



Universidade Federal do Amazonas
Faculdade de Tecnologia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Produção - PPGE



INGRID MARINA PINTO PEREIRA

APLICAÇÃO DO *DESIGN FOR MANUFACTURING AND ASSEMBLY* (DFMA) NO
PROJETO DE ROBÔ DE TELEPRESENÇA

MANAUS

2024

INGRID MARINA PINTO PEREIRA

**APLICAÇÃO DO *DESIGN FOR MANUFACTURING AND ASSEMBLY* (DFMA) NO
PROJETO DE ROBÔ DE TELEPRESENÇA**

Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu*, em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Amazonas – UFAM.

Área de Concentração: Gestão da Produção e Operações.

Linha de Pesquisa: Modelagem, Simulação e Otimização de Processos.

Orientador: Marcelo Albuquerque de Oliveira, Ph.D.

MANAUS - AM

2024

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

P436a Pereira, Ingrid Marina Pinto
Aplicação do Design For Manufacturing And Assembly (DFMA) no projeto de robô de telepresença / Ingrid Marina Pinto Pereira . 2024
89 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Marcelo Albuquerque de Oliveira
Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) -
Universidade Federal do Amazonas.

1. Telessaúde. 2. DfX. 3. Design Thinking. 4. Manufatura Aditiva.
I. Oliveira, Marcelo Albuquerque de. II. Universidade Federal do
Amazonas III. Título

INGRID MARINA PINTO PEREIRA

**APLICAÇÃO DO DESIGN FOR MANUFACTURING AND ASSEMBLY (DFMA) NO
PROJETO DE ROBÔ DE TELEPRESENÇA**

Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu*, em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Amazonas – UFAM.

Área de Concentração: Gestão da Produção e Operações.

Linha de Pesquisa: Modelagem, Simulação e Otimização de Processos.

Orientador: Marcelo Albuquerque de Oliveira, Ph.D.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo Albuquerque de Oliveira
Universidade Federal do Amazonas
Orientador e Presidente

Prof. Dr. Antonio do Nascimento Silva Alves
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica - UFAM
Membro Externo

Profa. Dr. Gabriela de Mattos Veroneze
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - UFAM
Membro PPGEP

Prof. Dr. Marcos Dantas dos Santos
Departamento de Engenharia Mecânica – UEA/EST
Membro Externo

Profa. Dr. Sara Raquel Gomes de Sousa
Instituto de Tecnologia da Amazônia - INTECAM
Membro Externo

Manaus, 26 de agosto de 2024

AGRADECIMENTOS

Aos meus amigos que sempre me apoiaram nessa jornada.

Ao meu namorado, Raphael Riesgo, por todo o suporte e companheirismo que serviram de alicerce para que eu me mantivesse firme na execução do trabalho.

A minha família, por sempre terem acreditado no meu potencial e pelos sacrifícios que fizeram com que eu chegasse na Pós-graduação.

A todos os professores do PPGEF-UFAM pelo apoio e pelo conhecimento passado através de orientações, em particular ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo Albuquerque de Oliveira, por toda a atenção, aconselhamentos e parceria para a realização do trabalho final.

A professora Dra. Gabriela de Mattos Veroneze e ao professor Dr. Antônio pelas sugestões e contribuições na Banca de Qualificação.

A UFAM e a FAPEAM que possibilitaram a parceria para que fossem externados ao público trabalhos provenientes desse projeto.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar um protótipo de robô de telepresença destinado à aplicação na região amazônica, onde áreas de acesso remoto são concentradas. Para alcançar esse objetivo, é empregada uma abordagem que integra as etapas do DFMA (*Design for Manufacturing and Assembly*) e o *Design Thinking*, abrangendo todos os seus aspectos básicos, e também modelagem 3D na fase de prototipagem. Aproveitando as características-chave da região, o objetivo é oferecer uma solução regional focada em mobilidade e interação para facilitar o uso. No estudo, foram destacadas as principais dificuldades enfrentadas pela população da região em sua vida cotidiana no que diz respeito ao acesso à saúde. Como resultado, obteve-se a evidência da utilização das metodologias de fora combinada com a redução de cerca de 78% da quantidade de peças e partes do projeto. Portanto, destaca-se a importância do desenvolvimento de tecnologias voltadas para atender a essa necessidade ou impulsionar estudos para conectividade no estado do Amazonas.

Palavras Chaves: Telesaúde, DfX, Manufatura Aditiva.

ABSTRACT

This work aims to present a prototype for a telepresence robot designed for application in the Amazon region, where remote access areas are concentrated. To achieve this goal, an approach is employed that integrates the steps of DFMA (Design for Manufacturing and Assembly) and also 3D modeling combined with Additive Manufacturing. Considering the key characteristics of the region, the objective is to offer a regional solution focused on mobility and interaction to facilitate use. In the study, the main difficulties faced by the population in the region in their daily lives regarding access to healthcare were highlighted. As a result, evidence was obtained of the use of outside methodologies combined with a reduction of about 78% in the quantity of project components and parts. Therefore, the importance of developing technologies aimed at addressing this need or driving studies for connectivity in the state of Amazonas is emphasized.

Keywords: Telehealth, DfX (Design for X), Additive Manufacturing.

Lista de Figuras

Figura 1 - Exemplos de Robôs de telepresença e robôs <i>desktop</i>	15
Figura 2 – Mapa do Amazonas.....	17
Figura 3 – Exemplo de robôs sociais.....	21
Figura 4 – Interações anuais através de telessaúde na Universidade Médica da Carolina do Sul.....	21
Figura 5 – Interação com robô de telepresença.	24
Figura 6 – Robô com controle de velocidade	25
Figura 7 – Robô <i>Lil'flo</i>	25
Figura 8 – Design inicial de um motor e Redesign aplicando o DFMA.	34
Figura 9 – Passos do procedimento de aplicação do DFMA.....	35
Figura 10 – Etapas do <i>Design Thinking</i> - Universidade de Stanford.	39
Figura 11 – Procedimento de <i>Design Thinking</i> para desenvolvimento de novos produtos.....	39
Figura 12 – Aplicação de DT em dispositivo de endoscopia.	40
Figura 13 – Designs de porta guarda-chuva.	41
Figura 14 – Interface aplicativo criado com DT.	41
Figura 15 - Tipos de Manufatura Aditiva.....	42
Figura 16 - Processo Típico de Impressão 3D.	43
Figura 17 - Impressão com FDM.	44
Figura 18 – Exemplo de design em CAD de um robô.	49
Figura 19 – Exemplo de protótipo com Impressão 3D.....	50
Figura 20 – Framework para utilização do <i>Design Thinking</i>	51
Figura 21 – Quantidade populacional do estado do Amazonas.	52
Figura 22 – Faixa etária e gênero no Amazonas.	53
Figura 23 – Rendimento mensal per capita no Amazonas.	53
Figura 24 – Área da unidade territorial do Amazonas.	54
Figura 25 – Mapa de empatia.	56
Figura 26 – Mapa mental - <i>Brainstorm</i> características.	58
Figura 27 – Primeiro Rascunho Robô de Telepresença.	59
Figura 28 – Peteca Indígena.	60
Figura 29 – Robô de telepresença Kaiapó.....	60
Figura 30 – Arduino <i>Robot Tank</i>	61

