e padrões que se adequam com as suas preferências e estilo. Estes elementos contribuem para o bom psicológico dos pacientes, facilitando o processo de aceitação da prótese. Design prático e emocional, apesar de apresentarem metodologias diferentes, visam melhorar a experiência do utilizador. O design prático melhora a experiência de utilização, através produtos eficientes e rápidos de resposta, no entanto, o apelo estético ou emocional é necessário para criar uma forte ligação entre o utilizador e o produto. As crianças preocupam-se com a sua identidade e imagem corporal, que tem grande impacto na aceitação dos colegas e amigos. O design emocional pode ajudar a criar experiências mais interessantes para as crianças, uma vez que quanto mais emocionalmente envolvidas as crianças estão, mais propensas estão a utilizar a prótese por longos períodos.

Segundo Don Norman as pessoas interpretam produtos com designs esteticamente agradáveis como mais fáceis de usar. Produtos que provocam emoções positivas podem contribuir para o bem-estar psicológico dos utilizadores. O bom design de prótese cria um equilíbrio entre a funcionalidade e a estética. Essa dicotomia no design de produto protético refere-se à consideração simultânea de aspectos práticos e emocionais no desenvolvimento de próteses. O design prático concentra-se na funcionalidade, durabilidade e eficiência da prótese, garantindo que ela atenda às necessidades físicas do usuário e seja capaz de realizar as tarefas pretendidas de forma eficaz. Por outro lado, o design emocional reconhece a importância da estética, da experiência sensorial e da conexão emocional na aceitação e no uso contínuo da prótese pelo usuário. Isso envolve a criação de produtos que não apenas funcionem bem, mas também inspirem confiança, orgulho e uma sensação de identidade para o usuário. Enquanto o design prático visa a eficácia, o design emocional procura a conexão pessoal e a melhoria da qualidade de vida do usuário através da estética e da experiência emocional. Encontrar um equilíbrio entre esses dois aspectos é essencial

para criar próteses que sejam verdadeiramente úteis, confortáveis e significativas para os usuários.

2.2 Principais problemas relacionados com próteses infantis

Ao longo dos anos, a tecnologia protética tem evoluído rapidamente, desde simples membros de madeira ou metal até próteses avançadas que incorporam eletrônica e robótica. No entanto, apesar de todos os avanços alcançados, ainda existem vários desafios que precisam ser enfrentados no desenvolvimento de próteses. Esses desafios variam desde garantir ajuste e conforto adequados até alcançar movimento e controle naturais e superar as limitações da tecnologia atual.

Alguns dos principais problemas relacionados com próteses infantis incluem: Próteses Infantis / Funcionalidade Limitada; O crescimento e desenvolvimento / Ajuste e Conforto; Funcionalidade e usabilidade / Durabilidade e Resistência; Impacto psicológico e social / Aceitação Social; Custo e Acesso; Desenvolvimento Tecnológico.

Próteses Infantis / Funcionalidade Limitada

As próteses têm o potencial de melhorar a qualidade de vida das crianças, permitindo que possam recuperar parte do seu cotidiano. No entanto, o desenvolvimento de próteses para crianças apresenta desafios muito diferentes aos adultos.

Algumas próteses podem ter funcionalidade limitada, o que pode restringir as atividades físicas e sociais das crianças. É essencial que as próteses permitam uma ampla gama de movimentos e atividades para promover o desenvolvimento saudável e a participação plena das crianças em suas vidas diárias.

O crescimento e desenvolvimento / Ajuste e Conforto

Os corpos das crianças estão em constante crescimento e desenvolvimento, o que pode dificultar o projeto de próteses que acomodam mudanças no tamanho e formato dos membros ao longo do tempo. Segundo o estudo de *Elaine Biddiss e Tom Chau, "Upper limb prosthesis use and abandonment: A survey of the last 25 years"* de 2007, é constatado que as próteses infantis requerem ajustes e substituições frequentes para acompanhar seu crescimento e desenvolvimento. As próteses devem ser confortáveis e ajustáveis para se adaptarem ao crescimento das crianças em desenvolvimento. O ajuste inadequado pode causar desconforto, irritação e até mesmo danos à pele.

Funcionalidade e usabilidade / Durabilidade e Resistência

As crianças, em comparação aos adultos, têm mais necessidades e preferências na funcionalidade e usabilidade de suas próteses. A necessidade da prótese de ser leve, resistente e de fácil uso, para que possam participar em diversas atividades. Ao contrário de um adulto, a criança pode ter alguma dificuldade em apresentar preocupação com os cuidados a ter com a prótese, durante as atividades de lazer com outras crianças. Assim, é importante que a prótese apresente resistência a eventuais quedas ou choques.

As próteses infantis precisam ser duráveis e resistentes o suficiente para suportar o estilo de vida ativo das crianças. Isso inclui resistência ao desgaste, impacto e uso frequente em diferentes ambientes e atividades.

Impacto psicológico e social / Aceitação Social

Em comparação com os adultos, as crianças apresentam maior dificuldade em lidar com algumas emoções e acontecimentos negativos. O uso de próteses pode ter um grande impacto no bem-estar psicológico e social de uma criança, tanto positiva quanto negativamente. O sentimento de vergonha sobre diferença física é muito comum nas crianças, porém a prótese apresenta uma função importante no alívio das emoções negativas e na recuperação de alguns dos movimentos naturais. Contudo, as crianças com próteses podem experimentar sentimentos de raiva, frustração e baixa autoestima relacionados às limitações de suas próteses.

Segundo o artigo de *Senem Demirdel* PT, PhD, a imagem corporal é uma estrutura psicológica multidimensional que inclui percepções e atitudes pessoais sobre o corpo. A imagem corporal é um elemento importante para crianças e adolescentes e afeta o desenvolvimento da identidade, funções diárias e relações sociais. As crianças podem se sentir diferente das outras crianças, o que pode causar desconforto com o próprio corpo. Com isto, podem sentir diversas emoções como ansiedade, depressão, baixa autoestima, vergonha, frustração entre outros. Os pais apresentam uma função importante na aceitação da criança à prótese, uma vez que as emoções negativas são facilmente captadas pelas crianças.

Crianças com próteses podem enfrentar desafios relacionados à aceitação pelos colegas e à autoestima. A estética da prótese e sua capacidade de se integrar de forma natural ao corpo da criança desempenham um papel crucial na aceitação social.

Custo e Acesso

O alto custo das próteses e a falta de acesso a dispositivos adequados podem representar um desafio significativo para muitas famílias. A acessibilidade financeira e a disponibilidade de serviços de reabilitação são essenciais para garantir que todas as crianças que precisam de próteses possam obtê-las.

Desenvolvimento Tecnológico

A rápida evolução da tecnologia de próteses pode resultar em desafios relacionados à disponibilidade de dispositivos atualizados e compatíveis com as necessidades específicas das crianças. Manter-se atualizado com as últimas inovações tecnológicas pode ser crucial para garantir o melhor atendimento às crianças com deficiência.

Abordar esses problemas requer uma abordagem holística que leve em consideração não apenas os aspectos técnicos e funcionais das próteses, mas também as necessidades emocionais, sociais e econômicas das crianças e das suas famílias.

2.3 Materiais relativos a próteses infantis

Materiais Avançados

Investigação sobre os materiais utilizados na construção de próteses infantis, como plásticos, ligas metálicas, silicones e materiais compostos, e seus benefícios em termos de durabilidade, flexibilidade e conforto.

Os materiais utilizados na construção de próteses infantis podem variar dependendo do tipo de prótese, das necessidades específicas da criança e das preferências do fabricante. No entanto, alguns dos materiais mais comuns incluem:

Plásticos (como o polietileno de alta densidade e o polipropileno): São frequentemente usados na fabricação de componentes estruturais das próteses, devido à sua durabilidade, leveza e capacidade de moldagem (Michael J. Quigley, s.d.).

Silicone: É frequentemente usado para criar revestimentos internos das próteses (Michael J. Quigley, s.d.), proporcionando conforto e amortecimento para a pele da criança. O silicone é flexível, resistente e pode ser facilmente moldado para se adaptar ao formato da parte do corpo onde a prótese será utilizada.

Metal (como alumínio, titânio e aço inoxidável): É utilizado em componentes mecânicos das próteses, como articulações e suportes, devido à sua resistência e durabilidade (Kevin K Chui, Milagros Jorge, Sheng-Che Yen, Michelle M. Lusardi, 2019).

Espuma: Pode ser usada para criar acolchoamentos internos nas próteses (Michael J. Quigley, s.d.), oferecendo conforto adicional e proteção para a pele da criança.

Tecidos e materiais têxteis: São utilizados para revestir as partes externas das próteses, proporcionando uma aparência mais estética e confortável. Esses materiais podem incluir tecidos sintéticos, como o nylon, e até mesmo tecidos personalizados com padrões ou designs específicos (Michael J. Quigley, s.d.).

Materiais impressos em 3D: Com o avanço da tecnologia de impressão 3D, materiais como o PLA (ácido polilático) e o ABS (acrilonitrila butadieno estireno) são cada vez mais utilizados na fabricação de próteses (Manish Kumar, Krishnanand, A. Varshney, Mohammad Taufik, 2023). A impressão 3D permite a criação de próteses altamente personalizadas e adaptadas às necessidades individuais de cada criança.

É importante que os materiais utilizados na construção de próteses infantis sejam seguros, duráveis, confortáveis e adequados para a pele sensível das crianças. Além disso, é essencial considerar a facilidade de limpeza e manutenção dos materiais, bem como sua capacidade de resistir ao desgaste e à atividade diária das crianças.

2.4 Ergonomia relativa a próteses de mãos para crianças

Design Ergonómico

Estudo sobre o design ergonómico das próteses, considerando a adaptação ao crescimento das crianças, conforto durante o uso prolongado e minimização de pontos de pressão e atrito.

O design ergonómico das próteses de mãos para crianças envolve várias preocupações específicas para garantir que o dispositivo seja confortável, funcional e seguro para o usuário.

Algumas das principais preocupações incluem: o tamanho e a forma cujas próteses devem ser projetadas para se ajustarem confortavelmente às mãos das crianças, levando em consideração a idade, o tamanho e a forma da mão de cada usuário. Isso pode envolver a criação de diferentes tamanhos ou a capacidade de ajuste do dispositivo para acompanhar o crescimento da criança.

O peso e o equilíbrio pois devem ser leves o suficiente para não sobrecarregar a criança, mas também devem ter um equilíbrio adequado para proporcionar estabilidade durante o uso. O peso excessivo pode causar fadiga e desconforto, enquanto um design equilibrado pode facilitar o movimento e a manipulação.

Se a prótese incluir mecanismos de controlo, como articulações ou garras, é importante que esses controles sejam ergonomicamente projetados para serem facilmente alcançados e operados pelas crianças. Os controles devem ser intuitivos e de fácil acesso, permitindo que a criança manipule a prótese com facilidade.

Sobre os Materiais e texturas, referido em 2.3, os materiais utilizados devem ser suaves, flexíveis e confortáveis para a pele sensível das crianças. Além disso, as superfícies da prótese devem ser projetadas com texturas adequadas para proporcionar aderência e facilitar o manuseio, mesmo em condições húmidas ou escorregadias.

Podemos ainda referir a segurança, conforme ponto 2.6 mais à frente, cujo design deve priorizar a segurança do usuário, minimizando o risco de lesões ou acidentes durante o uso. Isso pode envolver a inclusão de proteções ou amortecedores para evitar atrito ou impactos indesejados.

Ainda sobre a ergonomia, temos a importância da estética e aceitação pois os aspetos estéticos e emocionais levam a garantir que a prótese seja visualmente atraente e que promova uma conexão positiva com a criança e com os seus pares. Isso pode incluir a incorporação de cores, padrões ou elementos personalizados que reflitam os interesses e preferências individuais da criança. Sobre este tópico, ver capítulo 4.

2.5 Aspectos psicossociais

Existe estudo dos impactos psicológicos e sociais das próteses infantis nas crianças, incluindo autoestima, aceitação pelos pares e integração social. As próteses infantis podem ter uma série de impactos nas crianças que as utilizam, tanto positivos quanto desafiadores.

Impactos positivos podem ser (1) **Autoestima e confiança** cuja prótese bem projetada e funcional pode aumentar a autoestima e a confiança da criança, proporcionando-lhes uma sensação de normalidade e capacidade de realizar tarefas cotidianas. (2) **Inclusão social** pois se bem integradas e esteticamente agradáveis podem facilitar a inclusão social da criança, ajudando-a a se sentir mais aceita e integrada em sua comunidade e círculo social. (3) **Independência**, se funcional pode oferecer à criança maior independência e autonomia, permitindo-lhes realizar uma variedade de atividades diárias sem depender excessivamente da ajuda de outras pessoas. (4) **Expressão individual**, onde algumas próteses são projetadas para serem personalizadas, permitindo que a criança expresse sua individualidade e personalidade por meio do design e dos acessórios da prótese. Sobre este tópico, ver capítulo 4.

Os Impactos desafiadores podem ser (1) **Estigma e constrangimento**, em alguns casos, as crianças podem experimentar estigma social ou constrangimento devido à presença de uma prótese, especialmente se ela for percebida como diferente ou pouco convencional; (2) **limitações funcionais**, quando não são adequadas para as necessidades específicas da criança podem causar frustração e limitações funcionais, o que pode afetar negativamente sua autoestima e independência. (3) **Bullying e discriminação**, infelizmente, algumas crianças podem enfrentar *bullying* ou discriminação devido à presença de uma prótese, o que pode ter um impacto significativo em sua saúde mental e bem-estar emocional, (4) **adaptação emocional**, onde para algumas crianças, a adaptação emocional à necessidade de usar uma prótese pode ser um processo desafiador, envolvendo sentimentos de tristeza, raiva ou frustração em relação à sua condição física.

Em resumo, os impactos psicológicos e sociais das próteses infantis podem variar amplamente de uma criança para outra, dependendo de uma variedade de fatores, incluindo a natureza da condição física, a qualidade da prótese, o apoio social e emocional disponível e as atitudes da sociedade em relação à deficiência. É importante abordar esses impactos de maneira holística, fornecendo suporte emocional e social adequado, bem como garantindo o acesso a próteses de alta qualidade e funcionalidade.

2.6 Regulamentação e Normas

As próteses infantis são dispositivos médicos que estão sujeitos a regulamentações e normas para garantir sua segurança, eficácia e qualidade. Algumas das regulamentações e normas aplicáveis à fabricação e uso de próteses infantis incluem:

FDA (Food and Drug Administration) nos Estados Unidos: A FDA regula os dispositivos médicos nos Estados Unidos, incluindo próteses infantis. As próteses precisam passar pela aprovação da FDA para serem comercializadas e devem cumprir os requisitos estabelecidos

pela agência em relação à segurança e eficácia (Resnik, Linda, Klinger, Shana Lieberman, Krauthamer, Victor, Barnabe, Kate, 2010).

ISO 13485 - Sistema de Gestão da Qualidade para Dispositivos Médicos: Esta norma internacional estabelece requisitos para sistemas de gestão da qualidade aplicáveis à fabricação de dispositivos médicos, incluindo próteses infantis (ISO 13485, 2016). A conformidade com a ISO 13485 demonstra o compromisso com a qualidade e a segurança do produto.

ISO 10993 - Avaliação Biológica de Dispositivos Médicos: Esta série de normas fornece orientação sobre a avaliação do potencial de risco biológico associado aos materiais utilizados em dispositivos médicos, incluindo próteses infantis (ISO 10993-1, 2018). Os fabricantes devem garantir que os materiais utilizados sejam biocompatíveis e seguros para uso em crianças.

Diretiva de Dispositivos Médicos da UE (93/42/CEE): Na União Europeia, as próteses infantis devem cumprir os requisitos estabelecidos pela Diretiva de Dispositivos Médicos, que abrange aspectos como segurança, desempenho e rotulagem dos dispositivos (EUR-Lex, 1993).

EN ISO 14971 - Avaliação de Riscos de Dispositivos Médicos: Esta norma internacional define os princípios e processos para a avaliação de riscos associados aos dispositivos médicos, incluindo próteses infantis (ISO 14971, 2019). Os fabricantes devem realizar uma análise de risco abrangente e implementar medidas para mitigar quaisquer riscos identificados.

Regulamentações Nacionais: Além das regulamentações internacionais, muitos países têm suas próprias regulamentações e requisitos para dispositivos médicos, que também se aplicam a próteses infantis. Os fabricantes devem estar cientes das regulamentações específicas de cada país onde desejam comercializar suas próteses.

É importante que os fabricantes de próteses infantis estejam em conformidade com todas as regulamentações e normas aplicáveis para garantir a segurança e a eficácia dos dispositivos, protegendo assim a saúde e o bem-estar das crianças que os utilizam.

2.7 Conclusão do capítulo 2

Foi concluído neste capítulo 2 que, apesar dos avanços significativos na tecnologia protética ao longo dos anos, ainda persistem desafios importantes no desenvolvimento de próteses, especialmente quando se trata de crianças. O crescimento e desenvolvimento constantes do corpo infantil exigem ajustes frequentes nas próteses, tornando essencial o desenvolvimento de soluções que acompanhem essas mudanças ao longo do tempo. Além disso, as próteses precisam oferecer funcionalidade e usabilidade adequadas, levando em consideração as atividades diárias e a natureza ativa das crianças.

O impacto psicológico e social do uso de próteses em crianças também é uma preocupação importante, pois pode afetar significativamente sua autoestima e aceitação pelos colegas. A imagem corporal e a percepção de si mesmas podem ser influenciadas pela aparência e conforto das próteses. Portanto, o design emocional das próteses desempenha um papel crucial na promoção do bem-estar psicológico das crianças, permitindo que expressem sua identidade e estilo pessoal.

No campo do design de próteses, a personalização e a usabilidade são aspectos fundamentais a serem considerados. A personalização permite que as próteses atendam às necessidades individuais de cada paciente, enquanto a usabilidade garante que sejam fáceis de usar e eficientes em diversas situações. O design centrado no paciente e o design iterativo são abordagens essenciais para garantir que as próteses sejam desenvolvidas com base nas necessidades e feedback dos usuários.

Além disso, a adoção de princípios de design universal promove a inclusão e acessibilidade das próteses, tornando-as adequadas para uma ampla gama de usuários. O equilíbrio entre o design prático e emocional é crucial para criar próteses que sejam funcionais, eficazes e também emocionalmente satisfatórias para os pacientes.

Em suma, o design de próteses para crianças requer uma abordagem holística e interdisciplinar, considerando não apenas aspectos técnicos, mas também emocionais e sociais. Somente através de uma colaboração entre profissionais de diferentes áreas e uma compreensão profunda das necessidades dos pacientes, podemos desenvolver próteses que melhorem significativamente a qualidade de vida das crianças com amputações.

Capítulo 3. Estudos de caso

3.1 Requisitos do design de produto

O design de produtos é uma área multidisciplinar que define a forma como as pessoas interagem com produtos. É um processo que envolve a concepção, a criação e a otimização de produtos de modo a cumprir com as necessidades dos utilizadores, considerando a funcionalidade, a estética, a ergonomia e a sustentabilidade.

Um designer de produto, necessita de compreender as necessidades do utilizador. Para isto, é necessária uma investigação, como questionário, sobre os desejos do utilizador para identificar as preferências e as expectativas. Com este conhecimento, os designers podem criar produtos que não só satisfazem os seus requisitos, como também melhoram a sua vida quotidiana. Esta é uma abordagem centrada no ser humano e é um dos fatores mais importantes na concepção de produtos. Outro fator é a estética, os aspetos visuais de um produto evocam emoções, transmitem a identidade da marca e influencia nas escolhas dos consumidores. Desta forma, é importante que o designer encontre um equilíbrio entre a forma e a função, que é um desafio para um designer de produto, uma vez que requer uma visão experiente para pormenores estéticos, um conhecimento profundo de materiais e uma apreciação pelos fatores culturais e psicológicos que moldam as perceções de como as pessoas observam um produto belo.

Designers de produto ao compreenderem as necessidades dos utilizadores, equilibrar a estética e a funcionalidade, integrar a tecnologia atual e considerar o impacto ambiental, podem criar soluções que não só satisfazem as exigências do mercado, como também contribuem positivamente para o planeta Terra. Conforme designers investigam e aprofundam estes aspetos, descobrem soluções inovadoras.

Neste tópico sobre os requisitos do design de produto, analisaremos:

- 1- A relação do usuário com o produto;
- 2- Ergonomia e design centrado no usuário;
- 3- Design estético;
- 4- Funcionalidade;
- 5- Materiais e construção;
- 6- Inovação e originalidade;
- 7- Identidade de marca;
- 8- Feedback dos usuários.

1. A relação do usuário com o produto

A relação entre o usuário e o produto envolve entender como os usuários interagem com um produto, como se sentem e como o produto atende às suas necessidades e expectativas. A boa relação entre o usuário e o produto deve-se à alta usabilidade e satisfação do usuário. Quando as pessoas consideram um produto fácil de usar e agradável, é provável que o usem com frequência e o recomendem a terceiros (*Donald Norman, 2013*). Produtos que criam experiências emocionais positivas podem promover uma forte relação entre o utilizador-produto e que podem levar à fidelidade da pessoa e o interesse em comprá-lo. A relação positiva entre o usuário e produto pode também, aumentar a probabilidade de adoção do produto e retenção do usuário.

“The solution is human-centered design (HCD), an approach that puts human needs, capabilities, and behavior first, then designs to accommodate those needs, capabilities, and ways of behaving. Good design starts with na understanding of psychology and technology.”

(Norman Don, 2013)

No design de produtos, promover um relacionamento positivo entre o usuário e produto, envolve processos de design centrados no usuário, que visa entender as necessidades e o contexto do usuário, criar soluções de design que atendam às necessidades e testar e refinar essas soluções. No livro, Don Norman apresenta vários conceitos muito presentes nos campos de design, muito utilizados ainda nos tempos que decorrem. Esses conceitos incluem:

Affordance que se refere às possíveis ações potenciais do objeto. Este, visa compreender as diversas possibilidades e permite que os designers criem objetos que comuniquem intuitivamente com o usuário.

Significantes orientam os usuários para as ações do objeto. Enquanto *affordance* envolve as ações possíveis, os significantes apresentam sinais visuais que demonstram como utilizar as ações de um produto.

Modelo conceitual refere-se à explicação, muito simples, de como o produto funciona. Um produto bem projetado garante que o processo seja de fácil compreensão. Os designers devem garantir que o modelo conceitual de um produto corresponda ao modelo mental do usuário.

Mapeamento refere-se à relação entre as pessoas e os controles e o display de um produto e os seus efeitos. Um bom mapeamento ajuda as pessoas a preverem o que irá acontecer quando usarem um controle.

Feedback é essencial no design, uma vez que é o elemento que informa aos usuários que uma ação ocorreu. Quanto mais imediata e clara for a fornecer a informação, melhor será a compreensão dos usuários no resultado das suas ações.

Restrições limitam as ações erradas que podem ser executadas por um usuário, guiando até as ações corretas. As restrições podem ser apresentadas de diversas formas como físicas,

culturais, semânticas, entre outros, contanto que guiem o usuário para as ações corretas e facilitem na interpretação e compreensão.

Don Norman usa os princípios para doutrinar os designers sobre o design centrado no usuário e instruir sobre as necessidades e os usuários que são as principais considerações no design do produto. Compreender o relacionamento do usuário com um produto é essencial para aumentar a satisfação do usuário, impulsionar melhorias no produto e garantir a fidelidade do cliente. Aumentar a satisfação do usuário leva, geralmente, a compras repetidas e fidelidade à marca.