Figura 31 - Interface <i>Ultimaker Cura</i>	64
Figura 32 - Partes e Etapas versão protótipo 1.0.....	65
Figura 33 - Peças teste mecanismo de trava.....	66
Figura 34 - Configuração da impressora.....	67
Figura 35 - Mecanismo esteira TPU.....	67
Figura 36 - Comparação de versão da proposta antes e depois do DFMA	71
Figura 37 - Protótipo robô de telepresença proposto V2.....	72

Lista de Quadros

Quadro 1 – Tecnologias associadas à telessaúde.	22
Quadro 2 – Tipos de <i>DfX</i>	27
Quadro 3 – Guias gerais de aplicação do DFMA.	36
Quadro 4 – Estágios do processo de <i>Design Thinking</i>	38
Quadro 5 - Exemplos Materiais FDM.....	44
Quadro 6 - Peças e Partes Versão 1.0.....	61
Quadro 7 - Detalhamento das temperaturas de impressão.	66
Quadro 8 - Peças e Partes Versão 2.0.....	68
Quadro 9 - Robôs literatura base para comparação.	74

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

DFMA – Design for Manufacturing and Assembly
OMS – Organização Mundial da Saúde
LCT – Lesão Cerebral Traumática
CMS – Centro para cuidados e serviços médicos
NASA – National Aeronautics and Space Administration
CAD – Computer Aided Design
DFM – Design for Manufacturing
DFA – Design for Assembly
DTM – Design Theory and Methodology
MA – Manufatura Aditiva
DFV – Design for Variety
DFSS – Design for Six-Sigma
DFS – Design for Security
DFTest – Design for Testability
DFMt – Design for Maintability
DFRb – Design for Robustness
DFMEA – Design for Failure Mode and Effect Analysis
DFSp – Design for Suportability
DFF – Design for Flexibility
DFMod – Design for Modularity
DFMin – Design for Miniaturization
DFSC – Design for Supply Chain
DFL – Design for Logistics
DFSandT – Design for Storage and Transportation
DFMAC – Design for Mass Customization
DFRL – Design for Reverse Logistics
DFP – Design for Purchase
DFQ – Design for Quality
DFLC – Design for Life Cycle
DFC – Design for Cost
DFSv – Design for Serviceability
DFR – Design for Recycle
DFRu – Design for Reuse

DFEOL – Design for End Of Life
DFRem – Design for Remanufacturing
DFReL – Design for Reability
DFSt – Design for Sustentability
DFE – Design for Enviroment
DFCRR – Design for Chronic Risk Reduction
DFEC – Design for Energy Conservation
DFWMR – Design for Waste Minimaztiond and Recovery
DFD – Design for Material Desassembly
DFPk – Design for Material Pakage
DFSR – Design for Social Responsibility
PLA – Biopolímero Ácido Poliláctico
TPU – Termoplástico de Poliuretano
ABS – Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno

Sumário

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	13
1.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	16
1.3 OBJETIVOS.....	16
1.3.1 OBJETIVO GERAL	16
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1.4 JUSTIFICATIVA	17
1.5 ESTRUTURA DO PROJETO	18
2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO.....	19
2.1 A ÁREA DE TELESAUDE.....	19
2.2 DESENVOLVIMENTO DE ROBÔS DE TELEPRESENÇA	23
2.3 CONCEITOS DE DFMA	26
2.4 DESIGN THINKING APLICADO À ENGENHARIA DE PRODUTO	37
2.5 TECNOLOGIAS DE MANUFATURA ADITIVA.....	42
3. METODOLOGIA.....	48
3.1 NATUREZA DA PESQUISA	48
3.2 FORMA DE ABORDAGEM DO PROBLEMA	48
3.3 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA QUANTO AOS PROCEDIMENTOS.....	48
3.4 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA QUANTO AOS PROCEDIMENTOS.....	48
3.5 UNIVERSO E AMOSTRA DA PESQUISA.....	48
3.6 PROCEDIMENTOS PARA A COLETA DE DADOS	49
3.7 PROCEDIMENTOS PARA A ANÁLISE DOS DADOS	49
3.8 ETAPAS DA PESQUISA.....	50
4 DESENVOLVIMENTO.....	52
4.1 FASE DE EMPATIA.....	52
4.2 FASE DE DEFINIÇÃO	55
4.3 FASE DE IDEACÃO	57
4.4 FASE DE PROTOTIPAÇÃO	61
4.5 FASE DE TESTE	65
5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	73

6	CONCLUSÃO.....	75
7	IMPACTOS ACADÊMICOS, ECONÔMICOS E SOCIAIS	76
7.1	IMPACTOS ACADÊMICOS.....	76
7.2	IMPACTOS ECONÔMICOS.....	76
7.3	IMPACTOS SOCIAIS.....	77
	REFERÊNCIAS	78

1. INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta a contextualização do tema, seguido da problemática da pesquisa, o objetivo geral e os objetivos específicos traçados para responder ao problema, bem como a motivação central deste trabalho e sua estruturação.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Novas constatações de epidemias que não podem ser previstas têm acontecido e busca-se estar preparado para enfrentar com as melhores ferramentas esse tipo de situação, um exemplo disso dentre diversas outras epidemias, está o surto do Coronavírus, que foi declarado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como uma pandemia e emergência em saúde pública de interesse internacional, tratando-se de um vírus mutado de alta transmissibilidade que afeta as condições respiratórias dos infectados.

Para a quantidade de infectados pelo COVID-19, o rastreamento de contato e o distanciamento social têm sido estratégias efetivas para diminuir a transmissão. Com isso, surge a necessidade de se reinventar o contato humano através da tecnologia, principalmente no que diz respeito a hospitais e centros de atendimento (Lippi *et al.*, 2020; Oliveira, Lucas e Iquiapaza, 2020).

A telepresença é uma ferramenta conhecida e utilizada no que se diz respeito a meios médicos, essa junção está englobada no que é denominado de telemedicina. A telemedicina é um termo que compreende a utilização das tecnologias de informação e comunicação para a medicina tais como robótica, realidade virtual, inteligência artificial etc. O termo tomou protagonismo em relação a se evitar contágios e proliferação de vírus, utilizando equipamentos de telepresença para se fazer consultas e triagens de pacientes (Quispe-Juli *et al.*, 2020).

Este estudo busca combinar aspectos de projeto de produto para atender a essa nova demanda gerada pelo cenário de saúde atual, propondo um protótipo de um robô de telepresença com intuito de impulsionar a pesquisa na área para que a aplicação também se voltar para hospitais públicos na conexão família-paciente, focando no impacto psicológico e afetivo dos envolvidos. Demonstrando aspectos do conceito de telepresença e sua aplicação na saúde pública, a forma que robôs são incluídos na telepresença e os conceitos de desenvolvimento de produtos utilizados para projetar o que se é proposto.

Com efeito, busca-se descrever o processo de metodologia utilizada através de princípios de DFMA (*Design For Manufacturing and Assembly*) para redução de custos e otimização do desenvolvimento de produtos. É possível verificar a exemplificação de aplicação dessa metodologia em diversos projetos existentes como é o caso do trabalho de Maidin *et al.*

(2018) no qual foi utilizado o DFMA para reduzir custos de um projeto de o bico da torneira de água, onde se utilizou de processos de desmontagem de peças, definição da função do produto e crítica ao design para analisar os dados e propor as modificações, com elas foi possível chegar em um resultado de aumento da eficiência de montagem de 23% para 25%, redução do custo de montagem de RM28,64 para RM10,46 (RM é o símbolo da moeda oficial da Malásia), redução do tempo de produção de 51,7 segundos para 28,3 segundos no novo design.

Outro exemplo é o caso do estudo de Samad *et al.* (2018) onde o método também foi aplicado para desenvolvimento de produto, no design de uma porta de passageiro de carros, aplicando as etapas: obtenção de informações sobre o produto ou montagem a partir de desenhos, protótipos ou um produto existente; desmonte do produto ou montagem e atribuição de um valor de identificação a cada item com base nos requisitos de manuseio e inserção; remontagem do produto, começando pelo valor de identificação mais alto, e adicionando as peças restantes e preenchimento de planilha de *Design for Assembly*, calculando o tempo total de montagem manual e a eficiência de montagem, com isso, obteve-se como resultado um aumento de 22.2 % na eficiência de montagem. Por fim, com esses exemplos positivos de aplicação do método, neste estudo tem-se a apresentação do desenvolvimento do projeto juntamente com a modelagem 3D e prototipagem aplicando os conceitos dessa metodologia central.

A telemedicina surgiu nos anos 1950 com o avanço da tecnologia e da internet, com isso outro conceito chamado telessaúde, que trata da mesma temática, porém abrangendo outras áreas além da medicina. Apesar dessa nova ferramenta, o ministério da saúde possui algumas restrições quanto ao diagnóstico médico por meios digitais, porém, as práticas regulares de iniciativas de telessaúde, como telediagnóstico, tele consultoria e teleeducação em ambientes com segurança digital e acesso restrito têm ganhado confiança de agentes da saúde e pacientes (Catapan e Calvo, 2020). Esse método é muito utilizado hoje em dia para aplicação em clínicas especializadas e tem abordagem desde aplicações móveis centradas no paciente até interações complexas entre médicos em hospitais terciários, sendo uma opção ao levar atendimento para localizações remotas (Rañó, Moldes e Sancho, 2020).

A maioria dos serviços de telemedicina é utilizada em países desenvolvidos, solucionando grandes desafios como ampliação de acesso, melhoria da atenção e qualidade da saúde, racionalização de custos e rastreamento de problemas de saúde pública (Maldonado, Marques e Cruz, 2016). O modelo de telessaúde adotado no Brasil baseia-se na conexão das universidades com a atenção primária de cidades remotas por meio de atividades de teleeducação e teleassistência (Damasceno e Caldeira, 2019). É necessário investimento científico e

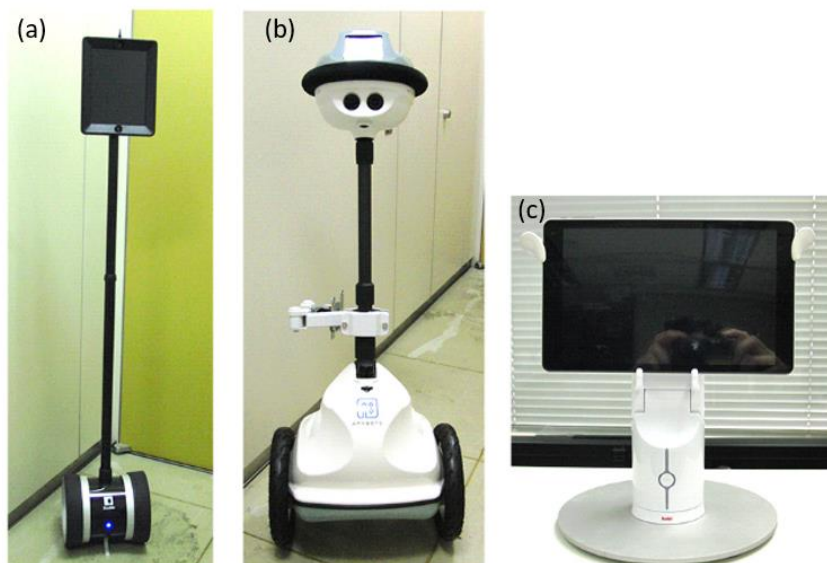
financeiro para introduzir a tecnologia necessária para essas ferramentas, sendo um desafio para o setor público brasileiro no que se diz respeito ao entendimento desses custos para obter um sistema adequado e de qualidade a ser adotado na área da saúde e medicina (Zanotto et al., 2020).

Os avanços da tecnologia têm tornado possível o desenvolvimento de dispositivos vestíveis e aplicações na robótica. A telepresença abre uma gama de oportunidades de utilização de dispositivos sofisticados, robustos e inteligentes, com isso, é dada atenção especial na combinação da mesma com a robótica, idealizando sistemas que permitem os humanos sentirem presença física por meio da robótica (Martínez-Hernandez et al., 2017).

A utilização de robôs móveis de presença tem avançado para diversos campos como shoppings, escritórios, hospitais e escolas e são utilizados basicamente de dois tipos: os móveis com contato ao chão e os sistemas de desktop como é demonstrado na figura abaixo, é importante salientar que a aparência e movimentos dos robôs afetam no comportamento e percepção dos usuários (Myodo et al., 2018).