2. Ergonomia e design centrado no usuário

A ergonomia e o design centrado no usuário são elementos de extrema relevância no design, é atribuída ao facto de que cada paciente tem necessidades físicas, requisitos funcionais e preferências estéticas únicas. O design ergonômico pode ajudar a evitar desconfortos e possíveis problemas de saúde. Desconforto físico e lesões ocorrem, geralmente, quando a prótese não fornece o apoio devido exigindo que o paciente compense com o uso excessivo de outros músculos. Segundo o livro “Ergonomia – Projeto e Produção” de Itiro Lida, a ergonomia é o estudo da adaptação do trabalho ao homem. A ergonomia abrange atividades de planejamento e projeto que ocorrem antes do trabalho ser realizado, durante e após o trabalho.

“A ergonomia inicia-se com o estudo das características do trabalhador para, depois, projetar o trabalho que ele consegue executar, preservando a sua saúde. Assim a ergonomia parte do conhecimento do homem para fazer o projeto do trabalho, ajustando-o às suas capacidades e limitações.”

(Lida Itiro, 2005)

A ergonomia apresenta várias definições, todas com o mesmo objetivo de estudar a interação entre o homem e o trabalho no sistema homem-máquina-ambiente (Itiro Lida, 2005). Esta área, procura reduzir a fadiga, stress, erros e acidentes, de modo aumentar a segurança, a satisfação e a saúde dos usuários. Ergonomia analisa a concepção, a correção, conscientização e participação. A concepção ergonómica visa alternativas para melhorar o projeto, ambiente, produtos ou sistemas. A correção ergonómica tem como objetivo resolver problemas já existentes que podem refletir na segurança, fadiga, saúde e na quantidade e qualidade do trabalho. A conscientização ergonómica pretende elucidar os usuários a identificar e corrigir problemas na vida diária. A participação ergonómica envolver o usuário com o produto ou durante o desenvolvimento com o objetivo de corrigir problemas ergonómicos. O design centrado no usuário leva em consideração as necessidades psicológicas e sociais dos pacientes que necessitam de próteses. Próteses com aparência e funcionamento naturais podem aumentar a autoconfiança e facilitar a inclusão social do paciente. De outro modo, o design ergonômico e centrado no usuário pode reduzir o número de abandono de próteses. Dispositivos mal projetados são abandonados devido ao desconforto, falta de utilidade funcional ou insatisfação com a estética. O design centrado no usuário visa a projeção de próteses que complementam as capacidades cognitivas e físicas de cada paciente, considerando as suas limitações. O livro “*Handbook of Human Factors and Ergonomics*” *Gavriel Salvendy*, baseia-se na compreensão aprofundada dos usuários e da

ergonomia. Segundo o livro, analisar as características e a intenção do usuário com o produto, facilita na compreensão e no processo de otimização do design. O *feedback* centrado no usuário informa os designers de aspectos a melhorar no design do produto. O design centrado no usuário é um processo que se concentra também na interação do produto com as necessidades das pessoas e nas tarefas.

A preocupação dos designers com estes elementos, levou ao estudo na inovação e originalidade nas próteses personalizadas e centradas no usuário, muito impulsionadas pelos avanços nas tecnologias como impressão 3D.

3. Design estético

A estética da prótese melhora a confiança do paciente, principalmente para crianças, pois influencia o bem-estar psicológico, interações sociais e a imagem pessoal. A aparência da prótese pode afetar a forma como a criança aceita o dispositivo. Uma prótese que se assemelhe muito com o seu membro natural ou que seja visualmente atrativo para uma criança, como cores vibrantes ou desenhos que a criança goste, pode aumentar a confiança da criança e a aceitação da prótese.

As crianças, normalmente, preocupam-se como os seus colegas as observam, logo uma prótese com a aparência natural ou um design atraente pode ajudar a criança a se sentir menos constrangida, mais aceita entre os colegas e mais disposta a participar de atividades sociais. As próteses podem ser uma forma de expressão pessoal, as crianças podem preferir uma prótese que reflita a sua personalidade ou interesses, como as próteses da Disney com princesas ou super-heróis, o que pode ajudá-las a se sentirem mais ligadas à sua prótese e fazer com que usá-la seja uma experiência positiva. O design da prótese pode facilitar a adaptação à mesma e melhora a saúde psicológica da criança. A cor da prótese pode ser combinada com o tom de pele, cores vibrantes ou elementos que a pessoa deseja. Com isto, garante-se que a prótese promova o sucesso da reabilitação, principalmente nas crianças. Segundo o livro “Design for the Real World” de Papanek Victor, a estética é uma ferramenta importante que permite criar formas e cores que emocionam, sensibilizam e proporcionam sentimentos de alegria, excitação e significado pessoal. O conforto estético, não afeta apenas o conforto físico e o interesse em manipular a prótese, afeta também o bem-estar psicológico, as interações sociais e a aceitação da prótese.

“Artists themselves begin to look at their productions as autotherapeutic devices of self-expression, confuse license and liberty, and forsake all discipline.”

(Papanek Victor, 1973)

A aparência pode fornecer diversas reações e emoções, desde confusão e incerteza a felicidade e excitação. Para crianças, uma prótese com uma aparência apelativa pode ser uma ferramenta para expressão de identidade pessoal e autoconfiança. De acordo com o livro de “*Emotional Design*” de Don Norman, as emoções são o que leva as pessoas a criar julgamentos e a processar informações imediatas sobre o mundo. A aparência de um produto, é um dos elementos do design que permite que o usuário possa interagir de melhor forma

com o produto, facilita o processo de adaptação com o produto e garante o manuseamento confortável (Don Norman, 2004).

“Our self-image plays a more important role in our lives than we like to admit. Even those who deny any interest in how other view them actually do care, if only by making sure that everyone else understand's that they don't. The way we dress and behave, the material objects we possess, jewelry and watches, cars, and homes, all are public expressions of our selves.”

(Norman Don 2004)

O desenho estético da prótese pode influenciar na vontade da criança em querer usá-la. Se a criança gostar da aparência da sua prótese, há maior garantia em querer usá-la de forma consistente e no envolvimento nos programas de reabilitação. Oferecer às crianças a oportunidade de escolher o design estético para as suas próteses pode fornecer uma sensação de controlo sobre os seus corpos e empoderamento. O design estético das próteses não trata apenas da aparência do dispositivo, trata também do bem-estar psicológico das crianças, das interações sociais, a adesão ao uso de próteses e os resultados positivos na reabilitação. Assim, o design de próteses infantis não deve focar apenas nos aspectos funcionais e ergonômicos, mas também considerar cuidadosamente a estética do ponto de vista da criança.

4. Funcionalidade

A funcionalidade é um dos fatores que impacta no desempenho adequado das funções exigidas pelo paciente. O objetivo principal de uma prótese é restaurar a função perdida, permitindo que o paciente recupere e se envolva novamente nas atividades do quotidiano. A prótese deve de realizar as tarefas de forma natural e intuitiva.

A funcionalidade visa otimizar as próteses para melhorar a mobilidade, as capacidades funcionais dos pacientes e a qualidade de vida, independência e bem-estar psicológico (Martin Hevia, 2021). A mobilidade aprimorada permite que os usuários executem tarefas diárias com maior eficiência e contribui para o aumento da independência e autossuficiência. Próteses com maior mobilidade podem reduzir a energia despendida na realização de uma tarefa e evita que o paciente sobrecarregue outras partes do corpo para se mover ou manusear, reduzindo o desgaste do corpo e o risco de lesões. A boa funcionalidade da prótese impacta o bem-estar psicológico, considerando que a eficácia do dispositivo leva ao conforto do paciente e a melhor autoestima e imagem corporal.

"Cosmetic prostheses are generally the most lightweight prostheses available and require the least amount of harnessing.[9] That being said, they provide the least amount of function for the amputee. Body-powered prostheses come at a moderate cost and weight but are the most durable on the market. They provide the most sensory feedback but are less aesthetically pleasing and require more gross limb movement. Myoelectric prostheses function by transmitting electrical activity from muscle contraction to surface electrodes on the residual limb. These electrical

signals are then sent to the motor to initiate the function of the terminal device. These devices tend to be the most expensive prostheses available.

They are heavier, provide less sensory feedback, and require the most training for amputees. However, they do provide more functional use and are more aesthetically pleasing. Hybrid prostheses use a combination of myoelectrical devices and cables to perform a multitude of functions.

Transhumeral amputees generally use these devices.”

(Kevin P. Smidt e Ryan Bicknell, 2023)

Durante o processo de projeção, designers preocupam-se em melhorar a sensação negativa desenvolvendo próteses funcionais com movimentos que assemelham aos movimentos naturais do membro amputado que contribui para o bem-estar físico e emocional dos usuários. O bom desempenho da prótese ao realizar as tarefas de forma eficiente, leva a um aumento da satisfação do paciente e adesão ao uso da prótese. No entanto, a falta de funcionalidade pode levar ao abandono das próteses. As próteses funcionais melhoram a qualidade de vida do usuário, permitindo que estes participem nas atividades sociais, melhorem a independência, autoeficácia e bem-estar psicológico. Conforme a tecnologia evolui, novas soluções mais funcionais surgem para os dispositivos protéticos

5. Materiais e construção

A construção de uma prótese desempenha uma função importante na funcionalidade, conforto e satisfação do usuário. Uma prótese deve ser projetada para suportar o uso diário, impactos ocasionais e as forças exercidas pelos movimentos do paciente. Assim, o método de construção deve garantir a durabilidade e longevidade da prótese, reduzindo a frequência de substituições ou reparações de peças.

O design e a construção de uma prótese influenciam no conforto do paciente, pois todas as peças fabricadas devem ser construídas para distribuir a pressão uniformemente, minimizar o desgaste do membro saudável e reduzir o risco de desconforto ou lesão. A construção da prótese influencia na funcionalidade, considerando que a integração de componentes eletrônicos nas próteses mioelétricas ou a montagem de peças mecânicas nas próteses requer uma construção cuidadosa e delicada para garantir o controle preciso e funcional. A boa construção da prótese também contribui para uma aparência apelativa, especialmente importante para crianças. Com os avanços nas tecnologias de fabricação, como a impressão 3D, o processo de construção foi aprimorado, uma vez que permitem maior personalização, redução da economia e prototipagem rápida, melhorando a qualidade e a acessibilidade da prótese. Os materiais usados para a fabricação de próteses devem de ser fortes e duráveis para suportar atividades diárias, stress mecânico e condições ambientais adversas. Assim, uma prótese feita de materiais de alta qualidade, apresenta maior resistência, reduzindo a frequência de substituições e custos.

“The characteristics of a material that contributes to industrial design, though harder to document, are as important as the more technical properties. This – creating emotional connection and doing good design...”

(Mike Ashby e Kara Johnson, 2010)

Materiais como fibra de carbono e polímeros avançados oferecem maior equilíbrio entre leveza e resistência. Revestimentos de silicone, elastômeros termoplásticos e espumas de poliuretano são geralmente usados devido ao conforto e flexibilidade. Os materiais fornecem personalidade aos produtos (Mike Ashby e Kara Johnson, 2010), seja através do toque ou ao apelo visual. As propriedades dos materiais influenciam como as pessoas observam os produtos, geralmente a madeira oferece aconchego visual e toque, enquanto metais causam algum desconforto devido a ser uma matéria fria e pouco confortável ao toque. Os materiais escolhidos não podem causar reações alérgicas ou outras reações adversas quando se encontram em contato com a pele.

Atualmente, materiais avançados como fibra de carbono, titânio e polímeros avançados também são utilizados no desenvolvimento de próteses devido às suas qualidades superiores em termos de força, peso, durabilidade e biocompatibilidade. A escolha dos materiais pode impactar no conforto do usuário, nos resultados funcionais e qualidade de vida.

6. Inovação e originalidade

Inovação e originalidade no desenvolvimento de próteses melhoram a funcionalidade, satisfação do usuário e ampliação da acessibilidade. As próteses tradicionais apresentam algumas limitações em fornecer movimentos naturais e fluidos. Assim, a inovação leva ao desenvolvimento de próteses mais avançadas que oferecem funcionalidades aprimoradas, como próteses elétricas e próteses mioelétricas.

Designs inovadores e originais fabricam próteses visualmente aprimoradas, levando a que os pacientes sintam orgulho de usar, melhorando assim sua autoestima e interações sociais. A inovação torna as próteses mais econômicas e acessíveis, como exemplo a tecnologia de impressão 3D na produção de próteses que pode reduzir os custos e tornar acessível a todos os pacientes. No desenvolvimento protético, inovar e desenvolver próteses originais para atender às necessidades e expectativas dos usuários, podem melhorar a qualidade de vida e garantir que um maior número de indivíduos a beneficiar dos dispositivos. O envolvimento do paciente pode levar a soluções inovadoras que podem não ser identificadas por profissionais de saúde ou designers. Projetar próteses que visem a inclusão e acessibilidade pode levar a soluções de design inovadoras que beneficiam todos os pacientes.

Inovação e originalidade formam a base para a evolução das próteses que abordam não apenas o físico, mas também as necessidades emocionais e sociais. A inovação visa atender ao maior número de pessoas e atender às suas necessidades únicas de forma mais eficaz. A inovação pode melhorar a funcionalidade, o conforto, reduzindo a dores, aumentar a autoconfiança e a satisfação do usuário. A originalidade no design tem como objetivo a criação de próteses personalizadas que os pacientes se sintam orgulhosos de usar. Assim, a inovação e originalidade no desenvolvimento de próteses são importantes para melhores

soluções que permitam facilidade no uso e personalização que melhoram a qualidade de vida das pessoas.

7. Identidade de marca

No contexto das próteses, a identidade da marca refere-se à percepção e associação que os pacientes e profissionais de saúde têm em relação aos produtos de uma determinada marca. Com isto, inclui-se a qualidade, confiança, desempenho e o serviço oferecido pela marca. A marca que apresenta uma forte identidade pode ajudar os pacientes e profissionais a associar a marca a próteses com alta qualidade. A marca deve fabricar produtos com alto grau de profissionalismo que aumente a confiança dos pacientes ou clientes.

Segundo o livro “Design de Identidade da Marca” de Alina Wheeler, a criação de uma identidade cria uma expressão, comunicação e influencia como as pessoas observam a marca.

“A identidade de marca aumenta a conscientização e constrói empresas”

(Wheeler, Alina, 2006)

No mercado existem vários concorrentes, logo uma identidade de marca forte pode ajudar a diferenciar uma marca de prótese. A diferenciação ajuda a transmitir as características ou qualidades únicas que as próteses da marca possuem. Marcas com uma identidade visual fácil de recordar e reconhecível facilita o reconhecimento da marca. O fornecimento de produtos com boa qualidade aumenta a satisfação de clientes. Com isto, pessoas satisfeitas, geralmente, estão mais propensas a manter a mesma marca para atender as necessidades futuras e a recomendar a marca a terceiros.

Identidade de marca bem estabelecida no desenvolvimento de próteses pode contribuir para a satisfação do usuário, lealdade e percepção da marca. Logo, é um fator determinante que deve ser considerado estratégias de marketing e design de produto originais e inovadoras. Uma forte identidade facilita na construção de uma conexão emocional com os usuários.

8. Feedback dos usuários

O *feedback* do usuário é determinante no processo de design do produto, pois fornece as percepções de quem está a manusear o produto. Entender as necessidades, preferências e experiências do usuário é essencial para criar produtos que realmente satisfaçam seus requisitos. Os usuários são a melhor fonte para entender quais recursos e funções que desejam num produto, pois ao coletar feedback, os designers podem garantir que o produto atenda às expectativas e preferências do usuário.

O feedback do usuário ajuda a identificar problemas ou desafios que podem não ter sido aparentes durante os estágios de design e desenvolvimento. Com isto, permite que os designers façam os ajustes necessários para melhorar a usabilidade e a funcionalidade do produto. O feedback fornece ainda informações sobre como os usuários interagem com o produto e seu nível de satisfação. Estas informações orientam melhorias e aprimoramentos, levando a uma melhor experiência do usuário e maior satisfação.

“Feedback provides reassurance, even when it indicates a negative result. A lack of feedback creates a feeling of lack of control, which can be unsettling. Feedback is critical to managing expectations, and good design provides this.”

(Norman Don 2004)

A percepção do usuário pode orientar no desenvolvimento futuro, destacando os recursos que os usuários desejam ver nas versões futuras. Os pacientes, quando observam que os seus comentários são levados em consideração e os designers realizam as mudanças com base nas suas sugestões, sentem-se valorizados. Com isto, pode aumentar a confiança e a lealdade em relação à marca. Envolver os usuários no processo pode reduzir o risco de falhas e custos. O feedback do usuário pode orientar o processo de design para garantir que o produto final seja funcional e adequado à finalidade.

3.2 Análise de quatro próteses de baixo custo em impressão 3D

Atualmente, encontramos-nos numa era marcada pelo rápido avanço tecnológico, diversas crianças enfrentam vários desafios colocados pelas deficiências dos membros, sejam congénitas ou adquiridas. Assim, para estas crianças, as próteses personalizadas servem como instrumentos de apoio que não só restauram a função, mas também lhes concedem a oportunidade de levar uma vida normal e produtiva. No entanto, os custos elevados das próteses associados à aquisição e atualização destas próteses à medida que a criança cresce impedem o acesso das famílias com baixos rendimentos e das que residem em locais com poucos recursos.

Com isto, esta pesquisa investiga estudos de caso com foco nas próteses personalizadas de baixo custo projetadas para crianças. Esta investigação tem como objetivo apresentar várias soluções sobre abordagens, materiais e/ou tecnologias inovadoras que tornam as próteses acessíveis sem comprometer a qualidade e a funcionalidade. As próteses infantis requerem modificações e substituições frequentes para acomodar o crescimento e as novas necessidades da idade, que traz encargos financeiros para as famílias. Desta forma, fornecer alternativas de baixo custo é importante para diminuir obstáculos económicos, garantindo assim, que todas as crianças possam usufruir dos dispositivos protéticos.

Este tópico tem como objetivo explorar e documentar vários estudos de caso que apresentem o impacto das próteses mais adequadas para o desenvolvimento das crianças de baixo custo; Identificar as principais características, materiais e tecnologias que contribuem para reduzir o custo destas próteses, mantendo a sua eficácia e durabilidade; Demonstrar os resultados e as melhorias na qualidade de vida observadas entre as crianças que receberam esses dispositivos protéticos acessíveis.

Prótese A

“Cyborg beast: a low-cost 3d-printed prosthetic hand for children with upper-limb differences” de Jorge Zuniga, Dimitrios Katsavelis, Jean Peck, John Stollberg, Marc Petrykowski, Adam Carson e Cristina Fernandez

Jorge Zuniga, Dimitrios Katsavelis, Jean Peck, John Stollberg, Marc Petrykowski, Adam Carson e Cristina Fernandez realizaram uma investigação, Cyborg beast, de uma prótese de uma mão infantil impressa em 3D de baixo custo, com o objetivo de propor uma solução para a adaptação das próteses à distância.

Segundo o artigo de investigação Cyborg beast, as próteses infantis apresentam desafios únicos devido ao seu tamanho, à necessidade de ajustes conforme as crianças crescem e às preocupações com a aparência e aceitação social. Os custos de manutenção e substituição de dispositivos elétricos e mecânicos melhorados concebidos para crianças são difíceis para muitas famílias. Apesar de os ganchos protéticos serem económicos, estes apresentam uma alta taxa de rejeição devido à sua aparência estética e à necessidade de ajustes ou substituições contínuas devido ao crescimento das crianças, que leva diversas vezes ao abandono.

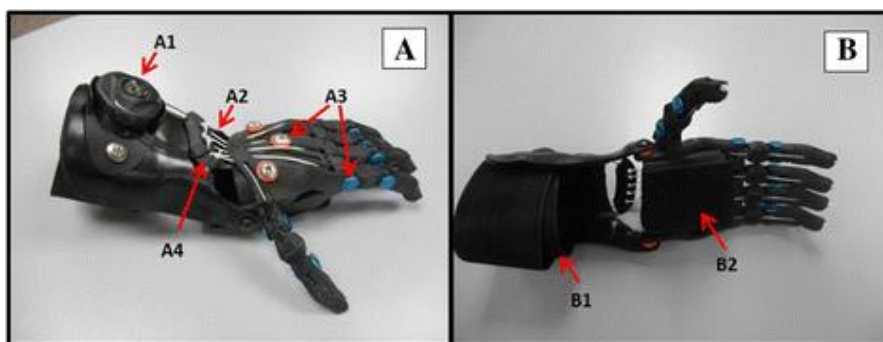


Figura 1 – Vista de superior da prótese. Prótese de mão impressa em 3D para crianças.

No estudo Cyborg beast, observa-se uma grande necessidade de próteses personalizadas, de baixo custo, esteticamente agradáveis, fáceis de substituir e para crianças, dada ao crescente número de amputações congênicas e traumáticas (Jorge Zuniga, Dimitrios Katsavelis, Jean Peck, John Stollberg, Marc Petrykowski, Adam Carson e Cristina Fernandez, 2015).

Com os avanços na tecnologia, como desenvolvimento de programas de design auxiliado por computador (CAD), fabricação aditiva e software de código aberto que permitem a projeção, impressão e ajuste das mãos protéticas e dispositivos auxiliares de baixo custo (Jorge Zuniga, Dimitrios Katsavelis, Jean Peck, John Stollberg, Marc Petrykowski, Adam Carson e Cristina Fernandez, 2015). Segundo o artigo Cyborg beast, estes desenvolvimentos tecnológicos prometem próteses mais práticas, acessíveis e esteticamente aceitáveis, que potencialmente beneficiam as crianças, oferecendo procedimentos de adaptação conduzidos remotamente.

A mão protética foi desenvolvida através de um software de modelação 3D, Blender, e produzida com impressoras 3D de mesa, custando aproximadamente US\$ 50 em materiais (Jorge Zuniga, Dimitrios Katsavelis, Jean Peck, John Stollberg, Marc Petrykowski, Adam Carson e Cristina Fernandez, 2015). A prótese foi montada com cordões elásticos e não elásticos, parafusos, velcro, espuma e sistema de tensão. O dispositivo foi projetado para fácil encaixe, exigindo medidas mínimas, incluindo comprimento da mão, largura da palma, comprimento e largura do antebraço e amplitude de movimento do punho (Jorge Zuniga, Dimitrios Katsavelis, Jean Peck, John Stollberg, Marc Petrykowski, Adam Carson e Cristina Fernandez, 2015). As medidas podem ser obtidas a partir de três fotografias dos membros superiores (Jorge Zuniga, Dimitrios Katsavelis, Jean Peck, John Stollberg, Marc Petrykowski, Adam Carson e Cristina Fernandez, 2015). Um terapeuta ocupacional tirou as medidas diretamente das crianças para comparar com as medidas extraídas das fotografias, e, de seguida, as imagens com as medidas foram importadas para o Blender. O software MakerWare ajudou a dimensionar o dispositivo para o tamanho desejado, com ajustes personalizados feitos no Blender (Jorge Zuniga, Dimitrios Katsavelis, Jean Peck, John Stollberg, Marc Petrykowski, Adam Carson e Cristina Fernandez, 2015). Os procedimentos de adaptação foram auxiliados por especialistas clínicos (Jorge Zuniga, Dimitrios Katsavelis, Jean Peck, John Stollberg, Marc Petrykowski, Adam Carson e Cristina Fernandez, 2015). Os movimentos dos dedos na prótese são ativados através da flexão do punho, permitindo vários

tipos de preensão adequados para manipular objetos leves (Jorge Zuniga, Dimitrios Katsavelis, Jean Peck, John Stollberg, Marc Petrykowski, Adam Carson e Cristina Fernandez, 2015). Cyborg Beast leva cerca de 2,5 horas para ser montado e pesa 184,2 gramas, sendo desta forma económico, fácil de usar, instalar e montar.

De acordo com o artigo de investigação Cyborg beast, foi realizada uma pesquisa entre as crianças participantes e as suas famílias, que revelou que o dispositivo impactou positivamente na qualidade de vida. As crianças utilizam a prótese para diversas atividades, incluindo brincar, participar de atividades escolares e praticar desporto. A prótese é usada diariamente pelas crianças com diferentes durações, de uma a mais de duas horas, sendo que uma criança a utiliza conforme necessário. Os resultados da investigação não indicaram nenhuma diferença significativa entre as medidas tiradas diretamente dos membros superiores das crianças e aquelas obtidas a partir de fotografias, mostrando que as medidas foram precisas em ambos os métodos.

Prótese B

“Low-cost prosthetic hands for children from a 3D printer” realizado por estudantes da Escola de Engenharia da Suíça

Os alunos da Escola de Engenharia da Suíça realizaram uma investigação sobre prótese impressas em 3D para crianças de custo reduzido. Os alunos desenvolveram um dispositivo protético infantil impressa em 3D, com o objetivo de fornecer uma prótese mais económica para as famílias.

De acordo com a investigação dos alunos da Universidade de Engenharia da Suíça, as próteses tradicionais são diversas vezes inacessíveis para crianças em países em desenvolvimento. As próteses de alta tecnologia apresentam um custo elevado, controladas pelos músculos, capazes de diversas funções de preensão e esteticamente semelhantes a uma mão real, nem sempre são ideais para crianças. Esses dispositivos avançados podem ser complicados e limitados durante as brincadeiras. Com isto, os alunos desenvolveram modelos protéticos impressos em 3D de baixo custo para uso diário e desportivo das crianças. Estes dispositivos são personalizáveis, leves, duráveis e económicos (Universidade de Engenharia da Suíça, 2017). O objetivo dos alunos, era de conceber um sistema modular onde diferentes peças podem ser fixadas a uma haste protética para diversas atividades, resultando numa solução mais versátil e adaptável. O dispositivo atual já apoia atividades como ciclismo, ténis, downhill e esqui cross-country (Universidade de Engenharia da Suíça, 2017).



Figura 2 – Prótese de mão com módulos de custo reduzido, impressa em 3D para crianças, da Universidade de Engenharia da Suíça

Estas peças protéticas são impressas em 3D, tornando a produção económica e permitindo a personalização (Universidade de Engenharia da Suíça, 2017). O plástico é utilizado nas próteses e apesar de menos rígido e resistente de que o alumínio, as suas qualidades leves e duráveis, combinadas com design e construção, adaptam-se de forma eficaz a qualquer limitação (Universidade de Engenharia da Suíça, 2017).



Figura 3 – Prótese de mão de custo reduzido, impressa em 3D para crianças, da Universidade de Engenharia da Suíça

Prótese C

“A low-cost robotic hand prosthesis with apparent haptic sense controlled by electroencephalographic signals” de Diego Ronaldo Cutipa-Puma, Cristian Giovanni Coaguila-Quispe e Pablo Raul Yanyachi

A investigação de Diego Ronaldo, Cristian Giovanni e Pablo Raul descreve o desenvolvimento de uma prótese controlada por sinais eletroencefalográficos, método que analisa a atividade elétrica do cérebro (Appaji Rayi e Najib Murr, 2022). Este utilizado na prótese denominada de Zero Arm, serve como uma alternativa às próteses que utilizam sinais eletromiográficos (EMG), que podem ser complexos e difíceis de se adaptar para algumas crianças. A prótese Zero Arm, inclui um sistema de feedback tátil que simula mecanorreceptores, receptor sensorial da pele (Franklin Iheanacho; Anantha Ramana Vellipuram, 2022), permitindo que os pacientes possam ter uma sensação de tato. Através do uso de impressão 3D e de componentes já disponíveis, a prótese torna-se mais acessível para as crianças. De acordo com a investigação de Diego Ronaldo, Cristian Giovanni e Pablo Raul, os testes de desempenho mostraram resultados promissores, com uma taxa média de sucesso de 86,67% em diversas tarefas e uma taxa de reconhecimento de 70% para diferentes objetos.



Figura 4 – Prótese em testes de funcionamento

A utilização de sinais EEG para a construção de próteses tem aumentado uma vez que têm mostrado resultados iguais ou superiores em comparação com os sinais EMG (Diego Ronaldo, Cristian Giovanni e Pablo Raul, 2023). De acordo com os autores da investigação Zero Arm, o feedback tátil, elemento fundamental para o uso eficaz das próteses, é frequentemente negligenciado no projeto e produção de diversos dispositivos protéticos. Zero Arm custa menos de US\$ 600 uma vez que foi desenvolvido com peças impressas em 3D, utilizando filamento PLA (Diego Ronaldo, Cristian Giovanni e Pablo Raul, 2023). Consiste em 29 peças modeladas, incluindo dedos, palma, antebraço e guias de linha dos dedos, e pesa aproximadamente 1 kg no total. No entanto, os autores da investigação afirmam que existem algumas limitações na prótese, Zero Arm, tais como: a prótese utiliza Bluetooth com alcance de 10 metros para comunicação, aspeto que limita a funcionalidade caso a criança necessite de se mover além do alcance; bateria com aproximadamente cinco horas de duração, a prótese pode não ser o suficiente para as crianças que necessitam de uso prolongado. O uso de baterias maiores poderia prolongar a vida útil da bateria, mas também aumentaria o peso do dispositivo (Diego Ronaldo, Cristian Giovanni e Pablo Raul, 2023); a prótese não é resistente à água; apesar da impressão 3D permitir a produção rápida e personalizada das próteses, este método pode produzir peças com menor resistência e durabilidade em comparação com elementos feitos através de métodos tradicionais, necessitando de substituições mais frequentes; As crianças podem levar algum tempo para se adaptarem à prótese e sentir o desconforto inicial; apesar da prótese conseguir realizar diversos movimentos, o dispositivo pode apresentar dificuldades com movimentos precisos.

Prótese D

“How One Organization Is Pioneering The 3-D Printed Prosthetic Revolution” de e-NABLE

A e-NABLE, uma rede global de voluntários, utiliza impressão 3D para criar membros protéticos para crianças mais necessitadas. A rede e-NABLE produziu mais de 5.000 dispositivos em mais de 100 países (Stephanie Booth, 2018). Jon Schull, fundador E-NABLE, promove o “humanitarismo conectado” (Stephanie Booth, 2018) para enfrentar desafios não resolvidos pelas entidades, oferecendo vários recursos e orientações para as pessoas dispostas a contribuir pela causa. O custo médio das mãos e dispositivos impressos em 3D da e-NABLE é de aproximadamente US\$ 15 para plástico e US\$ 50 para outros materiais.



Figura 5 – Prótese e-Nable

De acordo com Stephanie Booth, em 2012, Ivan Owen e a sua esposa, Jen Owen, criaram uma mão de metal para uma fantasia que foi exibida no YouTube. O vídeo alcançou uma mãe na África do Sul, que levou ao desenvolvimento de uma mão para o seu filho. Com isto, Ivan Owen, reconheceu a necessidade de desenvolver designs personalizados e que pudessem ser produzidos rapidamente à medida que as crianças crescem. Próteses impressas em 3D da organização são importantes para pessoas que não têm acesso a cuidados médicos, servindo como opção para profissionais de saúde personalizarem as próteses (Stephanie Booth, 2018). Contudo, Ivan Owen reconhece que os dispositivos impressos em 3D não substituem as próteses tradicionais em termos de função, resistência e durabilidade (Stephanie Booth, 2018). O e-NABLE oferece soluções personalizadas para diversas pessoas, sem fins lucrativos. A organização apoia um programa que treina estudantes para trabalharem com a tecnologia de impressão 3D e fabricação de próteses.

Os quatro exemplos de **PRÓTESE** apresentam avanços significativos no campo das próteses acessíveis e personalizadas, impulsionadas principalmente pelo uso da impressão 3D e pela inovação em design e tecnologia. Aqui estão as novidades específicas de cada exemplo:

Prótese A "Cyborg beast: a low-cost 3d-printed prosthetic hand for children with upper-limb differences":

Destaca o desenvolvimento de uma prótese de mão infantil impressa em 3D de baixo custo, especialmente projetada para crianças com diferenças nos membros superiores.

Utiliza software de modelagem 3D e impressoras 3D de mesa para produzir a prótese, reduzindo drasticamente os custos em comparação com próteses tradicionais.

Oferece facilidade de ajuste e substituição, permitindo uma adaptação contínua à medida que as crianças crescem.

Prótese B "Low-cost prosthetic hands for children from a 3D printer":

Apresenta um modelo protético impresso em 3D para crianças, desenvolvido por alunos da Escola de Engenharia da Suíça.

Enfatiza a modularidade do design, permitindo a fixação de diferentes peças para diversas atividades, tornando-o mais versátil e adaptável.

Destaca o uso de plástico como material principal, oferecendo uma alternativa leve, durável e econômica às próteses convencionais.

Prótese C "A low-cost robotic hand prosthesis with apparent haptic sense controlled by electroencephalographic signals":

Introduz uma prótese robótica controlada por sinais eletroencefalográficos (EEG), proporcionando uma alternativa aos sistemas baseados em sinais eletromiográficos (EMG). Apresenta um sistema de feedback tátil que simula sensações de toque, oferecendo uma experiência mais próxima da sensação natural.

Destaca a acessibilidade da prótese, com um custo de cerca de US\$ 600 e um processo de fabricação baseado em impressão 3D.

Prótese D "How One Organization Is Pioneering The 3-D Printed Prosthetic Revolution":

Descreve os esforços da e-NABLE, uma rede global de voluntários, na produção de membros protéticos acessíveis para crianças necessitadas utilizando impressão 3D.

Destaca o conceito de "humanitarismo conectado" promovido pela e-NABLE, que reúne recursos e orientações para pessoas dispostas a contribuir para a causa.

Enfatiza o baixo custo das próteses produzidas pela e-NABLE, com um custo médio de apenas US\$ 15 para plástico, ampliando o acesso a esses dispositivos em comunidades carentes.

As novidades desses exemplos incluem a personalização, acessibilidade, modularidade, integração de tecnologias avançadas (como EEG), baixo custo e a capacidade de criar próteses de forma rápida e eficiente, graças aos avanços na impressão 3D e no design colaborativo.

Os quatro exemplos das Próteses demonstram ainda um compromisso comum em utilizar tecnologia inovadora, especialmente a impressão 3D, para desenvolver próteses acessíveis,

personalizadas e funcionais para crianças e indivíduos com necessidades específicas. Aqui estão os pontos em comum entre eles:

Acessibilidade Financeira

Todos os exemplos enfatizam a redução significativa de custos em comparação com as próteses tradicionais. Isso é alcançado através do uso de materiais de baixo custo e métodos de fabricação eficientes, como a impressão 3D.

Personalização

Cada exemplo destaca a importância da personalização das próteses para atender às necessidades individuais dos usuários. Isso é possível graças à flexibilidade oferecida pela impressão 3D, que permite ajustes precisos e adaptações conforme o crescimento ou mudança das necessidades do usuário.

Tecnologia Inovadora

Os exemplos exploram tecnologias inovadoras, como controle por sinais eletroencefalográficos (EEG) ou feedback tátil, para melhorar a funcionalidade e a experiência do usuário com as próteses.

Colaboração e Comunidade

Todos os exemplos destacam o papel da colaboração e da comunidade na produção e distribuição das próteses. Seja por meio de redes globais de voluntários, como a e-NABLE, ou através de projetos acadêmicos desenvolvidos por estudantes, há um forte senso de comunidade e propósito compartilhado em torno do objetivo de melhorar a vida das pessoas com próteses.

Foco no Usuário

Cada exemplo coloca o usuário no centro do processo de design (UXD), considerando suas necessidades físicas, emocionais e sociais. Isso é evidenciado pela ênfase na facilidade de uso, conforto e aceitação social das próteses.

Em resumo, esses exemplos demonstram uma abordagem centrada no usuário, impulsionada pela inovação tecnológica e pela colaboração comunitária, com o objetivo comum de tornar as próteses acessíveis, personalizadas e funcionais para aqueles que delas necessitam.

3.3. Impressão 3D em dispositivos protéticos

A impressão 3D revolucionou o desenvolvimento de dispositivos protéticos, reformulando o design, produção, personalização e o custo. As técnicas tradicionais de fabricação de próteses resultam em próteses de custo elevado, com processo demorado e complexo. A

impressão 3D visa melhorar a produção de próteses personalizadas e adaptadas às necessidades individuais dos pacientes. Através do software de desenho assistido por computador (CAD - *Computer-aided design*), que projeta e molda a prótese com base nas medidas precisas do paciente, proporcionando assim, um melhor ajuste e conforto (Jelle ten Kate, Gerwin Smit e Paul Breedveld, 2016).

A impressão 3D reduz o tempo e o custo de produção de próteses, as técnicas tradicionais de fabricação levam semanas ou meses, ao contrário da impressão 3D, que pode produzir próteses em horas ou dias. As próteses tradicionais têm custos elevados, de maneira oposta às próteses impressas em 3D que apresentam custos reduzidos, o que as torna acessíveis a indivíduos com dificuldades financeiras (Jelle ten Kate, Gerwin Smit e Paul Breedveld, 2016).

Esta tecnologia também oferece a possibilidade de desenvolver designs inovadores, com maior liberdade de design, permitindo o desenvolvimento de designs protéticos originais que podem incluir geometrias complexas, sensores integrados e incorporação de materiais resistentes, sustentáveis e de baixo custo. Os processos de fabricação tradicionais geralmente envolvem cortar o excesso de material, o que pode levar ao desperdício. Em contraste, a impressão 3D é um processo com pouco desperdício de material, a colocação de mais matéria é feita apenas quando necessário, o que pode reduzir o desperdício. No entanto, existem obstáculos e algumas desvantagens na tecnologia de impressão 3D. A tecnologia possui materiais limitados, geralmente é usado plástico para a produção de peças (Xometry, 2022). As próteses impressas em 3D podem não ter a mesma vida útil que os dispositivos fabricados tradicionalmente, o que pode levar a um custo mais alto a longo prazo. As propriedades mecânicas dos materiais usados podem degradar com o tempo, e os dispositivos podem não suportar a pressão do uso diário de forma tão eficaz (Jelle ten Kate, Gerwin Smit e Paul Breedveld, 2017). Apesar dos materiais serem mais acessíveis, podem não oferecer a mesma durabilidade, flexibilidade e conforto que os materiais tradicionais usados na produção de próteses, como silicone ou fibra de carbono.

Próteses impressas em 3D necessitam de algumas etapas de pós-processamento, como remoção de suporte, alisamento de superfície e acabamento. Este processo requer tempo e trabalho adicional, que pode anular alguns dos benefícios da prototipagem rápida. Impressoras de 3D de alta qualidade apresentam elevados custos e o manuseamento do equipamento exige conhecimento especializado.

História

A impressão 3D é uma tecnologia que permite a criação de objetos tridimensionais a partir de ficheiros digitais, que acrescenta material camada a camada. Esta tecnologia apesar de parecer uma inovação relativamente recente, surgiu na década de 1980.

De acordo com o artigo publicado no *Jornal Internacional de Pesquisa e Tecnologia de Engenharia*, a impressão 3D ou fabrico aditivo é um processo para fabricação de objetos em 3D, criados a partir de um modelo 3D, em que camadas sucessivas de materiais são colocadas. Hideo Kodama é geralmente considerado como tendo sido o primeiro a imprimir o primeiro objeto sólido a partir de um desenho digital. Contudo, a primeira impressora, criada em 1984, 3D é atribuída a Charles Hull.

Charles Hull foi um dos pioneiros do processo estereolitografia, tecnologia que utiliza laser ultravioleta que traça uma forma na superfície com resina líquida e que com a exposição, solidifica e se junta à camada inferior (3D Systems, 2023), e do formato de ficheiro STL, que atualmente continua a ser o formato mais utilizado na impressão 3D (Vinod G. Gokhare, Dr. D. N. Raut e Dr. D. K. Shinde, 2017). Desde 1984, a tecnologia evoluiu rapidamente e as máquinas tornam-se cada vez mais úteis e importantes para evolução humana. Os preços destas máquinas baixaram, tornando-se mais acessíveis para as pessoas usufruírem nas suas casas (Vinod G. Gokhare, Dr. D. N. Raut e Dr. D. K. Shinde, 2017).

“In 1990, the plastic extrusion technology most widely associated with the term "3D printing" was invented by Stratasys by name fused deposition modeling (FDM).”

(Vinod G. Gokhare, Dr.D.N.Raut e Dr. D. K. Shinde, 2017)

Segundo o livro de *Towards 4D Bioprinting* de Adrian Neagu, o objetivo da impressão 3D desenvolvido por Charles Hull consiste em desenvolver objetos volumosos camada a camada, através de feixe de luz ultravioleta (UV) sobre uma superfície de uma solução líquida de fotopolímero que se torna sólida quando exposta à luz UV. 3D Systems, fundada por Chuck Hull em 1986, foi a primeira empresa de impressão 3D a ser fundada, e, após um ano da sua fundação, a empresa colocou no mercado a primeira impressora 3D (Adrian Neagu, 2022).

“Medical applications of 3D printing emerged soon thereafter (Mankovich et al., 1990). In their groundbreaking paper, Nicholas J. Mankovich, Andrew M. Cheeseman, and Noel G. Stoker from the University of California, Los Angeles, used an SLA printer to produce a physical model of a human skull starting from a computed tomography scan. They illustrate the power of the method, discuss the encountered difficulties, and propose a vast agenda for future research. “

(Adrian Neagu, 2022)

Atualmente, a impressão 3D tem apoiado diversas áreas da investigação, engenharia, medicina, arquitetura, entre outros. Stratays, em 1990, inventou a tecnologia de extrusão de plástico, conhecida atualmente como impressão 3D (Jornal Internacional de Pesquisa e Tecnologia de Engenharia, 2017).

Impressão 3D na medicina

A impressão 3D teve um impacto grande na indústria da medicina, oferecendo soluções que anteriormente eram inatingíveis com as técnicas tradicionais. Esta tecnologia permitiu a criação de implantes médicos personalizados, próteses e ortóteses que se adaptam às estruturas anatómicas de cada paciente. Apesar de ainda se encontrar em fase de estudos, a bioimpressão 3D é uma tecnologia que permite a produção de órgãos e tecidos para transplantes.

Diversas metodologias de bioimpressão foram recentemente testadas para a impressão de células através da injeção de células e hidrogéis em conjunto. Esta tecnologia inclui impressão acústica que consiste em bases em válvulas, ondas acústicas, jatos de tinta e a laser (Deepak M. Kalaskar, 2022). As células são colocadas num sistema de extrusão, processo de tratamento térmico que permite criar novos formatos (Diana Gregor-Svetec, 2022). De acordo com o livro de Deepak M. Kalaskar, 3D Printing in Medicine, a técnica de injeção de célula e hidrogel, consiste em gotículas que são criadas através de pérolas de hidrogel que encapsulam células.

“Acoustic waves do not harm cells because of low power cavitation bubble generation with only a few microseconds of pulse frequency. Acoustic ejectors can be integrated in an adjustable array sequence as multiple cells and ECM types. These ejectors could significantly print several biomaterials such as ECM proteins, living cells, nutrients, growth factors (GFs), and therapeutic drugs instantaneously from the same platform by introducing microfluidic chips into these ejectors. To obtain reproducible functionality for the deposition of encapsulated cell droplets, spatial precision of bioprinting should be comparable to the size of cells.”

(Deepak M. Kalaskar, 2022)

A impressão 3D está a evoluir as ferramentas e os dispositivos na indústria médica e a inovar produtos médicos como dispositivos e ferramentas personalizadas para pacientes. Os métodos tradicionais de fabrico de produtos médicos como implantes cirúrgicos envolvem a criação de moldes e a utilização de máquinas pesadas. Este processo apresenta um custo elevado e pode gerar muito desperdício. Também é complexo e dispendioso produzir implantes personalizados para cada doente, é especialmente difícil desenvolver dispositivos que utilizem materiais mais complicados de manipular, como as ligas de titânio, que são mais difíceis de moldar do que o aço inoxidável normal. Estas técnicas mais antigas podem também consumir muita energia e não permitem produzir facilmente implantes com diversas características. A impressão 3D apresenta uma solução para muitos destes problemas. Permite a criação de implantes feitos à medida sem necessidade de ferramentas especializadas. Beneficia especialmente dispositivos que são colocados no corpo para

substituir ou suportar órgãos ou tecidos danificados. Com a impressão 3D, pode-se conceber dispositivos à medida do corpo e das necessidades específicas de cada doente. Com isto, não se fabrica apenas implantes mais bem ajustados, como também reduz os custos, uma vez que não há necessidade de moldes ou máquinas dispendiosas. De acordo com o livro de Deepak M. Kalaskar, *3D Printing in Medicine*, o custo dos artigos impressos em 3D mantém-se constante, independentemente do número de peças produzidas. Assim, oferece uma opção mais económica para a criação de implantes médicos. Contudo, apesar de poder ser necessário alguns retoques finais após a impressão, o processo geral é mais eficiente.

Segundo Deepak Kalaskar, a tecnologia de impressão 3D tem vindo a dar contributos impactantes para o campo da medicina, sendo uma inovação revolucionária que promove a criação de dispositivos médicos altamente personalizados e soluções específicas para cada doente, fazendo avançar as aplicações clínicas e de investigação. O impacto da impressão 3D na medicina é multifacetado, abrangendo áreas como a prótese, a bioimpressão, a formulação de medicamentos e a educação médica. A capacidade de fabricar peças com volume reduzido, peças distintas e específicas para cada paciente, garante maior conforto para o paciente, como também para médicos, enfermeiros e designers.

Limitações da impressão 3D

A tecnologia da impressão 3D fornece um apoio importante para a indústria médica, uma vez que oferece soluções personalizáveis, rápidas e eficazes. Contudo, existem limitações na tecnologia. De acordo com o livro de *3D Printing in Medicine* de Deepak Kalaskar, uma das limitações importantes são as instalações limitadas, a capacidade da personalização das impressoras 3D, velocidade de impressão e processamento. A falta de diversidade nos biomateriais capazes de serem impressos em 3D, é também uma limitação para a fabricação de peças mais adequadas para pacientes e para a indústria médica.

Para a matéria ser imprimível, existem alguns requisitos nas características do material que devem ser cumpridas, tais como:

- Ser imprimível (Deepak M. Kalaskar, 2022);
- Propriedades mecânicas adequadas para suportar a pressão da impressão (Deepak M. Kalaskar, 2022);
- Biocompatibilidade (Deepak M. Kalaskar, 2022);
- Dispor de biomimética, material sintético criado pela mão humana (?) para reproduzir peças biológicas naturais (Robert Lanza, Robert Langer, Joseph P. Vacanti, Anthony Atala, 2013), tecido (Deepak M. Kalaskar, 2022);
- Formar subprodutos de degradação seguros (Deepak M. Kalaskar, 2022);
- Boa força do movimento da degradação (Deepak M. Kalaskar, 2022);

Estes requisitos devem de ser cumpridos, podendo sofrer alterações consoante o tipo de impressão e o modo como ser aplicado (Deepak M. Kalaskar, 2022).

Bioimpressão

A bioimpressão é uma das aplicações inovadoras da impressão 3D na medicina. Permite a criação de tecidos e órgãos para transplante, reduzindo a dependência de órgãos de doadores e diminuindo os tempos de espera dos pacientes. O processo de impressão coloca células em camadas, materiais biocompatíveis e outros componentes de apoio para fabricar tecidos vivos funcionais.