Figura 1 - Exemplos de Robôs de telepresença e robôs *desktop*.

(a) Robô de telepresença simples. (b) Robô de telepresença robusto. (c) Robô de telepresença *desktop*.



Fonte: Myodo (2018)

No Brasil, o primeiro protótipo de robô de telepresença foi apresentado em 2013, o R1T1, da *Project Company*, para ser utilizado nas dependências do Hospital Universitário de Maringá, que passou a ser utilizado como teste da aplicabilidade do robô, sendo utilizado como apoio para 9 consultas, na visita ou discussão de casos nas diferentes enfermarias e na aproximação entre pacientes e familiares com histórico de longos períodos de internação (Carreira et al., 2018).

Atualmente para o avanço de robôs de telepresença busca-se utilizar a tecnologia *Segway* que consiste em um veículo com auto equilíbrio em duas rodas onde se pretende que haja alguma interação do robô com pessoas, pois auxiliam no processo de aproximação de semelhança de estatura e mobilidade de uma pessoa adulta (Ribeiro, 2011). A forma de comunicação reinventada pela implementação desses robôs requer certo investimento já que costumam possuir alta tecnologia e estrutura, o que dificulta a aplicação pública pela falta de recursos, principalmente em países subdesenvolvidos como o Brasil.

Tendo em vista o cenário apresentado, considera-se a problemática que está englobado o desenvolvimento de robôs de telepresença, principalmente para áreas remotas da região do Amazonas, e o trabalho busca preencher algumas lacunas e objetivos no decorrer de seu desenvolvimento, fazendo menção aos aspectos destacados.

1.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Considerando-se que:

- i) A telemedicina influencia positivamente no acesso a meios de tratamento na medicina, principalmente para áreas de difícil acessibilidade, como temos no Amazonas;
- ii) A engenharia de produto se correlaciona com o DFMA;
- iii) Há necessidade de destaque para a linha que trabalha sobre engenharia de produto e desenvolvimento de robôs de telepresença;

Enuncia-se a seguinte questão norteadora a ser respondida ao longo da pesquisa:

“Como elencar e propor a aplicação da ferramenta com aspectos de DFMA para a telepresença?”

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GERAL

Aplicar os conceitos e guias do método DFMA na estruturação de projeto de robô de telepresença.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- (i) Utilizar o DFMA visando redução de peças e custo em projeto de produto;
- (ii) Idealizar projeto de produto utilizando modelagem 3D e prototipagem combinada ao DFMA;

- (iii) Impulsionar estudos que aumentem a acessibilidade tendo em vista a tecnologia de auxílio por meio da telessaúde na região amazônica.

1.4 JUSTIFICATIVA

A pesquisa demonstra-se relevante por enquadrar aspectos em enfoque na atualidade, DFMA e Engenharia de Produto, utilizando ferramentas de engenharia de produção para idealizar conceitos que envolvem robótica e saúde, sua aplicação prática no meio acadêmico e científico se dá pelo estudo desenvolvido na área Engenharia de Produção aproximando-a de área não industriais, como a área da saúde e psicologia. O presente estudo apresenta relevância principalmente em âmbito social, já que busca impulsionar soluções acessíveis para a comunidade ao tratar patologias que agregará valor à saúde mental e ao bem-estar do cidadão.

No que se diz respeito à aplicabilidade do trabalho, sabe-se que a telepresença tem grande contribuição a ser feita em áreas remotas e de difícil acesso, com isso, levanta-se a questão regional. Aleixo *et al.* (2020) destaca que o estado do Amazonas representado na figura abaixo é o maior em extensão territorial do Brasil, com 1.559.148,890 km e o principal modal de transporte de pessoas e mercadorias no estado é por meio dos rios, sendo muitas das vezes a única forma de mobilidade da população de muitas cidades, povos indígenas e comunidades tradicionais, essa restrição dificulta o acesso de atendimento e cuidados médicos para essa fatia da população.



Fonte: Aleixo *et al.* (2020)

Silva *et al.* (2023) também destaca essa informação, alegando que a Região Amazônica, concentra a maior parte dos municípios rurais remotos brasileiros, com isolamento não só pela distância física/geográfica, mas também pela oferta de serviços que é escassa, o que distancia a população do acesso à saúde. Isso se torna evidente em estudos como de Paulino Campos *et al.* (2021) onde foi analisado o cuidado com pacientes de Lesão Cerebral Traumática (LCT) no município de Coari, um dos 62 municípios do estado do Amazonas. O estudo revela que há um elevado número de transferências para outro centro porque o município não tem assistência necessária para esse tipo de lesão, isso justifica um maior investimento em tecnologia aparato no interior do Amazonas, com intuito de economizar gastos na remoção de pacientes e evitar superlotação nos hospitais de capitais mais próximas, é possível afirmar que esse investimento em tecnologia converge com os objetivos do projeto deste estudo.

1.5 ESTRUTURA DO PROJETO

O trabalho foi dividido em 06 (seis) tópicos sendo organizados da seguinte forma: primeiramente, temos a introdução da pesquisa que contempla a contextualização, o objetivo geral e os objetivos específicos da pesquisa e a sua justificativa.

Em segundo, apresenta-se o referencial teórico com os seguintes temas centrais: Telessaúde, Desenvolvimento de robôs de Telepresença, DFMA e Manufatura Aditiva.

No capítulo 3, aborda-se os aspectos metodológicos que nortearão a pesquisa, com a classificação da pesquisa, universo e amostra, procedimentos para o desenvolvimento e análise dos resultados. Em seguida, são apresentadas as conclusões da pesquisa e, por fim, são apresentadas as referências utilizadas para embasar o projeto.

2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

2.1 A ÁREA DE TELESAÚDE

O CMS (Centro para cuidados e serviços médicos) define a telessaúde como "o uso de telecomunicações e tecnologia da informação para fornecer acesso a avaliação de saúde, diagnóstico, intervenção, consulta, supervisão e informações à distância", podendo a interação ser síncrona, em tempo real, ou assíncrona, em que tendências de dados ou mensagens são compartilhadas com os clínicos de forma periódica ou podem ser utilizadas para monitoramento remoto de pacientes (Mahtta et al., 2021).

De acordo com Gajarawala *et al.* (2021), os termos “Telemedicina” e “Telessaúde” são geralmente utilizados para tratar sobre o mesmo tópico, porém, telemedicina é considerada parte da telessaúde e refere-se especificamente a serviços clínicos, porém ambas englobam aspectos semelhantes como educação médica, monitoramento remoto de pacientes, consulta de pacientes por videoconferência, aplicativos de saúde sem fio e transmissão de imagens e relatórios médicos. Essas áreas possuem basicamente três principais objetivos: Aumento do acesso aos cuidados de saúde; Melhoria na comunicação entre os prestadores de cuidados de saúde; Melhora na eficiência do tempo e redução dos custos logísticos (Amjad, Kordel e Fernandes, 2023).