“...When articulating engineering principles for na organ biofabrication, we have to consider the following basic design principles. The first principle is to optimize and integrate all the existing technologies to develop something entirely new. The second principle is to never Forget the living environment the organ has to function within. Organ functionality in a biological environment is the most importante engineering restraint. The third principle is to optimize the automation of fabrication processes and their operations to achieve better scalability. The fourth principle is the compatibility and ability to integrate all the dynamic componentes with one another. Finally, the fifth principle is that the whole fabricated system must be automatic and every step be biomonitored nondestructively in real time, using highly sophisticated “built in” advanced sensors and na automatically controllable system of quality control”

(Deepak M. Kalaskar, 2022)

A bioimpressão 3D é utilizada para ajudar a compreender como as células se comportam, rastreamento de doenças e como medicamentos podem controlar essas doenças.

“...For example, in a 3D ovarian model, where OVCAR-5 cells embedded in Matrigel naturally formed micronodules resemble in vivo characteristics of na adherent micrometastatic disease. By using 3D bioprinting, this model was further enhanced by patterning two diferente cell types, FB and OVCAR-5, at the same time in Matrigel to miniaturize, expand, reproduce, and make it amenable to high output screening. As a result the 3D printed model acquired better spatial localization and control of the cancer and stromal cells to reiterate their in vivo orientation.”

(Deepak M. Kalaskar, 2022)

Impressão 3D na indústria farmacêutica

Na indústria farmacêutica, a impressão 3D introduz novas soluções para a formulação e administração de medicamentos. Em 2015, foi aprovado o medicamento Spritam® produzido pela tecnologia de impressão 3D.

Spritam® (Figura 6) é um medicamento aprovado pela FDA (Food and Drug Administration) que utiliza a impressão 3D para produzir uma estrutura porosa que se desintegra rapidamente, ajudando os doentes com epilepsia a aderir à medicação. De acordo com o artigo de Andrea Alice Konta, Marta García-Piña e Dolores R. Serrano, o medicamento foi produzido através da impressão a jato de tinta que possui uma solução aglutinante semilíquida numa camada de pó que liga as partículas. Spritam® é considerado uma eficácia farmacológica, devido a grande melhoria do tempo de solubilização, que foi reduzido drasticamente através da sua composição de matriz porosa e solúvel. O medicamento é impresso camada a camada, sendo que a primeira camada consiste na substância que exerce o efeito farmacológico. De seguida, é depositado o líquido aglutinante que integração e agrega todas as camadas. No final, a substância torna-se num comprimido sólido que se dissolve em poucos segundos e com uma quantidade pequena de água.



Figura 6 – Medicamento Spritam® - Primeiro medicamento a ser impresso com impressora 3D

A impressão 3D também permite dosagens personalizadas de medicamentos, em que a dose é adaptada à composição genética do doente.

“In general, current pharmaceutical manufacturing processes are designed to allow mass production of large numbers of unit dosage forms of fixed dose. This has benefit of reducing the cost production but limits the range of doses and/or dose combinations that can be offered commercially...It might reasonably be argued, therefore, that before the era of personalized medicines can truly begin, new manufacturing technologies capable of producing unit dosage forms of any dose and in low numbers must be developed. Inkjet and 3D printing are technologies that have this potential, and so their pharmaceutical applications are of huge commercial interest.”

(Deepak M. Kalaskar, 2022)

4D bioprinting

A bioimpressão 4D é uma inovação tecnológica que alarga as capacidades da impressão 3D através da introdução do tempo como quarta dimensão (Adrian Neagu, 2022). Envolve o fabrico de construções biológicas que podem transformar-se ao longo do tempo em resposta a estímulos ambientais (Adrian Neagu, 2022). A impressão 4D é uma tecnologia que se baseia na impressão 3D cuja a quarta dimensão acarreta a capacidade do objeto impresso de alterar de forma e/ou função no momento em que está exposto a um determinado estímulo, como luz, calor, pressão, entre outros (Adrian Neagu, 2022). O objetivo da impressão 4D é de utilizar uma impressora 3D para construir um produto com capacidade de responder a um determinado estímulo (Adrian Neagu, 2022). A ideia de utilizar a tecnologia de impressão 3D, surgiu da reutilização de impressoras de jato de tinta e plotters gráficos para desenvolver padrões de biomoléculas em substratos 2D (Adrian Neagu, 2022).

A bioimpressão 4D tem diversas utilizações, tais como:

- Fabricação de tecidos para implantação (Henri Vahabi, Mehrshad Mehrpouya, 2023);
- Criação de tecidos in vitro (Henri Vahabi, Mehrshad Mehrpouya, 2023);
- Criação de sistemas inteligentes de administração de medicamentos (Henri Vahabi, Mehrshad Mehrpouya, 2023);
- Formação de vasos sanguíneos. A formação dos vasos é uma das utilizações mais importantes na bioimpressão 4D (Henri Vahabi, Mehrshad Mehrpouya, 2023).

A bioimpressão 3D apresenta algumas limitações, sendo que a principal limitação da tecnologia, é de considerar apenas o estado inerte do objeto, assumindo que o objeto impresso está inconsciente (Deepak M. Kalaskar, 2017). No entanto, a bioimpressão 4D permite alterar essa visão, alterando o “tempo” para quarta dimensão. Desta forma, o “tempo” não demonstra o tempo que uma peça leva a ser impressa, mas sim que o biomaterial impresso nas impressoras 3D se mantenha a regenerar e a evoluir ao longo do tempo após serem impressas e implantadas (Deepak M. Kalaskar, 2017).

“...To address this limitation, a novel technique called “4D bioprinting” has emerged recently, where “time” is considered as the fourth dimension along with 3D bioprinting. Here, “time” does not indicate how long it takes to print a specific part, but rather the fact that the 3D printed biomaterial or viable cellular constructs continue to regenerate and evolve over time after being printed and implanted in vivo.”

(Deepak M. Kalaskar, 2022)

Em resumo, este tópico sobre a impressão 3D em dispositivos protéticos, permitiu abordar vários aspetos e aplicações da tecnologia de impressão 3D, especialmente na medicina, cujas principais ideias e contribuições são:

A Revolução na Fabricação de Dispositivos Protéticos cuja impressão 3D trouxe uma mudança significativa no desenvolvimento de dispositivos protéticos, tornando-os mais acessíveis, personalizados e funcionais.

Os Benefícios da Impressão 3D em Próteses onde a tecnologia de impressão 3D reduz drasticamente o tempo e o custo de produção de próteses em comparação com métodos tradicionais. Isso possibilita uma produção mais rápida e acessível, adaptada às necessidades individuais dos pacientes.

A Inovação de Design e Material cuja impressão 3D oferece liberdade de design e a capacidade de incorporar materiais mais resistentes, sustentáveis e de baixo custo nas próteses. Isso permite o desenvolvimento de design mais original e complexo, bem como a redução do desperdício de material.

A História e Evolução da Impressão 3D pois a história da impressão 3D, desde os seus primórdios até os avanços recentes destaca-se no papel de pioneiros como Charles Hull e os marcos significativos no desenvolvimento da tecnologia.

Aplicações na Medicina onde a impressão 3D tem um impacto significativo na indústria médica, possibilitando a criação de implantes personalizados, próteses, ortóteses e até mesmo órgãos para transplante. A bioimpressão 3D é especialmente promissora na oferta de soluções para a regeneração de tecidos e na fabricação de medicamentos personalizados.

Os Desafios e Limitações que apesar dos benefícios, existem desafios e limitações associados à tecnologia de impressão 3D na medicina, como instalações limitadas, falta de diversidade nos biomateriais disponíveis e a necessidade de aperfeiçoar a personalização e a velocidade da impressão.

A Impressão 4D e Futuro da Bioimpressão onde a bioimpressão 4D é destacada como uma inovação promissora que introduz o tempo como uma 4ª dimensão na fabricação de estruturas biológicas. Isso possibilita o desenvolvimento de tecidos e órgãos que podem transformar-se ao longo do tempo em resposta a estímulos ambientais.

Assim, percebemos que a impressão 3D está a transformar a indústria médica e os dispositivos protéticos, oferecendo soluções inovadoras e personalizadas que têm o potencial de melhorar significativamente a qualidade de vida dos pacientes.

3.4 Caso de estudo 1 “Projeto Unlimited – Prótese Infantil: Uma abordagem modular que cresce com o utilizador”

Durante todo o processo de desenvolvimento de próteses, designers, engenheiros e profissionais de saúde preocupam-se com o bem-estar e o desenvolvimento das crianças que necessitam desses dispositivos. Para as crianças, as próteses não são apenas um substituto para os seus membros perdidos, mas são também ferramentas essenciais que permitem a integração na sociedade, refletem a sua imagem pessoal e permitem ultrapassar diversos obstáculos do quotidiano. As próteses visam ultrapassar as limitações físicas e o desejo de viver uma vida normal – brincar, saltar, aprender e crescer. O objetivo desta análise é de avaliar o método como dois projetos de duas empresas abordaram o problema das crianças e como as suas próteses se adequam e cumprem com os requisitos das crianças. Os projetos apresentam diferentes soluções projetadas para atender às necessidades de crianças com próteses.

O projeto “*Unlimited*” da empresa Gyromotics e o projeto “Membros protéticos biônicos de impressão 3D para crianças” da empresa *Limbless Solutions* dispõe de designs inovadores, usufruindo de tecnologias avançadas e com uma compreensão clara dos requisitos específicos das crianças. O objetivo desta análise, é de avaliar individualmente as características da prótese, como forma, aparência, ergonomia, funcionalidade, função, texturas e acabamentos, interface do usuário e a *branding*. Compreender a relação do usuário com o produto, a ergonomia e o design centrado no usuário, design estético, funcionalidade, materiais e construção, inovação e originalidade, identidade da marca e o feedback dos usuários, foram aspeto essenciais para a análise dos projetos. Para a análise foram levadas em consideração elementos essenciais presentes em livros de design de produto como “*Design Research – Methods and Perspectives*” de Brenda Laurel, “Design de identidade da marca” de Alina Wheeler, “*Emotional Design*” de Don Norman, “*The Design of Everyday Things*” de Don Norman, “Ergonomia – Projeto e Produção” de Itiro Lida, “*Functionalist Design*” de George H. Marcus, “*Comparison of Three Methodological Approaches of Design Research*” de Imre Horváth, “*Industrial Design – Materials and manufacturing guide*” de Jim Lesko, “*Introduction to ergonomics*” de R.S. Bridger, “*Design for The Real World*” de Victor Papanek, entre outros livros importantes para o design de produto e para a investigação.

Com isto, foi desenvolvido em 2020, um projeto de pesquisa que investiga as necessidades específicas das crianças que usam próteses de membros inferiores, liderado pela *Delft University of Technology* e *Gyromotics*. Os resultados da investigação mostraram que as crianças estão mais propensas a causar danos nas suas próteses, derivado da natureza ativa. A investigação enfatiza a necessidade de desenvolver próteses infantis com maior adaptabilidade, uma vez que os surtos de crescimento podem tornar os dispositivos protéticos excessivamente rígidos ou flexíveis. Segundo o artigo, Tijmen procurou desenvolver próteses infantis mais robustas, confortáveis e adaptáveis ao crescimento das crianças. Tijmen desenvolveu o projeto “*Measuring Ground Reaction Forces in Running Specific Protheses – A Fiber Optic Sensing Approach*”, que propõe um sistema de sensor que melhora o desempenho dos movimentos. O sistema de sensores recebeu o apoio da empresa Photon First e Gyromotics. As próteses podem ainda ser usadas por atletas paraolímpicos.

Atualmente, o projeto encontra-se ainda em análise de modo a garantir o uso com segurança por um longo período.

Com isto, o projeto *Unlimeted* foi escolhido para esta investigação, devido abordar duas questões das problemáticas mais presentes no desenvolvimento de próteses, a adaptabilidade dos dispositivos protéticos ao crescimento e a natureza ativa das crianças. A análise do projeto, tem como objetivo avaliar como a proposta de Tijmen Seignette, resolve as problemáticas, bem como analisar o design funcional, estético, ergonômico, texturas e acabamentos, interface do usuário e a inovação do projeto. Cada elemento fornece assistência às habilidades físicas e promove o bem-estar emocional da criança, contribuindo para um maior senso de autoconfiança e de qualidade de vida. A investigação procura compreender como o design funcional da prótese se adapta ao crescimento de uma criança e reduz a necessidade de substituições frequentes. É feita análise à aparência e como o projeto equilibra a funcionalidade com um apelo infantil, de modo a tornar o dispositivo menos intimidador e mais aceite pelos jovens.

Na investigação é analisado os princípios de design ergonômico empregados no dispositivo para garantir conforto e usabilidade. A forma, a textura e os acabamentos serão avaliados para compreender como o projeto aborda o apelo tátil e visual, aspetos importantes que contribuem para a aceitação e conexão emocional da criança com o dispositivo. A análise à interface do usuário pretende investigar como o projeto tornou o dispositivo intuitivo e fácil de usar para uma criança operar. A inovação, avalia como o projeto revolucionou o campo da prótese pediátrica. Com esta análise, pretende-se compreender o processo de desenvolvimento das próteses infantis, bem como os métodos utilizados pelos investigadores.

1. Conceito

Projeto Unlimited, liderado pela Delft University of Technology and Gyromotics, investigou problemas que crianças com próteses de membros inferiores enfrentam. Segundo o artigo, os jovens estão mais propensos a danificar as suas próteses do que os adultos, devido à natureza ativa das crianças.

Tijmen Seignette, no ano de 2020, desenvolveu um projeto para próteses com sistema de medição de força de reação do solo (GRF - Ground reaction force), sistema que mede e converte tensões exercidas pelo pé numa superfície constituída por sensores, em sinais elétricos. Posteriormente, desenvolveu uma prótese instrumentada com sistema GRF e sistema de rede de Bragg de fibra (FBG - Fiber Bragg Gratings), sistema de sensores de medição que permite determinar diversos parâmetros de engenharia como temperatura, deformação, pressão, inclinação, deslocamento, aceleração, entre outros. Próteses instrumentadas permitem medir elementos físicos do corpo como temperatura, pressão, fluxo, entre outros. Os sistemas implementados na prótese visam facilitar a medição dos elementos físicos do corpo durante uma corrida com várias velocidades e solos.

O projeto tem como objetivo desenvolver uma prótese para crianças capaz de acompanhar o seu crescimento e permita que a criança participe de atividades físicas sem desgastar a prótese.

2. Forma

A forma das próteses infantis tem como função garantir que as próteses desempenhem a função física de forma eficaz, de modo a assegurar o bem-estar psicológico da criança. As crianças estão em fase de formação, a autoestima, a imagem e aceitação nos círculos sociais estão em constante evolução e definição. Assim, o formato da prótese pode impactar positivamente ou negativamente no desenvolvimento da criança.

A prótese de Tijmen Seignette possui um formato de um pé humano, com elementos que representam os dedos do pé, metatarso, tarso e calcanhar (Figura 7). Apresenta um design moderno e simples, porém não se assemelha esteticamente com o pé humano. O dispositivo possui forma robótica com contornos elegantes e nítidos. Observa-se as linhas de contornos entre os diferentes elementos, sendo perceptível de observar as diferentes peças que se encaixam e compõem a forma do dispositivo.

Embora o dispositivo apresente um design elegante e moderno, torna-se, possivelmente, pouco apelativo para as crianças. Geralmente, as crianças optam por designs que se assemelham à forma e cor natural da sua pele ou designs com formas expressivas que represente a imagem pessoal. Tijmen, com este projeto, tem como objetivo priorizar a funcionalidade e a ergonomia da prótese.



Figura 7 - Prótese Gyromotics – Forma

3. Função

As crianças estão em constante crescimento, tanto fisicamente quanto nas suas habilidades e capacidades. Assim, a função das próteses é substituir o membro perdido e melhorar a qualidade de vida, que não se baseia apenas na capacidade de realizar tarefas, mas também na influência positiva do dispositivo no desenvolvimento e na independência.

A prótese de Tijmen Seignette foi projetada para substituir um membro inferior amputado de uma criança. O dispositivo visa imitar diversos movimentos naturais do tornozelo e do pé, como caminhar, subir, descer, correr, praticar desportos, entre outros. A forma de antepé (parte anterior do pé que inclui metatarsos e as falanges (Dicionário Priberam, 2023)) do dispositivo permite o posicionamento correto nas superfícies, garantindo a segurança durante as atividades. Mediopé cria ligação entre o antepé e o retropé (parte posterior do pé que inclui os ossos tálus e calcâneo (Dicionário Priberam, 2023)) do dispositivo e garante o equilíbrio. Retropé possui uma mola que permite realizar diversas funções como correr, caminhar e saltar, sem necessitar de ajustar o dispositivo para a realização das tarefas.

4. Ergonomia

A ergonomia tem como objetivo projetar próteses que forneçam conforto e estabilidade, considerando o tamanho, peso, estilo de vida e necessidades especificadas pelo usuário, para que realize com eficiência e segurança as tarefas do cotidiano. A ergonomia analisa o relacionamento entre o produto e o utilizador, considerando conforto, usabilidade, funcionalidade e acessibilidade.

Tijmen Seignette desenvolveu o dispositivo com o objetivo de garantir que as crianças caminhem sem esforço através de molas. A mola permite flexibilidade e amortecimento do pé, fornecendo conforto e segurança no dispositivo. A sola do dispositivo permite o bom posicionamento na superfície, enquanto o retropé é composto por uma mola, que fornece equilíbrio para caminhar e correr. Segundo Tijmen, o dispositivo visa corrigir a postura, melhorar os movimentos como caminhar e correr.



Figura 8 - Ergonomia do dispositivo Gyromotics.

A prótese deve ser leve o suficiente para que a criança se mova com facilidade, mas também robusta para suportar impactos durante as atividades infantis. Com isto, a prótese desenvolvida, dispõe de um design que acomoda o crescimento e as mudanças no corpo da criança, através de encaixes simples e forma ergonômica do dispositivo para realizar atividades, como também de forma robusta para suportar tensões e impactos.

5. Materiais

Os materiais dos dispositivos protéticos influenciam a estética, a durabilidade, a sustentabilidade, a segurança e a eficiência do produto. Estes, impactam no conforto da criança, facilidade de uso e aceitação do dispositivo. As próteses necessitam de materiais duráveis e resistentes, capazes de suportar as diversas atividades infantis, para garantir a longevidade e desempenho funcional da prótese.

Os materiais devem ser leves para facilitar o uso e permitir que a criança se desloque com liberdade e conforto. A sensibilidade da pele é um fator a considerar durante a fabricação do dispositivo para evitar reações alérgicas no membro natural da criança. Os materiais escolhidos contribuem para a ergonomia, aparência e aceitação do dispositivo.

Durante a pesquisa, não foi possível encontrar informações sobre os materiais colocados no dispositivo. Contudo, ao analisar as imagens do dispositivo, é possível observar elementos metálicos e sola de borracha. Elementos metálicos garantem robustez e resistência ao dispositivo, enquanto elementos de borracha garantem amortecimento e segurança.

6. Cor

A cor é um elemento visual importante para as crianças, a seleção de cores apropriadas pode transmitir emoções, criar identidade pessoal e de marca e melhorar a usabilidade. A presença da cor aumenta o apelo estético da prótese, particularmente em crianças, uma vez que são visualmente estimuladas e atraídas por cores vibrantes. Uma prótese de cores vivas ou temas preferidos pelas crianças aumenta a aceitação e o entusiasmo pela prótese.

Tijmen Seignette desenvolveu o dispositivo com design moderno e simples, possuindo apenas um elemento de cor. A cor preta é predominante no dispositivo, enquanto o elemento com cor possui seis cores, branco, preto, azul, vermelho, verde e amarelo. A simplicidade do design oferece uma estética agradável visualmente, garantindo que a criança não se canse da aparência da prótese. Contudo, a aparência pode não ser apelativa para uma criança, devido à falta de cores. No entanto, a falta de cores vibrantes acompanha o crescimento das crianças, que geralmente, perdem o interesse nas cores vibrantes conforme vão amadurecendo.



Figura 9 - Elemento de cor.

7. Texturas e acabamentos

Texturas e acabamentos adicionam interesse visual e tátil ao produto. O dispositivo dispõe de diferentes acabamentos, devido aos diferentes materiais utilizados. Antepé e retopé da prótese apresentam acabamento fosco, sem texturas. Mediopé dispõe de diferentes acabamentos e texturas, a parte superior possui acabamento fosco e liso, com a textura natural do material. A parte inferior do dispositivo apresenta a textura natural do dispositivo, com acabamento polido e liso e contornos foscos. O elemento de encaixe apresenta acabamento brilhante, sem texturas. A sola do dispositivo apresenta relevo sem textura e com acabamento fosco, que se enquadra com as restantes partes da prótese.

Observa-se uma escolha simples para acabamentos e texturas, que proporciona um design suave e harmonioso e que permite que o usuário não sinta fadiga visual. A textura e acabamento não contribui apenas para aparência da prótese, pois possui uma função importante para a usabilidade prática da prótese. A escolha de acabamentos foscos, lisos e sem texturização nos elementos superiores, melhora a aderência e a estabilidade do pé protético durante a utilização do dispositivo, uma vez que, superfícies texturizadas podem causar maior fricção e aderência, como a sola do dispositivo. Os acabamentos utilizados desempenham uma função importante na durabilidade e manutenção das próteses, pois podem oferecer maior resistência ao desgaste do estilo de vida ativo de uma criança.



Figura 10 - Tipos de acabamentos e texturas

8. Interface do usuário

A interface do usuário de próteses infantis refere-se à facilidade com que a criança controla a prótese. Através de uma interface intuitiva e bem projetada, a criança pode dominar rapidamente o método como usa a sua prótese, levando a níveis maiores de confiança e satisfação. As crianças, ao contrário dos adultos, ainda estão a desenvolver as suas habilidades cognitivas e motoras, desta forma, a prótese necessita de acompanhar o desenvolvimento da criança.

O dispositivo apresenta uma interface simples, sem necessidade de botões, ícones ou outros controlos. Tijmen Seignette desenvolveu o produto com encaixe simplificado que permite a rápida colocação, através uma superfície lisa com abertura para a colocação nouro dispositivo. A criança necessita de reabilitação para manusear o aparelho, porém a maneira intuitiva e eficiente do aparelho, sem necessidade de alterações, ajustes ou manipulação de controlos para realizar as atividades, facilita o processo de adaptação da criança.

Devido à interface simples, a criança pode facilmente envolver-se com o produto, observando como um jogo, fornecendo desta forma, uma experiência divertida e agradável. A motivação e a velocidade de aprendizado da criança aumentam, devido ao design centrado na criança.

9. Branding

A identidade visual e conceitual do produto, envolve a escolha de elementos visuais, como, logótipo, cores, forma e embalagem, que representam a personalidade da marca e criação de uma ligação com os consumidores.

A empresa Gyromotics, desenvolveu um logótipo limpo e distinto, com mensagem direta. O logótipo moderno representa mudança, evolução e tecnologia, elementos fundamentais no desenvolvimento de próteses. Assim como o logótipo, o dispositivo possui design inovador e original, que comunica diretamente com a mensagem do logótipo. A forma simples, sem possibilidade de personalização, não prejudica a mensagem da empresa, o dispositivo possui um design limpo e distinto, com uma nova solução para as crianças. A escolha de um dispositivo preto revela modernidade, força e elegância. O único elemento de cor do dispositivo, oferece às crianças a possibilidade de escolher a cor que as representa.

O website da empresa, possui um layout moderno e elegante, com a cor preto predominante no site. A mensagem da empresa é direta, visa desenvolver próteses elegantes, com design ergonómico simplificado e elegante para as crianças.



GYROMOTICS
MOVE BETTER

Figura 11 - Logótipo Gyromotics

10. Inovação

A inovação procura criar soluções originais e criativas, que se destacam no mercado e atendem às necessidades e desejos dos consumidores. O método de inovar é variado, a empresa pode recorrer a implementação de materiais leves, duráveis e confortáveis, designs sofisticados que imitam o movimento natural e a tecnologia moderna.

A empresa Gyromotics, desenvolveu uma prótese com design inovador, que não necessita de botões ou outro tipo de controlos, simplificando a usabilidade do produto. A aparência do dispositivo é original e transformadora, com contornos evidentes e elegantes e com acabamentos e texturas simples e harmoniosos, adequadas à comunicação da marca. O mercado apresenta poucos designs de próteses infantis, geralmente, os designs possuem aparência robótica e pouco apelativas para as crianças. A prótese da empresa Gyromotics, possui um design moderno e elegante que se destaca no mercado, como também uma nova solução para crianças ativas. O dispositivo é uma ferramenta de empoderamento que permite que as crianças persigam as suas paixões, seja no desporto ou outra atividade.

3.5 Caso de estudo 2 - “Limbless Solutions - Membros protéticos biônicos de impressão 3D para crianças”

Nos últimos anos, a evolução da tecnologia de impressão 3D transformou diversos setores. No campo das próteses, o surgimento dessa tecnologia, possibilitou soluções protéticas mais eficientes, acessíveis e personalizadas. Para o desenvolvimento das próteses infantis, os métodos tradicionais dificultam o apelo estética, custo e personalização centrada nas crianças.

O jornal The Guardian, publicou um artigo sobre o engenheiro Albert Manero e os seus projetos para ajudar as crianças que necessitam de próteses. Segundo o artigo, Albert Manero, fundador da empresa Limbless Solutions, desenvolve próteses, sem nenhum custo, para fornecer às crianças ferramentas funcionais e personalizadas. Em 2014, Albert Manero deparou-se com a situação de uma família com dificuldades para fornecer uma prótese de mão para o filho. Assim, Albert criou uma equipa com o intuito de desenvolver uma prótese capaz de atender às necessidades específicas da criança. Após oito semanas, Albert apresentou um protótipo de uma prótese biônica capaz de realizar tarefas simples. Posteriormente, em 2015, a criança recebeu o segundo braço biônico. O projeto recebeu o apoio do ator Robert Downey Jr, que devido à sua fama, permitiu que os projetos de Albert Manero recebessem mais visualizações e apoio. A partir desse projeto, a empresa Limbless Solutions foi criada com o intuito de fornecer próteses biônicas personalizadas impressas em 3D para as crianças, sem nenhum custo para as famílias. As crianças podem escolher cores e designs com temas, de modo a tornarem a prótese uma ferramenta de expressão pessoal. Desde 2015, que a empresa fornece próteses para várias crianças.

Com a análise deste projeto, pretende-se explorar e compreender como a integração da tecnologia de impressão 3D facilita no processo de desenvolvimento de próteses infantis. Os métodos tradicionais de construção de próteses apresentam alguns problemas como o tempo de fabricação de próteses, a limitação do desenho estético mais apelativo para crianças e a construção de ergonômias mais adequadas para as crianças. Desta forma, foi escolhido este projeto, uma vez que apresenta soluções para resolver as questões. A investigação, do projeto da empresa Limbless Solutions visa compreender os métodos e as soluções utilizados para resolver estes desafios, que não apenas fornecem próteses que desempenham a função pretendida, mas também são atraentes e envolventes para as crianças. Assim como a análise ao projeto *Unlimited*, esta investigação, irá analisar o conceito, a forma, a ergonomia, a cor, função, branding, materiais, texturas e acabamentos e interface do usuário.

1. Conceito

Os projetos de Albert Manero, tem como objetivo recuperar a mobilidade perdida, através de próteses de mão biônicas, e melhorar o psicológico das crianças recorrendo à personalização. Os dispositivos são desenvolvidos com o auxílio da tecnologia de impressão 3D, que garante maior liberdade na criação de design. Segundo Albert Manero, a empresa visa a acessibilidade, sem custos, para garantir que todas as crianças recebem o apoio necessário para ultrapassarem os obstáculos.

As próteses são fabricadas a partir da tecnologia eletromiografia, que permite executar diversas funções como agarrar e manipular um objeto. O dispositivo possui fios ligados a eletrodos, colocados na parte superior da pele do membro saudável, que deteta sinais elétricos do movimento do membro e que se desloca de acordo com o pretendido. Segundo Albert Manero, as próteses são leves e modulares, fabricadas a partir de componentes impressos em 3D, que acelera a produção e reduz o desperdício. O dispositivo permite personalizar, através da impressão 3D, de acordo com o gosto pessoal da criança.

2. Forma

No desenvolvimento da forma da prótese infantil, existem diversas considerações devido à complexidade. As crianças estão em processo de crescimento, o corpo sofre alterações e necessidades podem alterar rapidamente.

Assim, o projeto de Albert Manero, consiste numa prótese biônica de uma mão e antebraço. A aparência do dispositivo é ajustada ao gosto e tema da criança, através da impressão 3D que permite adicionar elementos e acessórios de diversos temas e cores como super-heróis, princesas, robóticas, futuristas, entre outros. Albert Manero procurou equilibrar a estética com a funcionalidade. Os dispositivos possuem cinco dedos flexíveis que permitem agarrar objetos e manuseá-los. A prótese está dividida em três partes que consiste no encaixe que permite a colocação do dispositivo no membro natural, antebraço que possui as ligações, componentes mecânicas e elementos personalizáveis, e a mão que imita os movimentos naturais da mão humana, permitindo desta forma manusear objetos. O dispositivo permite ainda retirar os elementos personalizáveis e alterar por novas peças com novos temas. Próteses biônicas possuem sensores que são colocados no membro natural da criança e permitem ler os sinais de movimento do membro, através da eletromiografia, e comandar o dispositivo a realizar a tarefa. As proporções do dispositivo são ajustadas às dimensões da criança, bem como a aparência física.

3. Função

As próteses para crianças são projetadas para substituir o membro perdido e restaurar a funcionalidade.

O dispositivo biônico visa substituir o membro amputado e restaurar a mobilidade perdida. A prótese capta os impulsos do cérebro que comanda para realizar tarefas como contrair ou relaxar. A captação dos impulsos do cérebro é feita por sensores, colocados sob a pele do membro da criança, que medem a atividade elétrica do músculo. Os sinais são enviados para o microprocessador do antebraço, que aciona os motores da mão para abrir e fechar (Albert Manero,s.d.). A manipulação dos objetos é feita através de dedos flexíveis.

O dispositivo de Albert Manero recupera parte do movimento perdido e permite que as crianças ajustem a aparência das próteses. Com isto, a prótese melhora não apenas a funcionalidade e a usabilidade na realização das tarefas, como também a saúde psicológica das crianças.

4. Ergonomia

A ergonomia analisa e projeta produtos que se adaptam às capacidades e limitações físicas das crianças para melhorar a eficiência e a produtividade, reduzindo o desconforto e o risco de lesões.

Albert Manero desenvolveu o dispositivo com o intuito de melhorar a usabilidade e o conforto das próteses infantis, através de elementos biônicos. Próteses biônicas visam facilitar e melhorar o conforto das crianças durante as atividades, recorrendo a sensores. Desta forma, a criança pode interagir com colegas e participar nas atividades infantis, sem esforço ou constrangimento. A personalização garante o conforto e confiança da criança no dispositivo. Os elementos permitem ser retirados e colocados de forma eficiente e rápida, através de encaixes, permitindo que a criança coloque outros elementos com temas diferentes.

O dispositivo aumenta o conforto e o ajuste da prótese, uma vez que considera a forma e o tamanho do membro natural da criança, a proporção do corpo e as necessidades físicas. Próteses biônicas tornam-se mais fáceis e intuitivas para crianças de usar, devido a inexistência de controlos complexos. A prótese adapta-se ao crescimento da criança e às várias atividades que realiza, uma vez que é fabricada por peças de encaixe, que podem ser substituídas.

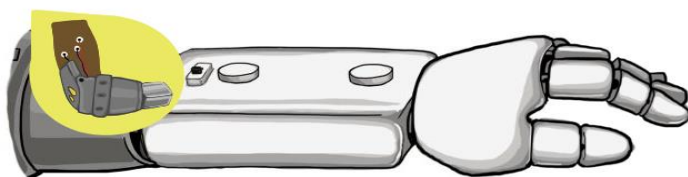


Figura 12 - Ergonomia do dispositivo *Limbitless Solutions*

5. Materiais

Os materiais usados nas próteses infantil equilibram várias características como peso, resistência, flexibilidade, aparência e durabilidade. Materiais leves facilitam o uso da prótese pela criança, diminuindo o cansaço e tornando os movimentos mais naturais, enquanto materiais fortes suportam o peso da criança e atividades diárias.

Durante a investigação, não foi possível encontrar informações sobre os materiais utilizados no desenvolvimento da prótese, contudo, a tecnologia de impressão 3D dispõe de poucas categorias de produto. Desta forma, o dispositivo pode ser composto de ácido poliláctico (PLA), acrilonitrila butadieno estireno (ABS), nylon, poliuretano termoplástico (TPU) e poliéter éter cetona (PEEK).

6. Cor

Albert Manero desenvolveu uma prótese que permite personalizar e colocar acessórios que representam as crianças, através da impressão 3D. O dispositivo permite colocar diferentes cores com tons suaves ou vibrantes e diversos temas, como super-heróis e princesas. A representação da identidade e gostos pessoais na prótese, pode estimular o usufruir da prótese para realizar tarefas e fornecer uma forma de expressão pessoal para as crianças.

As crianças gostam de escolher roupas ou acessórios, desta forma, escolher as cores e o design para as suas próteses pode permitir que as crianças apresentem a sua personalidade e demonstrem a sua identidade. Com isto fornece apoio para se sentirem mais confiantes e confortáveis com sua prótese.



Figura 13 - Exemplos dos dispositivos desenvolvidos pela empresa *Limbitless Solutions*

7. Texturas e acabamentos

Texturas e acabamentos esteticamente agradáveis podem tornar a prótese mais atraente para a criança, aumentando sua vontade de usá-la. Acabamentos agregam à durabilidade da prótese, como proteger de arranhões ou danos causados pela exposição solar e água.

As próteses de Albert Manero possuem diversos acabamentos e texturas, podendo apresentar acabamento polido para se tornar apelativo para as crianças, ou acabamento fosco que torna a prótese discreta e suave. A textura influencia a resposta tátil que a criança

recebe quando toca ou segura no objeto. Texturas lisas podem dificultar o movimento de segurar os objetos, enquanto texturas ásperas podem dificultar a libertação de objetos.

Na investigação, é possível observar acabamento fosco sem texturização nas peças dos dedos, aspeto que garante maior eficiência no manuseamento de objetos, enquanto para as peças do antebraço, é possível observar diferentes acabamentos e texturas.

8. Interface do usuário

A interface do usuário de uma prótese infantil preocupa-se de como a criança interage e controla a prótese. Próteses biônicas incluem funcionalidades complexas, com diferentes graus de liberdade e movimentos. Com isto, uma interface bem projetada pode facilitar o processo de aprendizagem para as crianças controlarem com eficiência as suas próteses.

Segundo Albert Manero, os dispositivos utilizam eletromiografia em tempo real para ativar o movimento dos braços protéticos. As crianças possuem sensores, com adesivos semelhantes aos de um exame eletrocardiograma, que são colocados no músculo saudável. Desta forma, a criança quando desloca o membro saudável, os sensores analisam os sinais elétricos do cérebro e captam a intenção e o movimento. O dispositivo permite dois tipos de movimento da mão protética, abrir e fechar os dedos. Os dedos dispõem de cinco motores que proporcionam maior mobilidade e de realizar diferentes gestos.

O dispositivo possui uma interface simples e intuitiva, sem necessidade de botões ou outro tipo de controlos. O design da interface afeta a rapidez e a eficácia com que uma criança aprende a usar a prótese. No entanto, próteses biônicas necessitam de tempo e de educação para um bom manuseamento.

9. Branding

A empresa Limbitless Solutions, propôs um design inovador, recorrendo às novas tecnologias e novos conhecimentos, como tecnologia de impressão 3D e engenharia biônica. A proposta inovadora trouxe o apoio de um ator americano famoso, Robert Downey Jr, que permitiu que diversas crianças, que gostam de filmes de super-heróis, criassem conexão com os dispositivos e a marca. O apoio forneceu visualização e uma boa estratégia de marketing.

A criação de próteses personalizáveis torna as crianças mais propensas a aceitar e usar a prótese. Desta forma, as famílias sentem-se confortáveis e seguras com a marca, compartilhando as suas histórias.

Durante a investigação, foi perceptível a preocupação da empresa em prestar apoio às crianças. No website Limbitless Solutions, a empresa fornece diversas atividades e apoio para a adaptação aos dispositivos como a criação de jogos (figura 14), com controlos adequados às próteses biônicas, para facilitar o processo de aprendizagem. O método de comunicação da empresa com os clientes demonstra interesse em solucionar os problemas das crianças, aspecto que gera confiança e segurança às famílias.

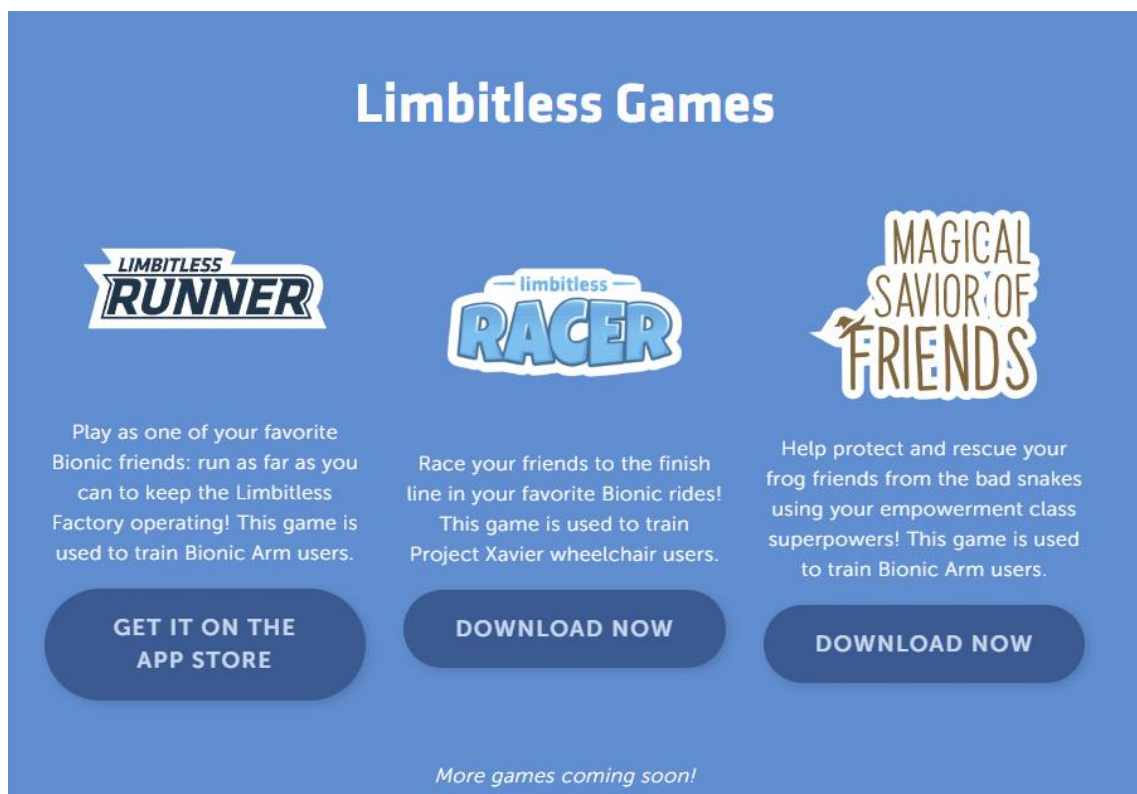


Figura 14 - Jogos desenvolvidos pela empresa Limbitless Solutions.

10. Inovação

As inovações visam tornar as próteses mais funcionais e capazes de imitar os movimentos naturais dos membros. A inovação emprega as novas tecnologias, como a impressão 3D, que permitem maior liberdade na personalização.

Albert Manero desenvolveu uma prótese inovadora que recorre a engenharia biônica e a tecnologia de impressão 3D. Próteses biônicas permitem imitar movimentos humanos com maior naturalidade e com facilidade, através de sensores. Com isto, as crianças podem manusear os dispositivos com eficiência e eficácia, sem a necessidade de controlos complexos. A tecnologia de impressão aumenta a produtividade e a acessibilidade. Próteses produzidas com materiais tradicionais apresentam preços elevados. A nova tecnologia permite ainda, a criação de próteses personalizadas que garantem maior identidade e expressão aos dispositivos.

A inovação procura tornar as próteses infantis mais acessíveis e econômicas. Albert Manero desenvolveu próteses funcionais e personalizadas às crianças, sem apresentar custos, através da parceria com a universidade Oregon Health and Sciences.

3.6 Conclusão do capítulo 3

Este capítulo 3 foi primordial para compreender os requisitos do design de produto, proceder à análise dos 4 exemplos de prótese de baixo custo que apresentam avanços significativos no campo das próteses acessíveis e personalizadas, impulsionadas principalmente pelo uso da impressão 3D e pela inovação em design e tecnologia. Foi ainda necessário aprofundar o conhecimento sobre os benefícios da Impressão 3D em Próteses e, finalmente, analisar 2 estudos de caso de próteses para mãos de crianças.

No futuro próximo, será viável criar próteses que atendam aos requisitos das crianças de forma acessível e adaptável ao seu crescimento. Dois projetos exemplares nesse sentido são os da **Gyromotics** e da **Limbitless Solutions**. A análise comparativa desses projetos revela que cada abordagem de design oferece vantagens e desvantagens únicas, atraindo diferentes preferências infantis.

A prótese **Gyromotics** destaca-se pela funcionalidade e facilidade de uso, utilizando recursos avançados para atender às necessidades das crianças. A empresa prioriza a ergonomia e a funcionalidade em detrimento da estética, embora ainda se preocupe com o aspecto visual. No entanto, em comparação com as próteses da **Limbitless Solutions**, pode precisar de atratividade visual para as crianças, que muitas vezes preferem produtos coloridos e personalizáveis.

Por sua vez, a **Limbitless Solutions** equilibra funcionalidade e estética, aproveitando as tecnologias de impressão 3D para criar próteses personalizadas e visualmente atraentes.

Ambas as empresas procuram oferecer produtos acessíveis e capazes de superar os obstáculos enfrentados pelas crianças para terem acesso a próteses e realizarem as suas atividades diárias.

Esses dispositivos devem acompanhar o crescimento das crianças e suportar uma ampla gama de atividades físicas, fundamentais para seu desenvolvimento físico e social. Um interface complicado ou excessivamente técnico pode causar desconforto e frustração na criança, enfatizando a importância de uma interação intuitiva.

Numa última análise, a escolha entre os dois tipos de próteses depende das necessidades e preferências individuais de cada criança.

Capítulo 4. Desenvolvimento Projetual

Neste capítulo é apresentada uma solução de design para uma prótese biônica infantil para mão, desenvolvido a partir da análise dos casos de estudo 1 e 2 do capítulo anterior. Este projeto pretende desenvolver uma solução que considere a personalização e o crescimento.

Para desenvolver próteses infantis para mãos de crianças entre os três e seis anos, é necessário a integração de dois conceitos, inovação e inspiração. Através destes dois conceitos, pode-se construir ideias e projetos novos, que são mais apelativos e que apoiam as crianças e os problemas que lidam no dia-a-dia. Neste contexto, surgiu a ideia de desenvolver um novo design para a estrutura da prótese biônica de Albert Manero com design inspirado no mundo da Lego e da Playmobil, que exploram um design muito divertido e original para crianças e adultos.

Prótese da Lego IKO, 2014

A prótese de Lego de Carlos Arturo Torres, foi uma inspiração para desenvolver este projeto. Carlos Torres desenvolveu em 2014, uma ideia para uma prótese em Lego, com o intuito de incentivar a imaginação e a brincadeira. A estrutura da prótese é composta por peças Lego que permitem encaixar diferentes partes e construir uma prótese personalizável. A prótese foi apelidada de IKO, e foi desenvolvida com sensores capazes de ler sinais elétricos dos músculos (Pequenas Empresas Grandes Negócios, 2015).

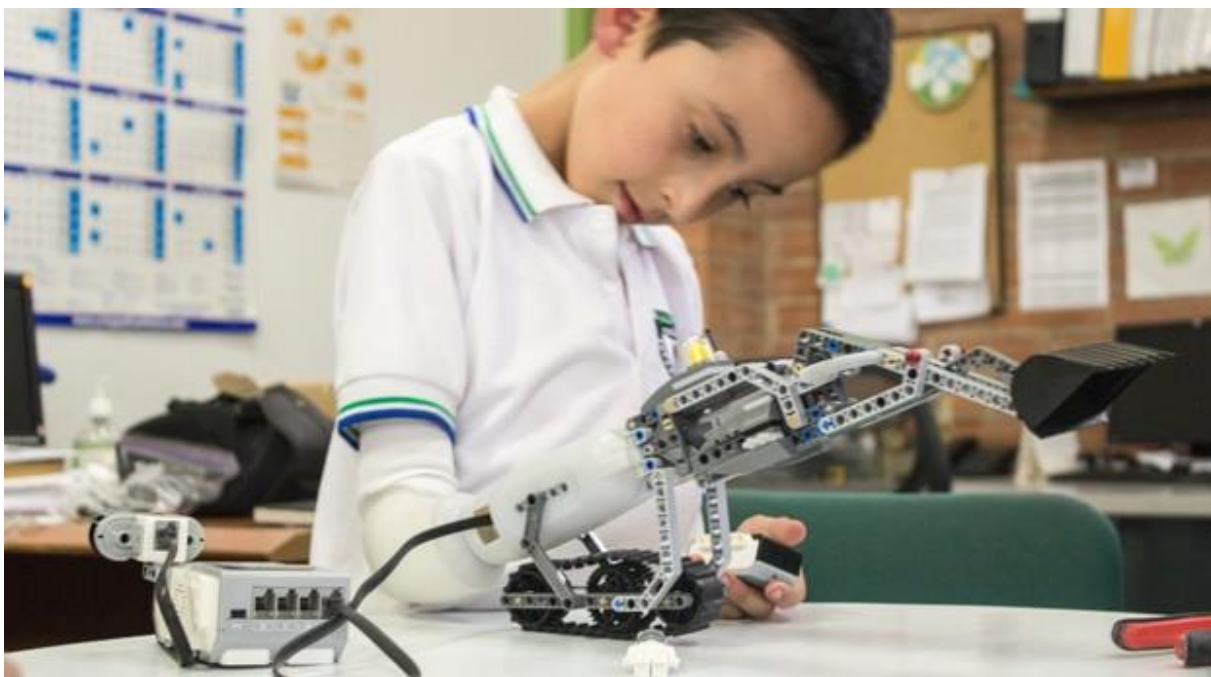


Figura 15 - Prótese Lego de Carlos Arturo Torres.

Este projeto, uma proposta de exercício de design, pretende apresentar um design simples, divertido, bonito e personalizável que permita as crianças construírem as suas próprias próteses com o intuito de melhorar a qualidade de vida, apoiar as diferentes fases de

crescimento e de personalidade e dar mais autoconfiança. O objetivo é de integrar elementos que trazem alegria, familiaridade e expressão criativa para as crianças, inspirando-se em dois ícones da infância: **Lego e Playmobil**. A decisão de utilizar a Lego e da Playmobil como influências de design baseia-se no seu apelo universal para crianças e adultos, que evocam e constroem mundos imaginativos e divertidos para as duas faixas etárias. A junção de peças ao dispositivo biônico permite também despertar a curiosidade da criança para com a prótese, devido a textura da superfície. As crianças são curiosas, procuram compreender o que está ao seu redor, e oferecer um dispositivo com uma estrutura Lego, pode ser uma experiência transformadora que oferece não apenas a funcionalidade, mas também uma experiência sensorial diferente, sensação de autonomia, criatividade e diversão.