Ao passo que evoluíram as melhorias na área de telecomunicações, a tecnologia associada se tornou mais acessível e mais fácil de ser utilizada, fazendo com que impulsionasse a telessaúde que tem como intuito integrar a tecnologia no meio da saúde, diferenciando a experiência do paciente (Alverson et al., 2019).

Apesar de que para alguns prestadores de serviços da área da saúde a telessaúde pode parecer um conceito novo, ela teve início na década de 1920 quando *Royal Flying Doctor* utilizava rádios para cuidados remotos na Austrália. A NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) acelerou o crescimento da telessaúde ao financiar pesquisas para desenvolver maneiras criativas de fornecer atendimento médico a astronautas no espaço e atendimento médico em voo para companhias aéreas comerciais. O crescimento da área teve mais impacto de 1960 a 2000, para fornecer assistência médica a populações em áreas carentes e de difícil acesso, como populações rurais/vilarejos, populações prisionais, etc. (Wijesooriya et al., 2020)

Pessoas que vivem em áreas remotas ou rurais com difícil acesso ou meios de transporte, especialmente se tratando de indígenas, crianças e idosos e pessoas com comorbidades, são beneficiadas com a telessaúde pois podem ter um atendimento remoto por meio de ferramentas

como celular, videoconferência, mensagem eletrônica e monitoramento digital, obtendo um impacto positivo nos pacientes (Orlando, Beard e Kumar, 2019).

Além do impacto nos pacientes, as organizações prestadoras de serviços de benefício também se beneficiam com a prática. Segundo Harkey *et al.* (2020), em 2018, mais de 90% dos executivos de saúde nos Estados Unidos afirmaram que suas organizações estavam implementando mais práticas de telessaúde, o que abrangeria cerca de 7 milhões de pacientes estimados, destacando a redução de deslocamento, tempo e economia de dinheiro com a disponibilidade da telessaúde para reabilitação em locais remotos em todo o mundo.

Com o advento da pandemia do COVID-19, tornou-se evidente a importância da tecnologia voltada à saúde. Alguns hospitais ficaram limitados quanto ao número de pacientes a receber, o que gerou questionamentos sobre como proteger os colaboradores e os outros pacientes com o ambiente em *lockdown*. A necessidade do distanciamento social acarretou a oportunidade de meios de auxílio e cuidado tanto com a saúde física quanto mental, preservando o contágio de doenças (Fegert et al., 2020).

Em um contexto de isolamento social, a saúde mental ganhou foco, para auxiliar nesse aspecto social, conforme estudo de Wosik *et al.* (2020) a utilização da telessaúde é a ideal para redução da transmissão do vírus e agregar os recursos tecnológicos e sociais.

A preocupação com a saúde mental em tempos de isolamento também acarretou a oportunidade de criar ferramentas interativas e uma delas foram os robôs de telepresença. Shen *et al.* (2021) também destaca que diferentemente de outros robôs utilizados em meio à pandemia, os relacionados à aspectos sociais apresentam uma importância enorme e insubstituível para os humanos e projeta-se que com o avanço da tecnologia e estudos no campo citado, será mais fácil observar novos e modelos comerciais de robôs sociais, a figura 3 demonstra exemplos de alguns modelos.

Figura 3 – Exemplo de robôs sociais.

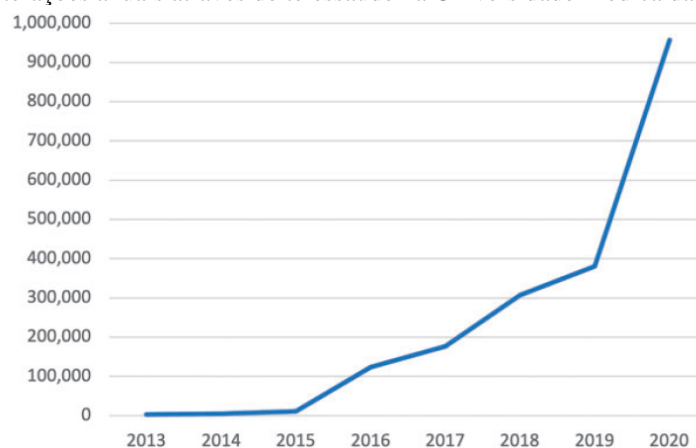
(a) Monitoramento de distância social usando métodos de visão computacional e navegação. (b) Robô Lio com recursos de interação humano-robô. (c) Robô humanoide ARI (PAL Robotics) visa uma interação social mais eficaz. (d) Robô Cruzr (UBTECH Robotics) verificando a temperatura de um profissional de saúde durante a demonstração. (e) Moxi (Diligent Robotics) cuidando de pacientes em um hospital.



Fonte: Shen *et al.* (2020)

Para evidenciar o aumento de demanda por esse tipo de serviço, no estudo de Valenta *et al.* (2021), podemos observar a tendência na Universidade Médica da Carolina do Sul (MUSC), que é um Centro de Excelência em Telessaúde reconhecido pelo governo federal, com ampla experiência no desenvolvimento, implementação e avaliação de programas na área. No estudo com representação na figura 4 abaixo, é possível verificar que as interações anuais de telessaúde aumentaram de 3.091 em 2013 para quase 1 milhão em 7 anos, demonstrando a adesão e demanda na área.

Figura 4 – Interações anuais através de telessaúde na Universidade Médica da Carolina do Sul



Fonte: Valenta *et al.* (2021)

Com a finalidade de situar e conhecer as principais tecnologias associadas à telessaúde e seus aspectos mais relevantes, no trabalho de Zoder-Martell *et al.* (2020), podemos verificar a comparação entre três tecnologias elencadas na tabela abaixo:

Quadro 1 – Tecnologias associadas à telessaúde.