As marcas, Playmobil e Lego, são sinónimo de divertido, brincar, explorar e imaginação, fatores que promovem um sentido de criatividade, adaptabilidade e inclusão, uma vez que ambas as marcas exploram a união das pessoas para construir uma imagem já definida ou desenvolverem uma estrutura nova. Ao integrar estes elementos no design da prótese biônica, o projeto pretende ultrapassar o foco mais tradicional da funcionalidade, que geralmente recebe mais atenção do que o design estético, integrando um conceito estético para crianças e promover a ligação da criança para com a prótese. Pretende também que as crianças possam alterar o design do seu dispositivo a qualquer momento. Uma das principais vantagens da utilização de componentes Lego na concepção da prótese é a capacidade da criança conseguir personalizar o dispositivo de acordo com as suas preferências. Pode escolher as suas cores favoritas, adicionar elementos decorativos como autocolantes, elementos da Lego ou Playmobil, ou mesmo incorporar desenhos temáticos baseados nos seus interesses (como super-heróis ou animais), a criança pode participar ativamente na criação de um membro protético que é exclusivamente seu.

De modo a captar atenção de uma criança de 2 a 6 anos, o design desenvolvido para esta dissertação, nesta uma proposta de exercício de design, apresenta um estilo bonito, simples e com a integração de elementos como animais. O desenho inspira-se no **estilo “Doodle”** e desenhos japoneses. Para a dissertação, propôs-se uma prótese com elementos lego na estrutura, que possa ser impressa com a tecnologia de impressão 3D. O intuito, é de explorar o método de impressão 3D, tempo de impressão de uma maquete, opções de filamentos e cores.

4.1. O problema e o Público-alvo

A aparência dos membros protéticos impacta na autoestima, interações sociais e bem-estar geral das crianças. Muitos dos designs de próteses existentes não conseguem captar a imaginação e a individualidade das crianças, o que leva a sentimentos de autoconsciência e relutância em adotar as suas próteses.

Neste contexto, surgiu a ideia de desenvolver um novo design para a estrutura da prótese biônica de Albert Manero (e-Nable, organização desenvolvida por Albert Manero, especialista em biônica, conhecido por fabricar próteses mais baratas) com design

inspirado no mundo da Lego e da Playmobil, que exploram um design muito divertido e original para crianças e adultos.

No seguimento do capítulo 2 e do capítulo 3, relativo ao estado da arte e aos estudos de caso, respectivamente, houve a necessidade de fazer um pequeno exercício projetual sobre um aspeto a melhorar numa prótese pré-existente, com foco na parte estética para melhorar a aceitação social da criança.

Este capítulo 4, apresenta uma proposta de exercício de design estético para uma prótese biónica infantil para mão, desenvolvida com base na análise dos casos de estudo 1 e 2 do capítulo 3.

4.2. Moodboard, Conceito e inspirações

O mundo dos brinquedos cria momentos de diversão e felicidade para as crianças, uma vez que este momentos permitem que as crianças expressem o seu lado criativo. Com isto, marcas como Lego, Playmobil e Doodle, juntamente com o estilo de desenho Kawaii, são sinónimos de diversão e imaginação para as crianças. Estes símbolos icónicos de brincadeira e criatividade servem de inspiração para o design de uma prótese infantil, com o objetivo de colmatar a lacuna entre a funcionalidade e o apelo estético.

Tal como a Lego e a Playmobil, que incentivam as crianças a construir os seus próprios mundos, a Doodle permite-lhes libertar os seus talentos artísticos através de rabiscos e desenhos. Entretanto, o estilo de desenho japonês "Kawaii", que originou no Japão, abraça tudo o que é bonito e encantador, cativando o público mais jovem, as crianças, com as suas personagens adoráveis e cores vibrantes.

As marcas e os estilos de desenho inspiraram para desenvolver um design com elementos adoráveis, que permite a personalização e auto-expressão, transformando os dispositivos médicos em produtos que vão facilitar a qualidade de vida e ao mesmo tempo, extensões da identidade de uma criança.

Lego

Lego foi criado em 1932 por Ole Kirk Christiansen, um carpinteiro dinamarquês. A empresa começou por fabricar brinquedos de madeira. O nome "Lego" deriva das palavras dinamarquesas "leg godt", que significa "brincar bem" (Lee Slater, 2016).

Em 1949, foram construídas as primeiras peças de Lego em plástico por Godtfred Kirk, filho de Ole Kirk Christiansen (Adam Augustyn, 2024). Estas peças de plástico permitem infinitas possibilidades criativas e tornou-se rapidamente num *hobbie* para as crianças. Ao longo dos anos, a Lego expandiu a sua linha de produtos para incluir conjuntos temáticos, figuras icónicas, filmes e videojogos. Existe uma vasta gama de formas, tamanhos e cores, porém a peça mais conhecida é a forma de tijolo (Figura 16). Apresenta uma forma retangular, com tubos na parte superior e oco na parte inferior. Os tubos permitem encaixar outras formas, proporcionando uma estrutura estável.



Figura 16 – Peça lego com forma retangular e tubos na parte superior.

Apesar da peça tijolo ser a mais conhecida, a Lego produz também formas com funções específicas, como rodas, janelas, portas, dobradiças, entre outros. Estas peças destacam-se pela diferença na imagem conceptual da Lego, formas simples e geométricas, porém cumprem o objetivo que se pretende.



Figura 17 – Peças lego com diferentes formas e cores. Permitem a construção de um carro

A Lego desenvolveu diversas cores para as peças, desde cores primárias como vermelho, azul e o amarelo, até tons e matizes diferentes, podendo ter padrões ou desenhos impressos nas peças. Segundo as informações partilhadas no site da Lego, as peças são produzidas a partir ABS, acrilonitrilo butadieno estireno, um plástico durável que proporciona força, estabilidade e longevidade. O plástico é leve e resistente ao desgaste.

A empresa tornou-se muito famosa devido ao mecanismo de encaixe das peças, que não necessita de cola e duas peças unem-se de forma segura e em diferentes configurações. A versatilidade das peças foi o que deu destaque a empresa, uma vez que possibilitam a combinação de inúmeras formas e que constroem desde estruturas simples a estruturas mais complexas.

Playmobil

Playmobil, produz uma vasta gama de brinquedos desde figuras e ambientes ricos em detalhes até peças mais simples. A marca foi criada em 1974 pelo alemão Hans Beck, que construiu três figuras, um cavaleiro, um construtor civil e um índio (Sharon M. Scott, 2009).

"Os brinquedos Playmobil estrearam-se na Alemanha em 1974 com três temas de jogo - cavaleiros, trabalhadores da construção civil e índios...Conjuntos de jogos expansíveis, como jardins zoológicos e quintas, eram vendidos em peças pequenas e baratas que podiam ser colocadas em conjunto para criar paisagens extensas."

Citação retirada do livro de Sharon M. Scott "Toys and American Culture An Encyclopedia". Publicado em 2009

Estas figuras são concebidas para representar uma vasta gama de personagens e profissões, que permitem às crianças explorarem várias funções e cenários nos seus momentos de brincadeira. Os brinquedos Playmobil captam atenção das crianças e adultos com o seu apelo intemporal e o seu empenho em inspirar a criatividade e promoverem momentos de lazer através da brincadeira.



Figura 18 – Brinquedo Mini Golf Playmobil.

As figuras podem ter uma variedade de acessórios, como chapéus, capacetes, armas, ferramentas e entre outros, que podem ser segurados ou presos às mãos ou ao corpo da

figura. As mãos tem um desenho distinto, com punhos fechados que podem segurar pequenos acessórios de forma segura. Assim como a marca Lego, as figuras são produzidas com plástico ABS, que é resistente a impactos. A empresa tornou-se famosa pelas personagens características, que incentivam as crianças e adultos a imaginarem cenas ou momentos fantasiosos e divertidos.

Doodle

Doodle é um termo que define desenhos ou rabiscos espontâneos e simplistas, feitos enquanto a pessoa está desatenta. Segundo o ilustrador Mauro Martins, o estilo doodle está livre do perfeccionismo, é uma arte autêntica uma vez que a pessoa desenha nos momentos de distração ou de lazer. O estilo de desenho é expressivo e colorido, normalmente associado a um público infantil. Os desenhos expressam emoções, temas ou problemas e podem conter animais, letras, formas geométricas, objetos, entre outros.

"O estilo doodle é geralmente à mão livre e livre de perfeccionismo. É o tipo de desenho que se faz sem qualquer compromisso real, enquanto se está distraído e com qualquer lápis e papel que se tenha à mão."

Citação retirada do artigo de Antônio Silveira "What is Doodle Illustration? Learn how the scribbles we make when daydreaming can become art from a master in the craft: Mauro Martins". Publicado no site Domestika, (s.d.).



Figura 19 – Ilustração de Mauro Martins.

Estilo de desenho Japonês “Kawaii”

O estilo de desenho japonês Kawaii, que em português se traduz para "adorável", é caracterizado por desenhos arredondados e com cores pastel. O conceito de “Kawaii” surgiu na década de 60 no Japão e refere-se a desenhos bonitos ou delicados (Antônio Silveira, s.d.).

As figuras normalmente são desenhadas com olhos exageradamente grandes e expressivos, ocupando uma parte significativa do rosto. As personagens são desenhadas com rostos redondos ou ovais, com o intuito de parecerem jovens e inocentes, com bochechas rosadas. Os desenhos apresentam proporções exageradas, com corpos pequenos e cabeças grandes em relação ao seu tamanho. Desta forma, passa uma aparência redonda e adorável. As cores suaves e pastel, como o rosa, violeta, o azul e verde.

A Hello Kitty é uma personagem conhecida mundialmente e foi desenhada pela designer japonesa Yuko Shimizu (Sara Green, 2018). A Hello Kitty é um dos símbolos do estilo de desenho Kawaii (Antônio Silveira, s.d.), conhecida pela cor cor-de-rosa, forma redonda e uma expressão adorável.

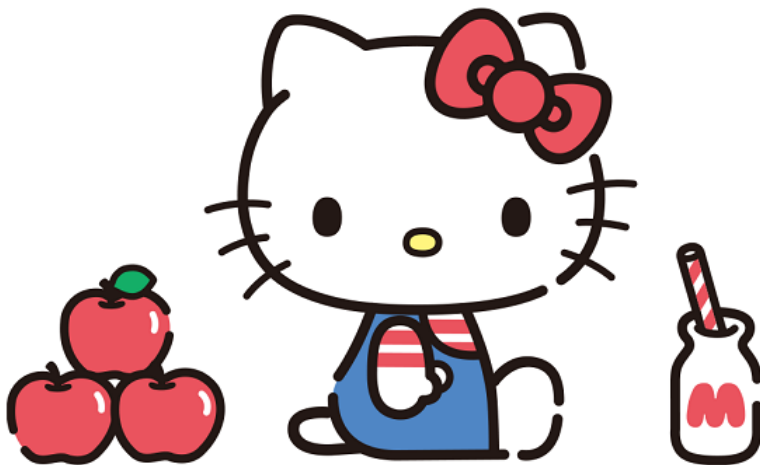


Figura 20 – Personagem Hello Kitty.

Moodboard



Figura 21 – Tabela Moodboard

4.3. Geração de conceitos, desenhos de estudo, hipóteses e soluções, evolução das ideias, estudos da anatomia do braço/mão

O projeto integra a estrutura de encaixe da **Legó e da Playmobil** com o intuito da criança poder personalizar com as peças desenvolvidas para este projeto e encaixar também peças já existentes das marcas. O conceito de utilização da estrutura das peças Legó, parte de uma ideia para solucionar a pouca oferta de próteses apelativas para crianças.

A decisão de incorporar a estrutura das peças Legó nas próteses pediátricas, baseia-se em facilitar o processo de adaptação à prótese, uma vez que a marca é universalmente reconhecida e adorada por crianças e adultos, o que pode promover a aceitação rápida ao dispositivo. A natureza modelar da Legó permite personalizações infinitas, permitindo que as próteses sejam adaptadas às necessidades e preferências únicas de cada criança. Este projeto procura utilizar os princípios do design inclusivo, da criatividade, imaginação e da brincadeira, de modo a contribuir para uma possível solução para próteses biónicas e chamar atenção da importância de considerar as perspectivas e experiências das crianças no desenvolvimento de soluções de próteses. Ao considerar as necessidades e dar voz às crianças, deseja-se promover uma abordagem mais empática e inclusiva às próteses pediátricas.

BASE: Dispositivo protético de Alberto Manero

A prótese biónica de Albert Manero (**e-Nable**) é capaz de captar os impulsos do cérebro, que comandam os membros para realizar tarefas, através de sensores colocados sob a pele da criança. Uma vez que o dispositivo apresenta dedos e mão flexíveis, a estrutura não pode ter elementos nas áreas móveis (figura 22).

Áreas móveis

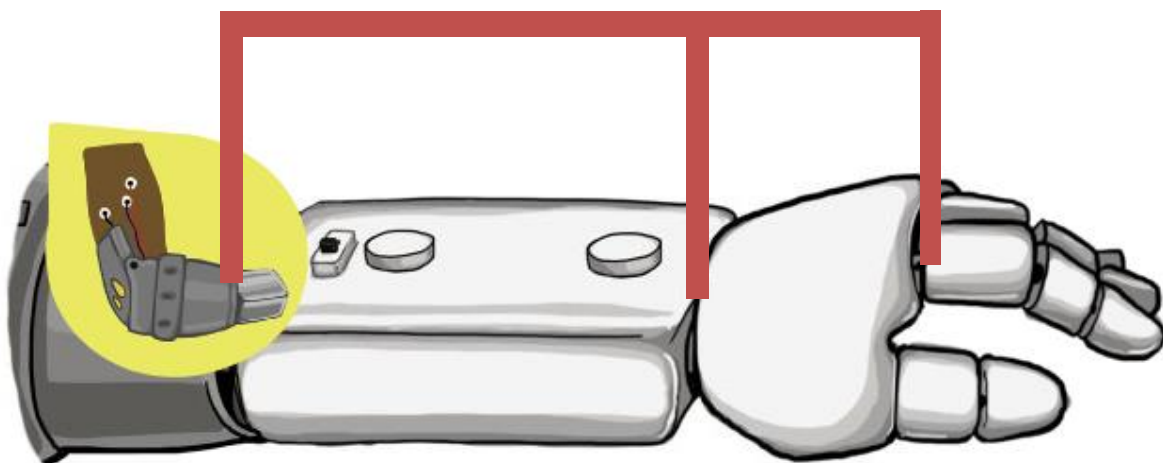
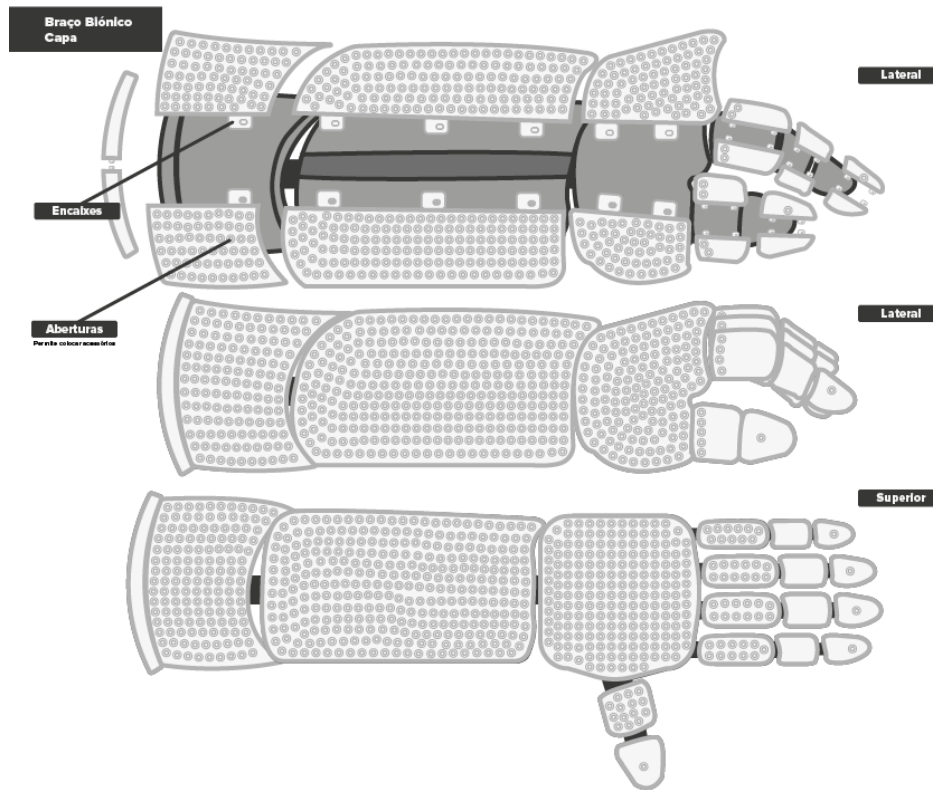


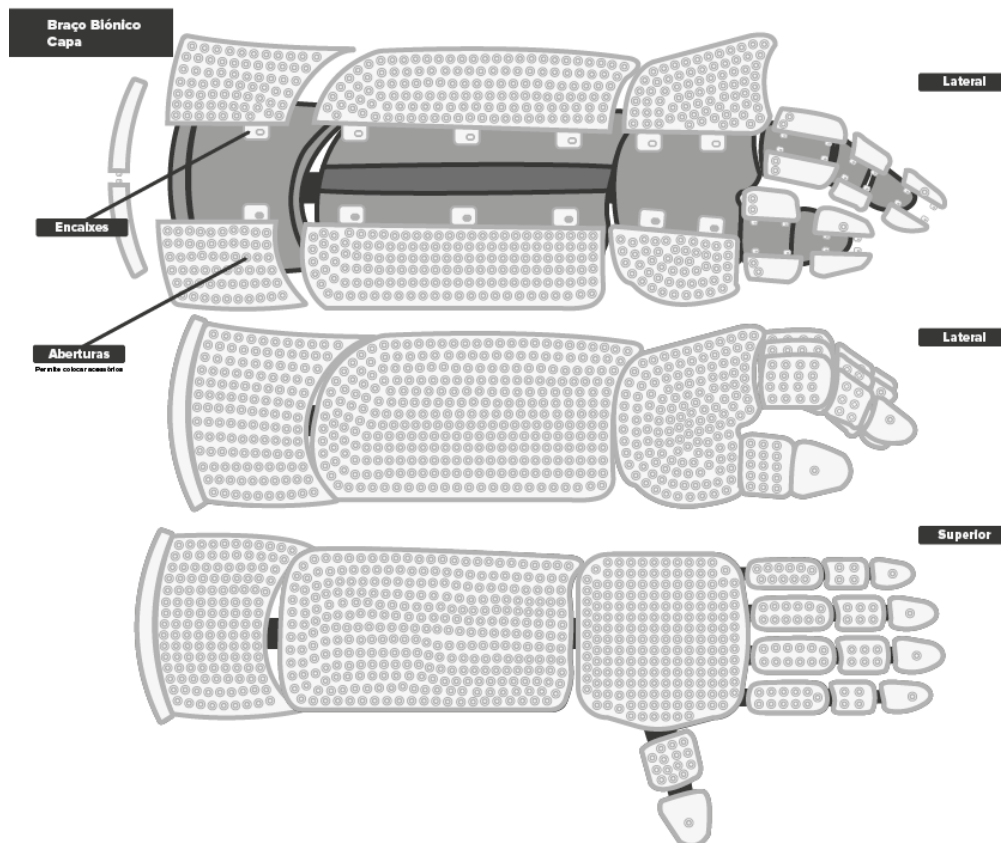
Figura 22 – Dispositivo protético de Alberto Manero - *Limbitless Solutions*

Hipóteses e soluções e evolução das ideias

Versão 1



Versão 2



4.4. Renders, materiais acabamentos e versões/cores

Os dedos são um dos locais mais sensíveis, dado que as crianças tendem a desgastar mais a área devido aos impactos. O local não pode ter pesos excessivos, para manter o movimento do dispositivo e impedir esforços desnecessários no motor. Desta forma, para esta dissertação idealizou-se um dispositivo sem placa de lego nos dedos, com a possibilidade de escolher uma cor para os dedos. O dispositivo possui placa entorno do braço e sob a mão, que permite colocar elementos decorativos.

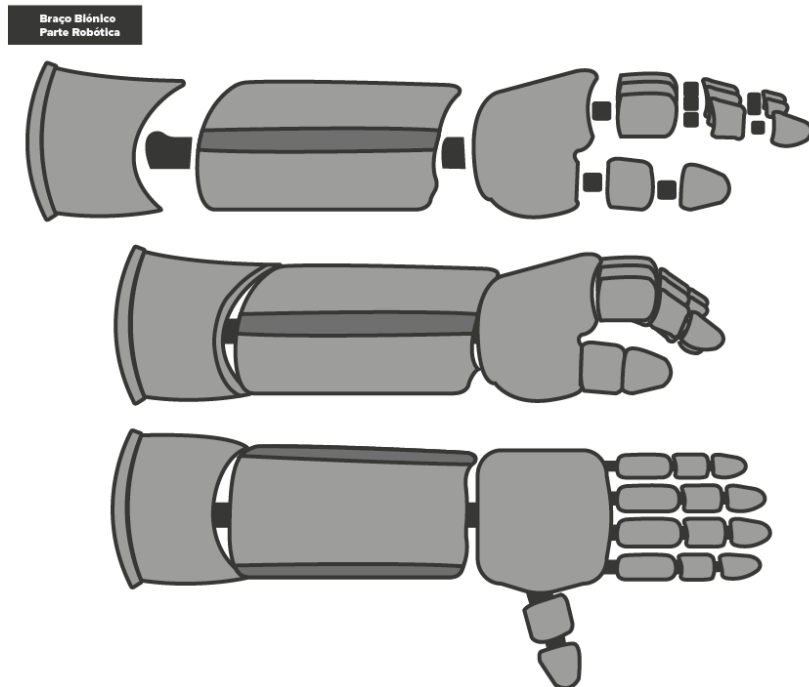


Figura 23 – Partes do dispositivo protético desenvolvido no software Illustrator.

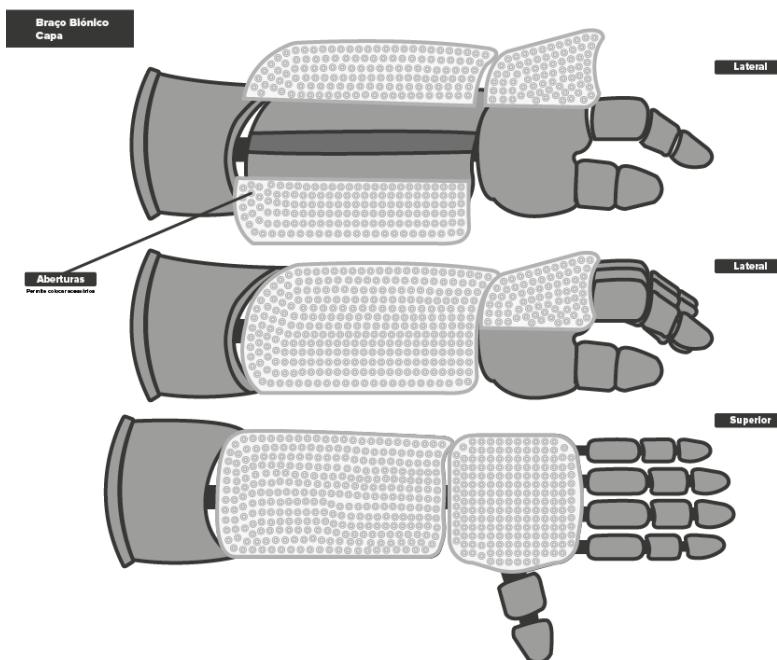


Figura 24 – Partes do dispositivo protético com placas de Lego desenvolvido no software Illustrator.

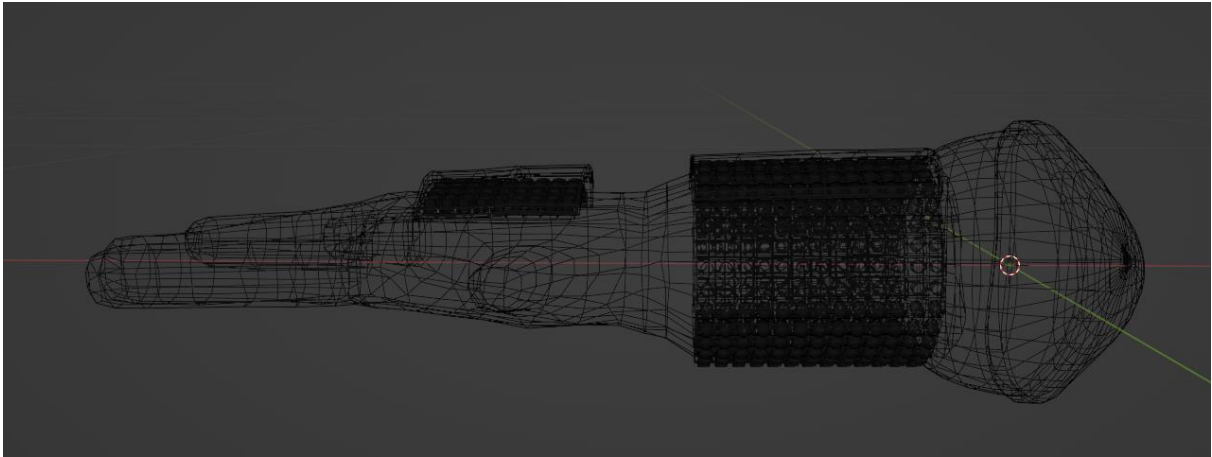


Figura 25 – Dispositivo protético desenvolvido no software de modelação Blender. Vista lateral

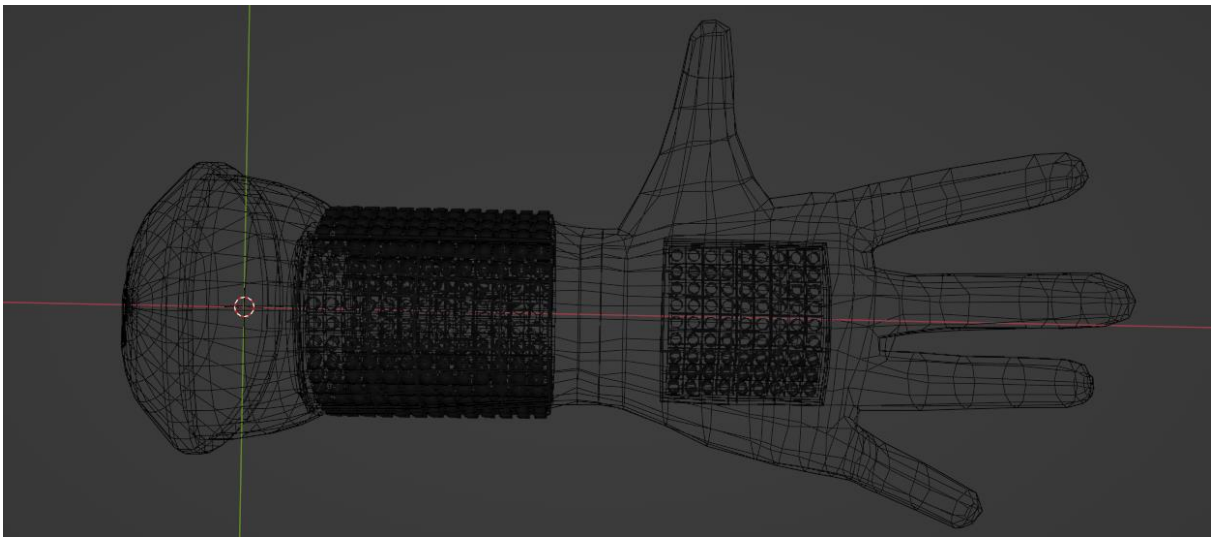


Figura 26 – Dispositivo protético com vista superior

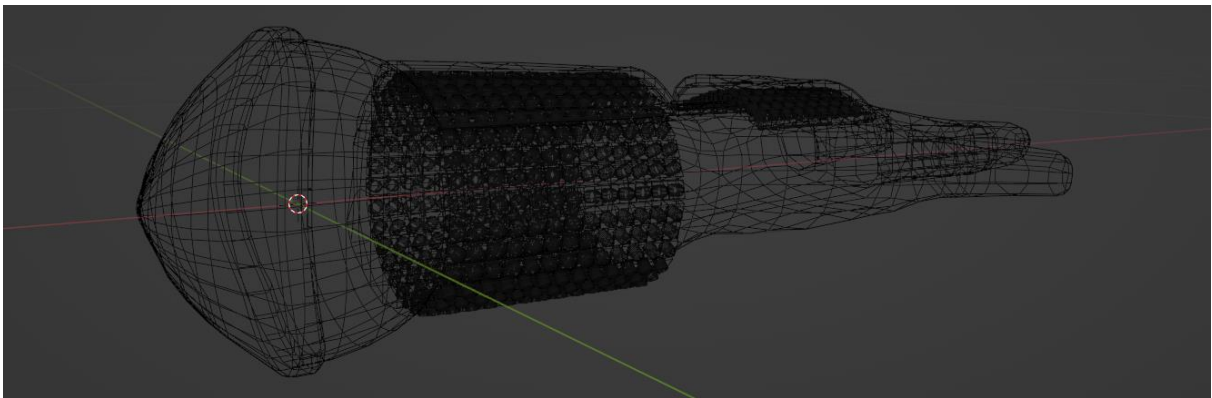


Figura 27 – Dispositivo protético com vista inferior

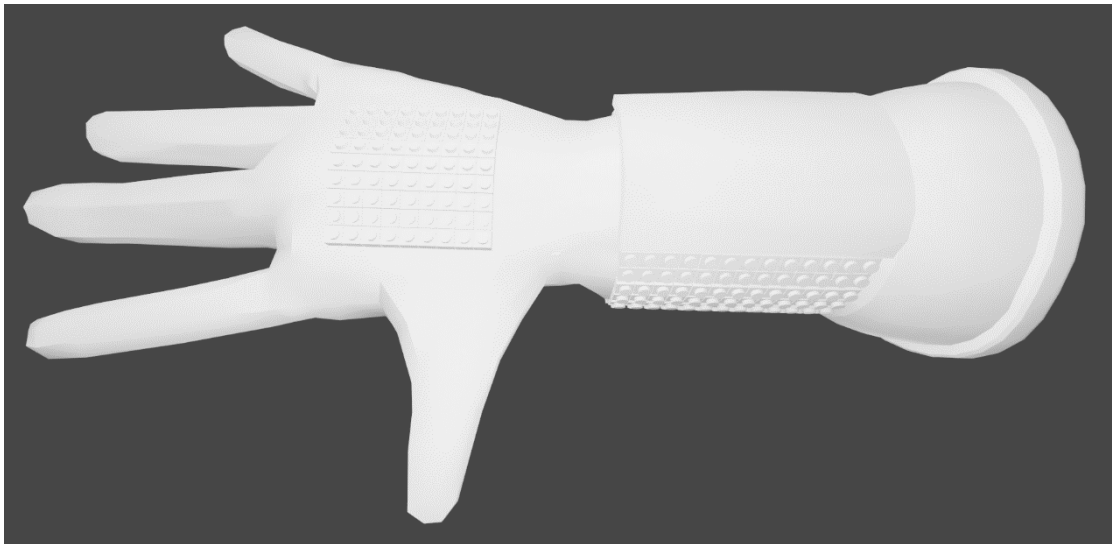


Figura 28 – Dispositivo protético com placa Lego encaixada – Vista superior

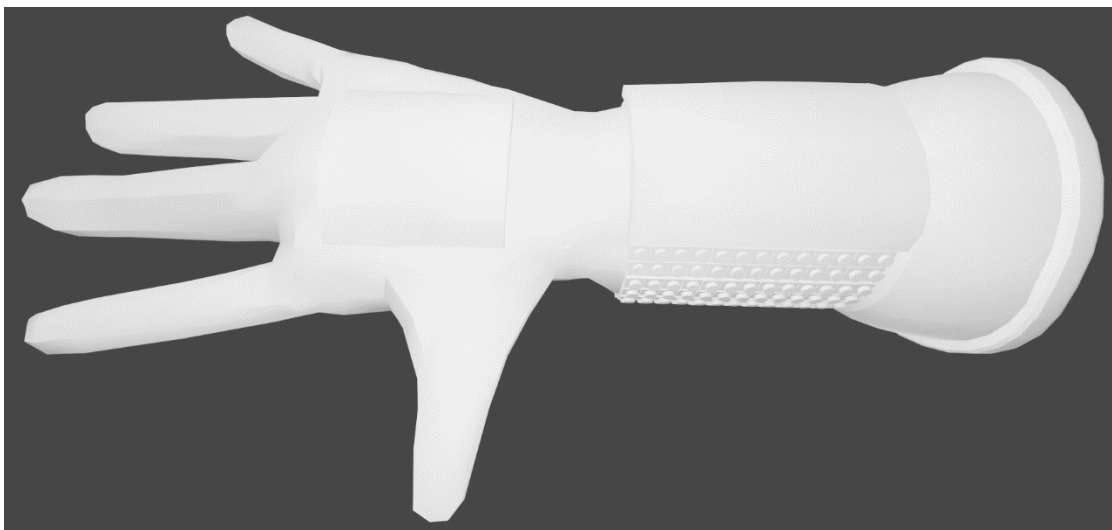


Figura 29 – Dispositivo protético com duas placas Lego encaixadas – Vista superior

4.5. Desenhos técnicos

A estrutura deste dispositivo pretende abranger várias características e finalidades:

- Estrutura simples e de fácil manuseamento – Pretende-se garantir que a colocação de elementos decorativos seja prática e acessível. Estes elementos não podem impedir o movimento do dispositivo;
- Promover a imaginação, conforto e adaptação da criança para com o dispositivo;
- Promover o envolvimento e a diversão – Ao incorporar componentes Lego e Playmobil na conceção da prótese, o dispositivo torna-se mais do que apenas uma ferramenta médica, torna-se também uma forma de entretenimento e de exploração. As crianças podem experimentar diferentes configurações, construir acessórios e até integrar peças ou mecanismos móveis;
- Autonomia e controlo – A criança envolvida na conceção e montagem do dispositivo, dá-lhe “poder” e controlo no seu dispositivo;
- Adaptação com o crescimento da criança – Conforme a criança cresce, os seus interesses e preferências mudam. Logo, a estrutura de encaixe da lego permite alterações constantes e rápidas.

Assim, este dispositivo propõe uma solução para ao crescimento da criança entre os três e seis anos, possibilitando a adaptação para pré-adolescência, adolescência, jovem-adulto e adulto. Para esta dissertação, propõe-se, o desenvolvimento de oito placas lego com diferentes designs.

Placa de encaixe para mão

Placa de encaixe para braço

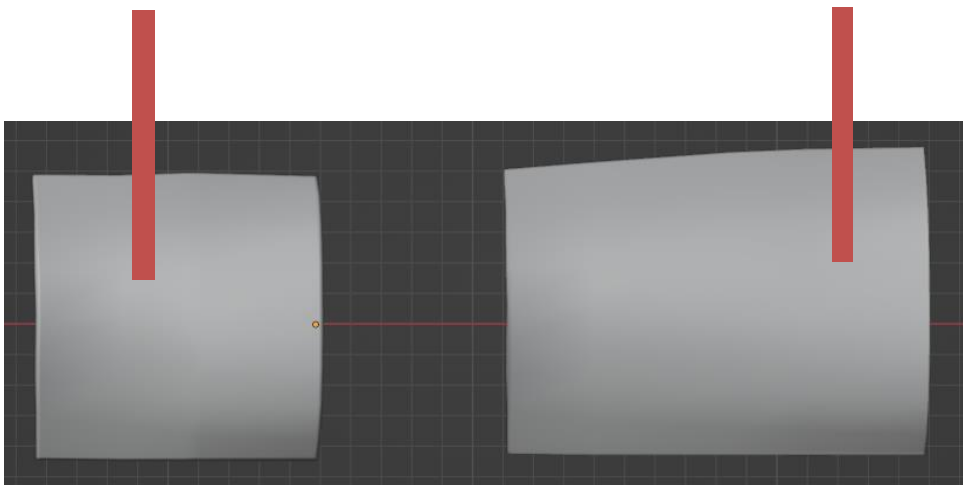


Figura 30 – Placa de encaixe de mão e braço – Vista superior

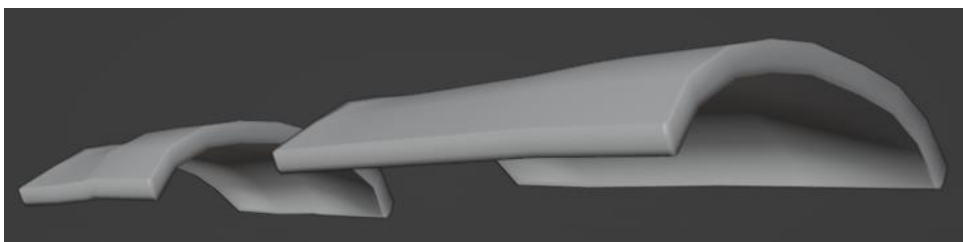


Figura 31 – Placa de encaixe vista lateral

As placas tem uma estrutura de encaixe semelhante à da Playmobil de Lego, de forma a permitir a rápida interação e a possibilidade de inserir novos elementos decorativos já existentes das marcas.

4.6. Produto final do exercício

O design inspirado em cadernos escolares, serve como uma memória e uma associação à aprendizagem e da exploração, que as crianças tem nas escolas. Evoca memórias de rabiscos durante as aulas, de anotar ideias e de paginação. As crianças, geralmente, gostam de pintar e de rabiscar os cadernos.

As crianças são naturalmente atraídas pelos animais, uma fonte de inspiração foram alguns parentes mais jovens da minha família, que desde os seus 7/8 anos de idade, que me diziam que adoravam animais e queriam ser veterinárias para ajudar os animais. Assim, ao incorporar estes elementos no design, o objetivo é despertar a curiosidade da criança e desenvolver uma ligação com o design. Cada animal e cada flor foram colocados com o objetivo de evocar uma sensação de alegria e admiração.

A escolha das cores vibrantes deve-se às crianças que são instintivamente atraídas por tons brilhantes e vibrantes que despertam os seus sentidos e estimulam a sua criatividade. Ao desenvolver o design com uma paleta de cores vivas, o objetivo é de criar uma experiência visualmente envolvente.

Design com animais adoráveis e cores pastel e/ou vivas podem captar atenção das crianças e envolvê-las com o dispositivo. Estes elementos, geralmente, evocam emoções positivas e estimulam a curiosidade e interesse. Os animais com traços delicados e expressões divertidas provocam sentimentos de companheirismo, conforto e afeto, enquanto cores vivas estimulam os sentidos e criam um **design mais atrativo**. O design desenvolvido para a dissertação pretende, estabelecer uma ligação emocional com as crianças, promovendo um sentimento de familiaridade, confiança e apego. Esta ligação pode incentivar as crianças a interagirem com a prótese de forma mais ativa e desenvolver uma conexão emocional.

Ao integrar animais adoráveis no design do produto, permite explorar a capacidade inata das crianças para a criatividade e a narração de histórias ricas e divertidas, proporcionando-lhes um método para a autoexpressão e exploração. Criar contraste visual, através de produtos com cores vivas também ajudam a estimular o córtex visual, região cortical primária do cérebro que recebe, integra e processa informações visuais transmitidas pela retina (Trevor Huff, Navid Mahabadi, Prasanna Tadi, 2024), e a promover o desenvolvimento visual das crianças, contribuindo para o seu crescimento cognitivo e perceptivo.

1. Moodboard



Figura 32 – Moodboard: Inspiração para a ilustração da figura 33

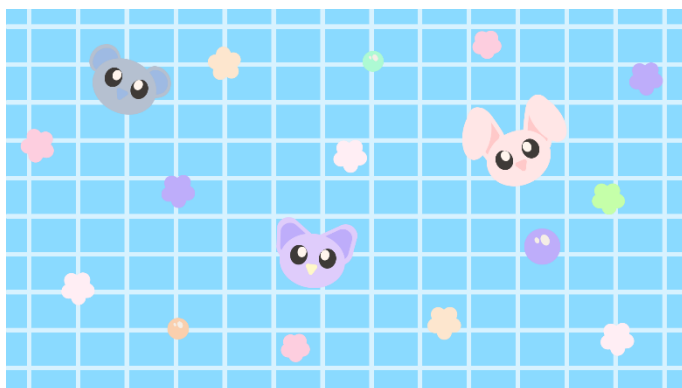


Figura 33 – Design com animais no estilo Doodle e Japonês

Design com fundo azul e linhas horizontais e verticais, inspirados nos cadernos da disciplina de matemática. O desenho foi desenvolvido com flores de várias cores e animais. Os animais escolhidos foram urso pintado a cinzento e azul, coelho cor-de-rosa pastel e gato cor lilás.

2. Moodboard



Figura 34 – Moodboard: Inspiração para a ilustração da figura 35



Figura 35 – Design unicórnio com nuvens e morangos

Imagem com fundo cor-de-rosa e desenhos de morangos, círculos brancos, nuvens e unicórnio. O símbolo do unicórnio é associado às crianças, devido a sua natureza criativa e mística.

Geralmente, o público feminino mais jovem, gosta de unicórnios.

3. Moodboard



Figura 36 – Moodboard: Inspiração para a ilustração da figura 37



Figura 37 – Design panda

Ilustração com fundo cor-de-rosa, círculos brancos e um panda. O panda é um animal com uma aparência adorável, que é muito adorado pelas crianças. O facto do animal apresentar uma aparência redonda, faz com que as crianças o considerem adorável.

4. Moodboard



Figura 38 – Moodboard: Inspiração para a ilustração da figura 39

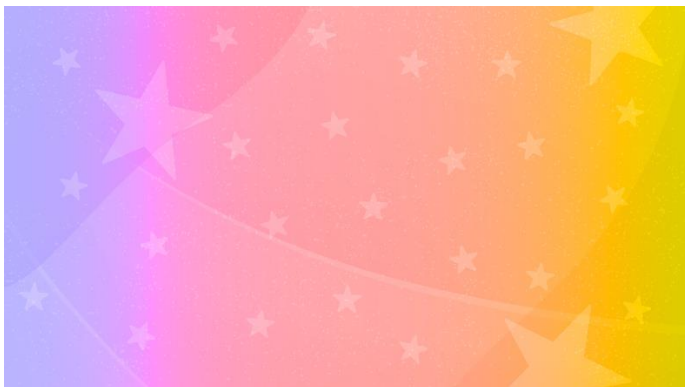


Figura 39 – Design arco-íris com estrelas

Design abstrato com gradiente de lilás, cor-de-rosa, cor de laranja, amarelo e verde. Fundo com estrelas.

O gradiente simboliza o arco-íris, um símbolo muito usado nos desenhos infantis, assim como as estrelas.

5. Moodboard



Figura 40 – Moodboard: Inspiração para a ilustração da figura 41



Figura 41 – Design pequenos-monstrinhos

Vários ursos redondos posicionados de frente ou de costas. Na posição frontal permite ver olhos, enquanto detrás permite ver a cauda.

Assim como os pandas, as diferentes famílias de ursos são consideradas adoráveis, devido à sua aparência fofo e redonda.

6. Moodboard



Figura 42 – Moodboard: Inspiração para a ilustração da figura 43



Figura 43 – Design com gatos

Imagem com fundo cor-de-rosa com tom escuro e claro. No design, foi desenhado um gato branco com orelha e nariz cor-de-rosa, e colocado a pata da personagem.

O gato, é um animal pequeno, com uma aparência redonda e doce. Os olhos grandes captam atenção das pessoas e as almofadas, cor-de-rosa, das patas tornam o animal adorável.

7. Moodboard



Figura 44 – Moodboard: Inspiração para a ilustração da figura 45

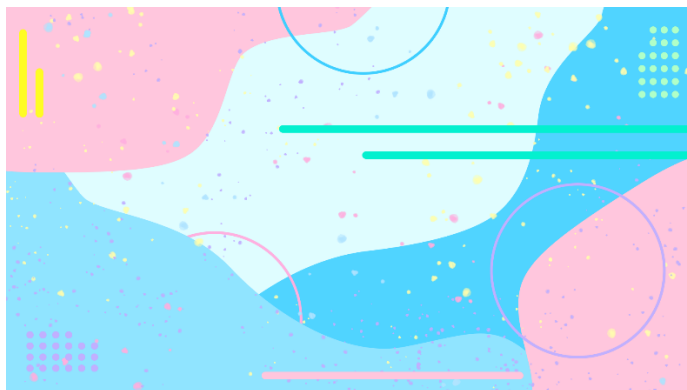


Figura 45 – Design abstrato

Design abstrato com formas irregulares, linhas e círculos. As cores usadas são cor-de-rosa, azul de tom escuro e claro, verde, lilás e verde de tom claro. A imagem apresenta gotas de pincel dispersas pelo fundo.

Este design simboliza a arte e a curiosidade das crianças. Geralmente, as crianças gostam de pintar e colocar elementos nas suas pinturas. Este fator desperta a curiosidade e a imaginação.

8. Moodboard



Figura 46 – Moodboard: Inspiração para a ilustração da figura 47



Figura 47 – Design de ramo de flores cerejeira

Ilustração de um ramo de flores cerejeiras, ou em japonês Sakura.

Atualmente, a cultura asiática, tem se tornado muito conhecida na europa, sendo uma fonte de inspiração para este design. A árvore Sakura, é um símbolo da cultura japonesa e muito presente nas ruas do Japão.

As pétalas dispõem de uma cor viva, com tons de cor-de-rosa.

4.7. Maquetes

Maquete



Figura 40 – Maquete com placas vista superior



Figura 41 – Maquete com design de pequenos monstros



Figura 42 – Maquetes de oito design



Figura 43 – Maquete em comparação com braço

Capítulo 5. Conclusões finais

A concepção da prótese biônica de mão para crianças foi baseada na prótese já projetada por Albert Manero, que recorre a engenharia biônica e permite que a prótese inovadora se adapte ao gosto de cada criança. Para o desenvolvimento deste projeto foi inspirado também nas marcas Lego e Playmobil, Doodle, Estilo de desenho Japonês “Kawaii”. Este projeto apresenta um conjunto de desafios, principalmente na personalização e adaptabilidade. As peças de ambas as marcas, Lego e Playmobil oferecem modularidade e flexibilidade, de modo a garantir que a estrutura final satisfaça as preferências de cada pessoa, aspecto difícil de alcançar, uma vez que cada indivíduo observa e idealiza os produtos de diferentes formas.