Tópico	Web Câmera	Swil	Robô de telepresença
Imagem			
Custo	\$30 – \$100	Série C5 C= \$1,159	3ª edição = \$3,839.04 2ª edição = \$2,749.00
Equipamentos Adicionais	<i>Software</i> de videoconferência	<i>Software</i> de videoconferência; tablet	Tablet (apenas para 2ª edição); Aplicativo gratuito
Qualidade do som	Microfone de computador, microfone externo opcional; dependente da conexão do computador, ruído de fundo	Tecnologia digital com até 5 microfones; sensibilidade ajustável.	6 microfones; Alto-falante amplificado; Alto-falante de 8 W de ampla faixa.
Mobilidade	Estático	Em um único plano, plataforma rotatória a 360°	Sem restrição
Software de videoconferência	Necessário	Necessário para atendimento em tempo real; pode gravar sem usar <i>software</i> de videoconferência.	3ª edição possui Zoom 2ª edição usa aplicativo Duo
Capacidade de gravação	Depende do <i>software</i> utilizado	4 horas	Não possui
Facilidade de uso	Depende do <i>software</i> utilizado	Tecnologia de rastreamento; segue automaticamente o marcador mantido pelo usuário	Possui sistema de desvio de obstáculos embutido; direção assistida automática.
Criptografia	Depende do <i>software</i> utilizado	Sim	Sim
Pesquisas existentes	Sim	Sim	Sim

Fonte: Adaptada de Zoder-Martell *et al.* (2020)

Conforme Randall *et al.* (2022) uma das preocupações na utilização da telessaúde diz respeito ao acesso aos serviços de telecomunicações de banda larga, a capacidade de proteger informações pessoais de saúde através da tecnologia de forma mais privada e confidencial e os investimentos iniciais que são necessários. Thomas *et al.* (2023) também afirma que há barreiras no que se diz respeito a telessaúde no quesito de falta de alfabetização digital e acesso, incerteza em relação à qualidade do atendimento prestado por meio de modos de cuidado virtual, preocupações com privacidade e preferência pelo atendimento presencial. Todavia, a telessaúde também é capaz de trazer retorno financeiro e cuidado mais monitorado com triagem e diagnóstico rápido, cuidados e gerenciamento remotos de pacientes.

Um estudo de caso conduzido no trabalho de Snoswell *et al.* (2022) aborda dados retrospectivos de todas as consultas ambulatoriais de telessaúde em Queensland durante um período de um ano, de julho de 2017 a junho de 2018. Como resultado, tivemos em termos de ganhos de produtividade foi estimado em 9.176.052 de dólares australianos por ano ou 304 dólares australianos por consulta de telessaúde, demonstrando também o impacto econômico na utilização.

2.2 DESENVOLVIMENTO DE ROBÔS DE TELEPRESENÇA

Atualmente, a vida social dos seres humanos está cada vez mais dependente da tecnologia e embora as tecnologias tenham melhorado significativamente o estilo de vida humano, ainda há um campo de investigação quanto à satisfação do cliente e análises sistemáticas. Dessa forma, os robôs de telepresença podem se tornar atrativos no ecossistema humano. Para aprofundamento no tema, faz-se importante também entender o conceito de telepresença, que se trata do aspecto sensitivo de estar presente em um ambiente construído por meio de certas mídias de comunicação (Altalbe, Khan e Tahir, 2023; Yoo, Park e Park, 2023).

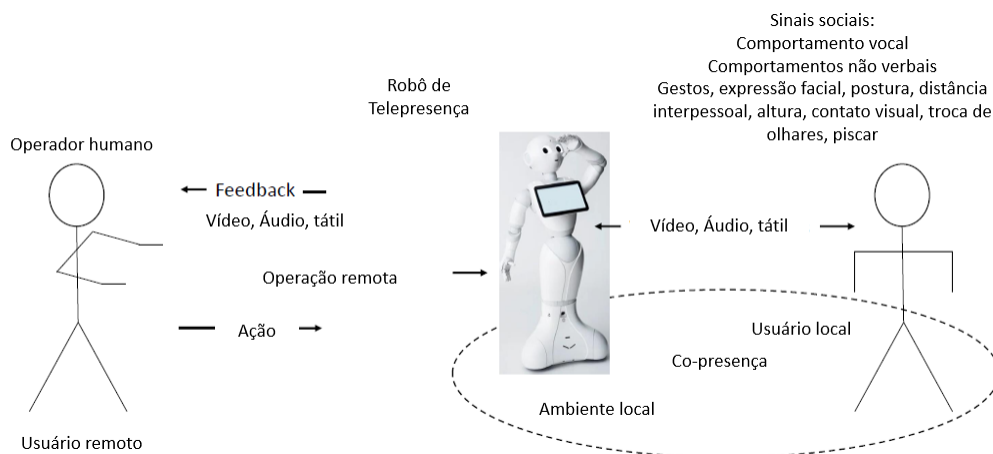
Conforme o estudo de Altalbe *et al.* (2023), o desenvolvimento de robôs de telepresença é um tópico de bastante enfoque em algumas áreas como sistemas de saúde e aplicações militares e a evolução do 6G e 5G facilitam esse destaque do tópico. Geralmente, esses robôs são equipados com vários tipos de sensores e atuadores operados com algoritmos dependentes de software proprietário (Delgado *et al.*, 2019).

O primeiro dispositivo remotamente manipulado ter sido implementado em 1948, que correspondeu a um braço robótico para imitar a atividade humana usando um braço mecânico acionado de forma elétrica e com auxílio de *joysticks* para reproduzir movimentos, essa aplicação pioneira teve como objetivo substituir o trabalho humano em contextos insalubres. Apesar desse fato, o interesse pelo uso de robôs de telepresença aumentou significativamente

no início da década de 1990, tendo maior representatividade na América do Norte, Europa e Ásia-Pacífico. (Leoste et al., 2023; Tuli, Terefe e Rashid, 2021).

Para destacar objetivamente o funcionamento da telepresença, no estudo de Almeida *et al.* (2022) demonstra alguns dos principais elementos e ilustra sua interação conforme abaixo:

Figura 5 – Interação com robô de telepresença.



Fonte: Almeida *et al.* (2022)

Entre os conceitos que Almeida *et al.* (2022), temos:

- Sistema de telepresença robótica móvel: plataforma móvel controlável remotamente equipada com equipamentos de videoconferência que permite que usuários remotos naveguem em um ambiente local e interajam socialmente com outras pessoas.
- Sistema de telepresença robótica: dispositivo robótico controlável remotamente ou semiautônomo, com capacidade de videoconferência, que permite interação social com pessoas no ambiente local sem necessidade de deslocamento.
- Usuário remoto: usuário que controla o robô de um local remoto ou simplesmente se conecta ao robô por meio de uma interface de computador.
- Usuário local: usuário que compartilha o ambiente físico com o robô e atua como um observador.
- Ambiente local: ambiente compartilhado pelo usuário local e pelo robô.

O desenvolvimento de robôs de telepresença é um tópico que vem evoluindo juntamente com a tecnologia de informação e desenvolvimento de inteligência artificial. No trabalho de Batmaz *et al.* (2020) é desenvolvido um robô de telepresença com controle de velocidades, onde ao chegar perto de obstáculos o robô reduz a velocidade, no estudo utilizaram um robô de telepresença combinado com Arduino Mega, um *Raspberry Pi 3* e sensores ultrassônicos alterando os códigos do Arduino e *raspberry* para combinar com o algoritmo do robô conforme figura 6.

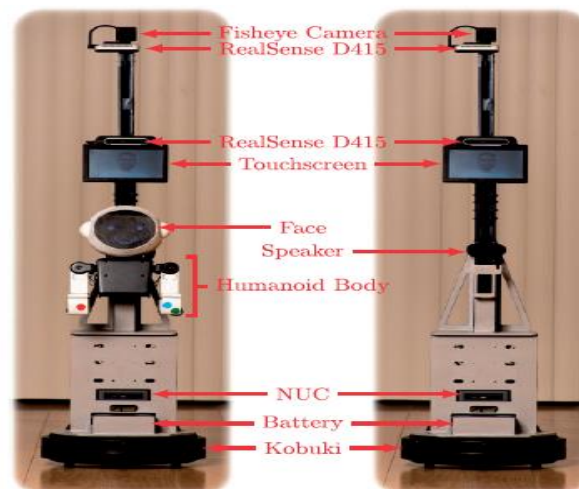
Figura 6 – Robô com controle de velocidade



Fonte: Batmaz *et al.* (2020)

No estudo de Sobrepera *et al.* (2021) também é realizado o desenvolvimento de um protótipo de robô de telepresença voltado para a área da saúde pediátrica, construído usando motores de um XYZ com a carcaça ao redor dos motores projetada para um aspecto mais esteticamente agradável, para produzir um sistema para teste, as peças foram impressas 3D em um material semelhante ao ABS e o sistema de motores é controlado por software personalizado, combinado a um sistema operacional do robô (ROS). A interface funciona através de uma conexão serial a um microcontrolador que executa as operações em tempo real para interpolar os motores sobre os movimentos, o exemplo do robô denominado *Lil'Flo* demonstrado na figura 7.

Figura 7 – Robô *Lil'flo*



Fonte: Sobrepera *et al.* (2021)

O desenvolvimento desse tipo de robô também é abordado no trabalho de Koceska *et al.* (2019) que faz uma abordagem também para a telemedicina e conta com a estrutura de cabeça, corpo, braço e base do robô onde a base possui rodas e duas baterias (Li-ion) com 20 Ah são destinadas a alimentar o sistema do robô, a base do robô também possui dois atuadores lineares que são posicionados verticalmente para imitar o corpo do robô, o robô é equipado com um braço cinemático serial de seis eixos, um sensor de ultrassom e uma câmera web são colocados nas proximidades da garra e a cabeça é representada por um tablet.

Um ponto importante de todas as aplicações é levar em conta o Design mais favorável para essa interação em um ecossistema humano, conforme Bradwell *et al.* (2021), em seu estudo de observação das interações de tipos de robôs com humanos, onde os resultados apontaram maior relevância para o uso de estéticas suaves e amigáveis, em vez de estéticas "robóticas", impulsionando a utilização de características antropomórficas ou biomórficas para aumentar a presença social.

É possível verificar diversas aplicações e estudos na área de desenvolvimento de robôs de telepresença, porém mais voltado para estudos motores e específicos, sem mencionar ferramentas que tratam profundamente o desenvolvimento de produto.

2.3 CONCEITOS DE DFMA

O *Design for eXcellence* - DfX, que se trata de uma abordagem para projetar produtos e processos que visa otimizar custos e aumentar a qualidade em todo o ciclo de vida de um produto. Com o contexto de que é necessário gerenciar um grande número de diferentes requisitos e especificações, com alta complexidade no desenvolvimento de produtos, é importante relacioná-los com todas as fases associadas a seu ciclo de vida, como, fabricação, montagem, manutenção, descarte, etc. para isso o DfX é empregado. Utilizando as filosofias DfX/DFA/DFM combinadas a soluções integradas CAD/CAM é possível analisar o design e montagens com o objetivo de identificar e corrigir problemas na fase de projeto, levando à redução do tempo de projeto e os custos de desenvolvimento do produto pois as correções são feitas nos estágios iniciais do projeto, quando as revisões são menos demoradas e mais fáceis de fazer (Atilano *et al.*, 2019; Pita *et al.*, 2019; Roxas *et al.*, 2023).

O trabalho de Benabdellah *et al.* (2020) também salienta sobre a importância de DfX no desenvolvimento de produtos, onde fator X pode representar: (1) uma determinada propriedade, como custo, qualidade, prazo de entrega, eficiência, segurança, risco ou efeitos ambientais; ou (2) um estágio do ciclo de vida do produto, como fabricação, montagem,

distribuição, manutenção e desmontagem. O Quadro abaixo fornece uma visão geral da compreensão de como a técnica é aplicada e os diferentes objetivos.

Quadro 2 – Tipos de *DfX*

Design para	Abreviação	Resultados de desempenho propostos	Escopo	Foco
Montagem	DFA	Melhoria da eficiência do produto e da eficiência do manuseio e inserção de partes; Reduz custos e tempo de produção para o mercado	Produto	Interno
Fabricação	DFM	Reduz custos gerais de produção; aumenta eficiência de fábrica, eficiência da produção, qualidade, flexibilidade, confiabilidade e inovação	-	Interno
Fabricação e montagem	DFMA	Aborda os resultados de desempenho do DFA e do DFM	-	Ambos
Variedade	DFV	Reduz o tempo para o mercado e as barreiras à inovação; aumentou padronização de produtos	-	Interno
Six-Sigma	DFSS	Reduz defeitos na produção, manutenibilidade e confiabilidade; melhora a eficiência do produto	-	Ambos
Segurança	DFS	Aumenta a segurança do produto e das pessoas; reduz eventos perigosos; melhora a segurança e proteção do produto	-	Interno
Testabilidade	DFTest	Aumenta a cobertura de teste; melhora índice de falhas e confiabilidade; aumenta controle e observação.	-	Interno
Maintainabilidade	DFMt	Reduz o tempo médio de reparo; redução do tempo de <i>paradas</i> ; redução de custos.	-	Interno
Robustez	DFRb	Reduz a variação do produto; redução dos custos de produção.	-	Interno
Modos de falha	DFMEA	Reduz os custos de desenvolvimento, produção e garantia; fornece informações críticas para a identificação dos potenciais modos de falha classificados para o cliente.	-	Interno
Suportabilidade	DFSp	Reduz os custos de suporte ao produto; aumento da eficiência do suporte; vantagem competitiva através de um suporte que diferencia o produto; aumento da receita.	-	Interno
Flexibilidade	DFF	Aumenta a capacidade de resposta às mudanças; aumento da capacidade de adicionar variedade de forma eficiente; aumento da satisfação do cliente.	-	Ambos