Uma das principais dificuldades para este projeto reside, na forma de trabalhar da prótese biônica, que possui sensores, motores que permitem movimentar a mão e os dedos. Os elementos não podem interferir no movimento da mão e na forma de segurar os produtos na mão. Colocar placas de lego na palma da mão poderia dificultar o movimento de prender o produto, uma vez que este poderia cair devido à irregularidade da superfície. Desta forma, as placas lego estão a revestir o braço e uma pequena porção da superfície da mão. Os dedos não possuem placas lego devido ao desgaste de pressionar o encaixe de uma peça na placa e aos impactos. A segurança e a durabilidade da prótese, são um fator importante, particularmente para uma criança que está constantemente a brincar e a ter movimentos rápidos. Os elementos lego colocados em áreas críticas da prótese, podem não suportar as exigências rigorosas do uso quotidiano. Desta forma, as placas foram colocadas apenas no braço, revestindo a área completa, e uma pequena área na superfície superior, de modo a proteger a prótese de pesos excessivos e lesões no membro da criança. Porém, este produto permite personalizações constantes, através de encaixes personalizados, com diferentes cores e desenhos. Esta personalização torna o produto mais apelativo para as crianças. Os requisitos funcionais dos corpos das crianças, que ao contrário dos adultos que já possuem padrões de dimensões e necessidades, exige dispositivos que cresçam e mudem conforme os surtos de crescimento e a evolução das capacidades cognitivas. Os corpos, não são o único aspecto a alterar numa criança, os interesses, preferências e a personalidade mudam conforme o amadurecimento. Desta forma, o design das marcas, Lego e Playmobil, cativam pelo aspecto personalizável, considerando que adultos apreciam o conceito criativo e distinto de ambas as empresas.

O estilo de desenho japonês e Doodle oferecem uma solução adorável para ajudar as crianças a ultrapassarem a experiência negativa da perda de um membro. Ao introduzir elementos encantadores, este projeto visa transformar a experiência de adaptação à prótese, da perda e limitação do movimento, numa experiência de autoexpressão e superação de um obstáculo. Como referido anteriormente, a incorporação de elementos adoráveis, cria uma identidade de design visualmente apelativa e reconfortante, considerando que não apresenta um desenho robótico e robusto. Este fator, não só alivia o impacto psicológico da perda do membro, como também promove um sentimento de positividade e alegria associada ao dispositivo protético. O conceito de inspirar no estilo Doodle, incentiva a criatividade e autoexpressão, considerando que geralmente, as crianças criam rabiscos nos cadernos, desenhando rostos, olhos, animais, plantas, flores, entre outros. A natureza personalizável do design permite que as crianças participem ativamente

na criação do design estético da sua prótese, promovendo um sentimento de propriedade e orgulho no dispositivo. As crianças podem optar por decorar com os elementos preferidos das marcas Lego e Playmobil, ou desenhar e/ou escolher símbolos, personagens fictícias, e interesses para imprimirem nas suas peças.

O design inspirado nestes estilos pode influenciar positivamente na inclusão social das crianças com diferenças nos membros. Ao introduzir elementos adoráveis, criatividade e personalização no design da prótese, esta abordagem não só aborda os aspetos do crescimento e da personalização, como também tem um impacto profundo no bem-estar social e emocional das crianças. A incorporação da estética do desenho japonês, com ênfase nas cores suaves, formas redondas e simples, criam uma prótese que é atrativa para o público jovem. Esta linguagem estética ajuda a dissipar os preconceitos sociais comuns em torno da deficiência, apresentando a prótese como uma fonte de conforto e não como um símbolo de diferença. Em vez de se sentirem constrangidas ou estigmatizadas, as crianças têm a possibilidade de exibir a sua prótese com orgulho, promovendo um sentimento de pertença e aceitação entre o seu grupo de amigos e colegas. Além disso, o aspeto de personalização do design inspirado nos Doodles incentiva as crianças a expressarem a sua individualidade e criatividade através da sua prótese. Quer optem por decorá-la com as placas de encaixe desenvolvidas para este projeto, quer por outros elementos, a prótese torna-se um reflexo da sua personalidade e interesses únicos. Isto não só suscita um sentimento de propriedade e orgulho na prótese, como também serve para começar uma conversa numa turma, facilitando interações e ligações positivas com os outros.

Toda a informação recolhida e analisada ao longo desta dissertação, levou a desenvolver um projeto que proporciona um **produto personalizável** para próteses biónicas, que apresentam uma estrutura muito diferente das próteses tradicionais, permitindo a alteração do dispositivo mais facilmente conforme o crescimento da criança. Este projeto trata-se de uma solução possível para responder a problemática de um design pouco apelativo para crianças. Algumas investigações proporcionam possíveis soluções inacabadas, este projeto não é exceção, seria interessante futuramente o desenvolvimento de um projeto melhorado capaz de solucionar todas as questões e obstáculos das crianças. Seria de interesse para todas as crianças que sofreram com perdas de membro e se encontram, atualmente, em fase de adaptação de próteses que pouco as representam, que encontrassem uma prótese personalizável desenvolvida por equipas de designers e profissionais de saúde ligados a esta problemática.

Como referido no capítulo 2 apesar dos avanços consideráveis na tecnologia protética ao longo dos anos, ainda permanecem desafios relevantes no desenvolvimento de próteses para crianças, como o crescimento e o desenvolvimento constante do corpo infantil. Estes fatores exigem ajustes frequentes nas próteses, tornando importante o desenvolvimento de soluções que acompanhem essas mudanças ao longo do tempo. Além disso, é importante ressaltar que a prótese tem de oferecer funcionalidade e usabilidade adequadas, levando sempre em consideração as atividades diárias e a natureza ativa das crianças. O impacto psicológico e social do uso de próteses em crianças é um fator de grande preocupação, considerando que pode afetar significativamente sua autoestima e aceitação pelos colegas. A imagem corporal e a percepção de si mesmas podem ser influenciadas pela aparência e conforto das próteses,

assim, o design emocional das próteses tem a função de promover o bem-estar psicológico das crianças, permitindo que expressem sua identidade e estilo pessoal.

A área do design de próteses, a personalização e a usabilidade são aspetos a serem considerados, considerando que, a personalização garante que as próteses atendam às necessidades individuais, enquanto a usabilidade permite que sejam fáceis de usar e eficientes em diversas situações. O design centrado no paciente e o design iterativo são abordagens essenciais para garantir que as próteses sejam desenvolvidas com base nas necessidades e feedback dos usuários. Além disso, a adoção de princípios de design universal promove a inclusão e acessibilidade das próteses, tornando-as adequadas para uma ampla gama de usuários. O equilíbrio entre o design prático e emocional é crucial para criar próteses que sejam funcionais, eficazes e também emocionalmente satisfatórias para os pacientes.

Como referido na conclusão do capítulo 3, este foi primordial para compreender os requisitos do design de produto, procedendo à análise de 4 exemplos de prótese de baixo custo que apresentam avanços significativos no campo das próteses acessíveis e personalizadas, impulsionadas principalmente pelo uso da impressão 3D e pela inovação em design e tecnologia. Este capítulo foi essencial para aprofundar o conhecimento sobre os benefícios da Impressão 3D em Próteses, bem como a análise de 2 estudos de caso de próteses para mãos de crianças que foi essencial para o entendimento da matéria.

Os dois projetos Gyromotics e da Limbitless Solutions, são um exemplo de como no futuro próximo, será possível desenvolver próteses cada vez mais adaptáveis para as crianças, considerando que a tecnologia ainda enfrenta algumas imperfeições. No entanto, é possível desenvolver próteses que resolvem algumas questões das crianças, como demonstram os dois projetos referidos. A análise comparativa desses projetos revela que cada abordagem de design oferece vantagens e desvantagens únicas, atraindo diferentes preferências infantis. A prótese Gyromotics destaca-se pela funcionalidade e facilidade de uso, utilizando recursos avançados para atender às necessidades das crianças. A empresa prioriza a ergonomia e a funcionalidade em detrimento da estética, embora ainda se preocupe com o aspeto visual. Em comparação com as próteses da Limbitless Solutions, o projeto Gyromotics pode precisar de atratividade visual para as crianças, que muitas vezes preferem produtos coloridos e personalizáveis. A Limbitless Solutions equilibra a funcionalidade e estética, aproveitando as tecnologias de impressão 3D para criar próteses personalizadas e visualmente atraentes.

Como já mencionado, ambas as empresas procuram oferecer produtos acessíveis e capazes de superar os obstáculos enfrentados pelas crianças, como maior exemplo, o acesso a próteses e realização das suas atividades diárias. Os dispositivos devem acompanhar o crescimento das crianças e suportar uma ampla gama de atividades físicas, fundamentais para seu desenvolvimento físico e social. Uma interface complicada ou excessivamente técnica pode causar desconforto e frustração na criança, enfatizando a importância de uma interação intuitiva. O design de próteses para crianças requer uma abordagem holística e interdisciplinar, considerando não apenas aspetos técnicos, mas também emocionais e sociais. Somente através de uma colaboração entre profissionais de diferentes áreas e uma compreensão profunda das necessidades dos pacientes, podemos desenvolver próteses que melhorem significativamente a qualidade de vida das crianças com amputações.

Bibliografia

Livros

- Adrian Neagu. (2022). *Towards 4D Bioprinting*. Academic Press.
- Bridger, R.S. (2003). *Introduction to Ergonomics*. 2ª Edição. Taylor & Francis Group.
- Deepak M. Kalaskar. (2022). *3D Printing in Medicine*. 2ª Edição. Woodhead Publishing.
- Edward Steinfeld e Jordana L. Maisel. (2012). *Universal Design Creating Inclusive Environments*. John Wiley & Sons.
- Green, Sara. 2018. *Hello Kitty*. Bellwether Media.
- Henri Vahabi e Mehrshad Mehrpouya. (2023). *Additive Manufacturing of Biopolymers*. Elsevier.
- Horváth, Imre. (2007). *Comparison of Three Methodological Approaches of Design Research*. Delft University of Technology. Faculty of Industrial Design Engineering.
- Kamalpreet Sandhu, Karupppasamy Subburaj e Saša Ćuković. (2022). *Revolutions in Product Design for Healthcare*. Springer Nature.
- Kevin K Chui, Milagros Jorge, Sheng-Che Yen, Michelle M. Lusardi. (2019). *Orthotics and Prosthetics in Rehabilitation E-Book*. Elsevier Health Sciences.
- Laurel, Brenda. (2003). *Design research: Methods and Perspectives*. Penguin Random House LLC.
- Lesko, Jim. (2007). *Industrial Design Materials and Manufacturing Guide*. 2ª Edição. John Wiley & Sons.
- Lida, Itiro. (1990). *Ergonomia Projeto e Produção*. Edgar Blücher LIDA.
- Lida, Itiro. (2005). *Ergonomia Projeto e Produção*. 3ª Edição. Blücher.
- Marcus, George. (1995). *Functionalist Design*. Prestel-Verlag.
- Martin Hevia. (2021). *Regulating Neuroscience: Transnational Legal Challenges*. Academic Press
- Mike Ashby e Kara Johnson. (2010). *Materials and Design The Art and Science of Material Selection in Product Design*. 2ª Edição. Elsevier.
- Norman, Don. (1990). *The design of everyday things*. Broadway Business.
- Norman, Don. (2004). *Emotional Design*. Basic Books
- Norman, D. (2013). *The design of everyday things: Revised and Expanded Edition*. Hachette UK.
- Papanek, Victor. (1973). *Design for the Real World*. Bantam Books
- Robert Lanza, Robert Langer, Joseph P. Vacanti e Anthony Atala. (2013). *Principles of Tissue Engineering*. Elsevier Science.
- Salvendy, Gavriel (2012). *Handbook of Human Factors and Ergonomics*. 4ª Edição. John Wiley & Sons.
- Scott, Sharon. M. (2009). *Toys and American culture: An Encyclopédia*. Bloomsbury Publishing USA.
- Slater, Lee. (2016). *Lego Manufacturers: The Kristiansen Family*. ABDO Publishing Company.
- Wheeler, Alina. (2006). *Design de Identidade da Marca*. 2ª Edição. Artmed Editora S.A. Bookman.

Websites

3D Systems. (n.d.). Estereolitografia. 3D Systems. Disponível em:

<https://br.3dsystems.com/stereolithography>

Adam. (2017). *The History Of 3D Printing*. Database Football. Disponível em:

<https://databasefootball.com/history-3d-printing-invention-printing-3d-food/>

Adam Augustyn. (2024). *LEGO*. Encyclopedia Britannica. Disponível em:

<https://www.britannica.com/topic/LEGO>

Alexander Geierlehner, Sara Malferrari e Deepak M Kalaskar. (2019). *The optimization of a 3D scanning technique applied for 3D printing of bespoke medical devices*. Future Medicine. Disponível em:

<https://www.futuremedicine.com/doi/10.2217/3dp-2018-0026>

Andrea Alice Konta, Marta García-Piña e Dolores R. Serrano. (2017). *Personalised 3D Printed Medicines: Which Techniques and Polymers Are More Successful?*. National Library of Medicine.

Disponível em:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5746746/>

A.D. Bradshaw. (2016). *The Extracellular Matrix*. ScienceDirect. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780123944474200679>

Analysis, Clinical Gait. (n.d.). Prosthetics. Clinical Gait Analysis. Disponível em:

<http://www.clinicalgaitanalysis.com/history/prosthetics.html>

António Silveira. (s.d.). *What is Doodle Illustration? Learn how the scribbles we make when daydreaming can become art from a master in the craft: Mauro Martins*. Domestika. Disponível em:

<https://www.domestika.org/en/blog/4852-what-is-doodle-illustration>

Appaji Rayi e Najib Murr. (2022). *Electroencephalogram*. National Library of Medicine. Disponível em:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK563295/>

Ash (s.d.). *Thermoplastic Polyurethane – Advantages and Disadvantages of Thermoplastic Polyurethane*. Civil Engineers Forum. Disponível em:

<https://civilengineersforum.com/thermoplastic-polyurethane-advantages-disadvantages/>

DesignHill. (2020). *Doodling is Awesome: Beginner's Guide: How to Doodle?*. Design Hill. Disponível em:

<https://www.designhill.com/design-blog/doodling-is-awesome-beginners-guide-how-to-doodle/>

Diego Ronaldo Cutipa-Puma, Cristian Giovanni Coaguila-Quispe e Pablo Raul Yanyachi. (2023). *A low-cost robotic hand prosthesis with apparent haptic sense controlled by electroencephalographic signals*. ScienceDirect. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468067223000469>

Dicionário Priberam. (s.d.). *Antepé*. Dicionário Priberam. Disponível em:

<https://dicionario.priberam.org/antep%C3%A9~>

Dicionário Priberam. (s.d.). *Retropé*. Dicionário Priberam. Disponível em:

<https://dicionario.priberam.org/retrop%C3%A9>

Elaine Biddiss e Tom Chau (2007). *Upper-Limb Prosthetics. Critical Factors in Device Abandonment*. Conselho de Pesquisa em Ciências Naturais e Engenharia. Disponível em:

<https://www.swisswuff.ch/tech/wp-content/uploads/2016/05/biddiss2007upperlimbprosthetics.pdf>

Elaine A. Biddis e Tom T. Chau (2007). *Upper limb prosthesis use and abandonment: A survey of the last 25 years*. International Society for Prosthetics and Orthotics International. Disponível em:

<https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1080/03093640600994581>

Encyclopedia. (2018). *Chauliac, Guy De*. Encyclopedia. Disponível em:

<https://www.encyclopedia.com/people/medicine/medicine-biographies/guy-de-chauliac>

Encyclopedia. (2018). *National Academy Of Sciences*. Encyclopedia. Disponível em:

<https://www.encyclopedia.com/science-and-technology/physics/science-general/national-academy-sciences>

EUR-Lex. (1993). *Council Directive 93/42/EEC of 14 June 1993 concerning medical devices*. EUR-Lex. Disponível em:

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A31993L0042>

Franklin Iheanacho e Anantha Ramana Vellipuram. (2022). *Physiology, Mechanoreceptors*. National Library of Medicine. Disponível em:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK541068/>

Interaction Design Foundation. (2023). *Design Iteration Brings Powerful Results. So, Do It Again Designer!*. Interaction Design Foundation. Disponível em:

<https://www.interaction-design.org/literature/article/design-iteration-brings-powerful-results-so-do-it-again-designer>

ISO 10993-1:2018. (2018). *Biological evaluation of medical devices — Part 1: Evaluation and testing within a risk management process*. Online Browsing Platform (OBP). Disponível em:

<https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:10993:-1:ed-5:v2:en>

ISO 13485:2016. (2016). *Medical devices — Quality management systems — Requirements for regulatory purposes*. Online Browsing Platform (OBP). Disponível em:

<https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:59752:en>

ISO 14971:2019. (2019). *Medical devices — Application of risk management to medical devices*. Online Browsing Platform (OBP). Disponível em:

<https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:14971:ed-3:v1:en>

Jaspreet K Kular, Shouvik Basu e Ram I Sharma. (2014). *The extracellular matrix: Structure, composition, age-related differences, tools for analysis and applications for tissue engineering*.

National Library of Medicine. Disponível em:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4883592/>

Jelle ten Kate, Gerwin Smit e Paul Breedveld. (2017). *3D-printed upper limb prostheses: a review*. Taylor & Francis. Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/17483107.2016.1253117>

Jorge Zuniga, Dimitrios Katsavelis, Jean Peck, John Stollberg, Marc Petrykowski, Adam Carson e Cristina Fernandez. (2015). *Cyborg beast: a low-cost 3d-printed prosthetic hand for children with upper-limb differences*. BMC. Disponível em:

<https://bmccresnotes.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13104-015-0971-9>

Jorge Zuniga, Dimitrios Katsavelis, Jean Peck, John Stollberg, Marc Petrykowski, Adam Carson e Cristina Fernandez. (2015). *Cyborg beast: a low-cost 3d-printed prosthetic hand for children with upper-limb differences*. BMC. Disponível em:

<https://bmccresnotes.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13104-015-0971-9#author-information>

Jorge M Zuniga, Adam M Carson, Jean M Peck, Thomas Kalina, Rakesh M Srivastava e Kirk Peck. (2016). *The development of a low-cost three-dimensional printed shoulder, arm, and hand prostheses for children*. Sage Journals. Disponível em:

<https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0309364616640947>

Kai xu e Shengfeng Qin. (2023). *An Interdisciplinary Approach and Advanced Techniques for Enhanced 3D-Printed Upper Limb Prosthetic Socket Design: A Literature Review*. MDPI. Disponível em:

<https://www.mdpi.com/2076-0825/12/6/223>

Kevin P. Smidt e Ryan Bicknell. (2023). *Prosthetics in Orthopedics*. National Library of Medicine. Disponível em:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK570628/>

Legó. (s.d.). *What lego bricks are made of*. Legó. Disponível em:

https://www.lego.com/en-us/service/help/brick_facts/brick_facts/what-lego-bricks-are-made-of-kA009000001dblaCAA?locale=en-us

Mace, Ron. (s.d.). *What is Universal Design?*. The UD Project. Disponível em:

<https://universaldesign.org/definition>

Mace, Ronald (1997). *The 7 principles*. Universal Design. Disponível em:

<https://universaldesign.ie/what-is-universal-design/the-7-principles/7-principals-.pdf>

Mace, Ronald L. (2006). *Ronald L. Mace Papers 1974-1998*. NC State University Libraries. Disponível em:

<https://www.lib.ncsu.edu/findaids/mc00260/summary>

Manish Kumar, Krishnanand, A. Varshney, Mohammad Taufik. (2023). *Hand prosthetics fabrication using additive manufacturing*. ScienceDirect. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785323037902>

National Library of Medicine. (2023). *Prosthetics through the ages*. National Library of Medicine. Disponível em:

<https://magazine.medlineplus.gov/article/prosthetics-through-the-ages>

Pequenas Empresas Grandes Negócios. (2015). *Jovem cria prótese com LEGO para crianças deficientes*. Pequenas Empresas Grandes Negócios. Disponível em:

<https://revistapegn.globo.com/Banco-de-ideias/noticia/2015/07/jovem-cria-protese-com-lego-para-criancas-deficientes.html>

Playmobil. (s.d.). *About playmobil*. Disponível em:

<https://toppingskids.com/pages/about-playmobil>

Pranav G. Kulkarni, Namuna Paudel, Shilpa Magar, Maria Fernanda Santilli, Shubham Kashyap, Akash Kumar Baranwal, Paolo Zamboni, Priyank Vasavada, Aman Katiyar e Ajay Vikram Singh.

(2023). *Overcoming Challenges and Innovations in Orthopedic Prosthesis Design: An Interdisciplinary Perspective*. Springer Link. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s44174-023-00087-8>

Quigley, Michael J. (s.d.). *Prosthetic Management: Overview, Methods, and Materials*. Digital Resource Foundation for the Orthotics & Prosthetics Community. Disponível em:

<https://www.oandplibrary.org/alp/chap04-01.asp>

Resnik, Linda, Klinger, Shana Lieberman, Krauthamer, Victor, Barnabe, Kate. (2010). *U.S. Food and Drug Administration Regulation of Prosthetic Research, Development, and Testing*. Journal of Prosthetics and Orthotics. Disponível em:

https://journals.lww.com/jpojournalfulltext/2010/04000/u_s_food_and_drug_administration_regulation_of.7.aspx

Salvendy, G. (Ed.). (2012). *Handbook of Human Factors and Ergonomics (4th Edition)*. New Jersey: John Wiley and Sons. Disponível em:

<https://www.systemiq.com.au/user-centred-design/>

Silveira, Antônio. (s.d.). *O que é estilo Kawaii e quais são as chaves para desenhá-lo?*. Domestika. Disponível em:

<https://www.domestika.org/pt/blog/4292-o-que-e-estilo-kawaii-e-quais-sao-as-chaves-para-desenha-lo>

Senem Demirdel e Fatih Erbahçeci.(2020). *Investigation of the Effects of Dual-Task Balance Training on Gait and Balance in Transfemoral Amputees: A Randomized Controlled Trial*. ScienceDirect.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003999320304226>

Senem Demirdel e Özlem Ülger. (2021). *Body image disturbance, psychosocial adjustment and quality of life in adolescents with amputation*. ScienceDirect. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1936657421000091>

Svetec, Diana Gregor. (2022). *Chapter 14 - Polymers in printing filaments*. ScienceDirect. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128183113000021>

Stephanie Booth. (2018). *How One Organization Is Pioneering The 3-D Printed Prosthetic Revolution*. Healthline. Disponível em:

<https://www.healthline.com/health-news/organization-pioneering-3-d-printed-prosthetic-revolution>

Universidade de Engenharia da Suíça. (2017). *Low-cost prosthetic hands for children from a 3D printer*. Zhaw. Disponível em:

<https://www.zhaw.ch/en/engineering/about-us/news/news/event-news/low-cost-prosthetic-hands-for-children-from-a-3d-printer/>

Vinod G. Gokhare, Dr. D. N. Raut e Dr. D. K. Shinde. (2017). *A Review paper on 3D-Printing Aspects and Various Processes Used in the 3D-Printing*. Jornal Internacional de Engenharia e Tecnologia.

Disponível em:

<https://www.ijert.org/research/a-review-paper-on-3d-printing-aspects-and-various-processes-used-in-the-3d-printing-IJERTV6IS060409.pdf>

Trevor Huff, Navid Mahabadi, Prasanna Tadi. (2024). *Neuroanatomy, Visual Cortex*. National Library of Medicine. Disponível em:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29494110/>

Xometry Company. (s.d.). Comparison of Thermoset Versus Thermoplastic Materials. Thomas a Xometry Company. Disponível em:

<https://www.thomasnet.com/articles/plastics-rubber/thermoset-vs-thermoplastics/>

Xometry Company. (a.d.). 3D-printing vs traditional manufactur. Xometry. Disponível em:

<https://www.xometry.com/resources/3d-printing/3d-printing-vs-traditional-manufactur>

Xometry Company. (2022). What is ABS Plastic?. Xometry. Disponível em:

<https://www.xometry.com/resources/materials/abs-plastic/>

Xometry Company. (2022). 3D Printing in Prosthetics: History, Benefits, and Materials. Xometry. Disponível em:

<https://www.xometry.com/resources/3d-printing/3d-printing-in-prosthetics/>

Xometry Company. (2022). Polyether ether ketone (PEEK): Characteristics, Features, and Process. Xometry. Disponível em:

<https://www.xometry.com/resources/materials/polyether-ether-ketone/>