Modularidade	DFMod	Reduz os custos de produção, tempo e custos de montagem, tempo de design e custo de inventário; aumento da flexibilidade e variedade do produto; melhoria da manutenibilidade.	-	Interno
Miniaturização	DFMin	Reduz o tempo e os custos de montagem; reduz os custos de inventário e de produção; aumenta a vida útil do produto.	-	Interno
Cadeia de Suprimentos	DFSC	Aborda os resultados de desempenho do design para logística e do design para logística reversa.	-	Externo
Logística	DFL	Reduz os custos de embalagem e transporte; reduz danos durante o trânsito e armazenamento; reduz os tempos de entrega logística.	-	Externo
Estoque e distribuição	DFSandT	Reduz o custo de bens e serviços; cria maiores economias de escala; melhora a manutenibilidade, reduzindo os custos; melhora o tempo de lançamento no mercado.	-	Ambos
Customização em massa	DFMac	Aumenta a satisfação do cliente; margem de lucro aumentada; variedade e flexibilidade do produto aumentadas; tempo de resposta reduzido.	-	Externo
Logística reversa	DFRL	Aumenta as taxas de recuperação do produto; redução de custos; aumento de receita; redução de devoluções.	-	Externo
Aquisição	DFP	Reduz os custos de aquisição e produção; aumenta a qualidade dos insumos e do produto; padronização dos materiais; melhoria do desempenho baseado em tempo.	-	Externo
Qualidade	DFQ	Reduz defeitos na produção e custos; aumenta a vida útil do produto e a satisfação do cliente; melhora a eficiência do suporte ao produto, manutenibilidade, etc.	-	Interno
Ciclo de vida	DFLC	Reduz os custos gerais do produto, sistema e recursos.	-	Interno
Custo	DFC	Reduz os custos gerais do produto, sistema e recursos.	-	Interno
Eficiência de um produto ser mantido	DFSv	Aumenta a disponibilidade de produtos; melhora a personalização do produto e serviços; reduz o custo de propriedade.	Produto	Interno
Reciclar	DFR	Aumenta a porcentagem de reciclabilidade; aumenta os insumos reciclados e recicláveis e a	-	Interno

		eficiência de reciclagem; reduz o consumo de matérias-primas.		
Reutilização	DFRu	Aumenta o aproveitamento de componentes; reduz os custos, energia e consumo de matérias-primas.	-	Interno
Fim de vida	DFEOL	Reduz a destruição de componentes; aumenta o rendimento de desmontagem; considera os resultados de desempenho do DFR (<i>Design for Repair</i>), DFRu (<i>Design for reuse</i>) e DFRem (<i>Design for Remanufacturing</i>).	-	Externo
Remanufatura	DFRem	Produtos vendidos com maiores lucros; redução de custos, consumo de matérias-primas e energia.	-	Interno
Confiabilidade	DFReL	Aumenta o tempo médio entre falhas; aumento da receita devido à diferenciação do produto.	-	Interno
Sustentabilidade	DFSt	Reduz o impacto ambiental.	-	Externo
Meio ambiente	DFE	Reduz o impacto ambiental.	-	Externo
Redução de riscos crônicos	DFCRR	Reduz a exposição de materiais perigosos aos seres humanos; reduz as emissões perigosas e a poluição de outros materiais perigosos.	-	Externo
Conservação de energia	DFEC	Reduz o custo e o consumo de energia; aumenta os lucros por meio de produtos diferenciados e energeticamente eficientes.	-	Externo
Conservação de material	DFMC	Reduz o custo e os requisitos de embalagem; reduz o consumo de matérias-primas; aumenta o rendimento.	-	Externo
Recuperação e minimização de perdas	DFWMR	Reduz os custos e o consumo de matérias-primas; reduz o desperdício na produção e componentes não recicláveis.	-	Externo
Desmontagem	DFD	Reduz o tempo médio de reparo; reduz os custos de desmontagem; reduz o consumo de matérias-primas.	-	Interno
Embalagem	DFPk	Reduz os custos de embalagem; reduz a destruição de componentes; aumenta a confiança do cliente.	-	Interno
Responsabilidade Social	DFSR	Aumenta as taxas de retenção de trabalhadores; aumenta o valor para a sociedade; mudanças no comportamento da sociedade/usuário.	Sistema	Externo

Fonte: Adaptado de Benabdellah *et al.* (2020).

Com o intuito de exemplificar os itens da tabela anterior, com exceção de DFMA, DFA e DFM, que possuem diversas menções no decorrer do estudo, faz-se necessário incluir contextos de aplicação e/ou a literatura existente para cada um deles. Para o DFV, no trabalho

de Boer *et al.* (2019) é feita uma análise quanto a esse tópico, implicando que DFV está relacionado com custo/velocidade, qualidade, confiabilidade, flexibilidade e desempenho; DFV está relacionado com integração interna, de fornecedores e de clientes e exceto pelo papel da integração de clientes na relação entre DFV e desempenho de custo/velocidade, todas as três formas de integração (integração interna, de fornecedores e de clientes) medeiam parcialmente a relação entre DFV e custo/velocidade, qualidade, entrega, flexibilidade e desempenho.

Com DFSS, no trabalho de Frizziero *et al.* (2019) é possível verificar a validação de sua aplicação por meio da aplicação de um estudo de caso de design de uma motocicleta de baixo impacto ambiental, que é um veículo de propulsão elétrica inovador. Já para DFS, Che Ibrahim *et al.* (2022) faz uma revisão de literatura voltada para a área de construção com intuito de destacar as tendências para o futuro e os principais temas associados a esse tópico. No estudo de Lylina *et al.* (2022) o DFT é utilizado para melhorar a testabilidade de partes específicas de RSNs (Redes de Varredura Reconfiguráveis), descrevendo as alterações no design que suportam uma aplicação e padronização de testes mais eficiente, com maior cobertura de falhas.

O DFMt está muito relacionado com o âmbito da manutenção e podemos verificar em Adjoul *et al.* (2021) que tem como objetivo apresentar um novo modelo de Design para Manutenção (DFM) que auxilia os projetistas na etapa de escolha das soluções técnicas para produtos industriais de grande escala através de um algoritmo híbrido de dois níveis para otimização simultânea (projeto e manutenção), utilizando algoritmos genéticos. Com o DFRb, são amplos os cenários de aplicação, um dos campos pode ser descrito em Kiakojoury *et al.* (2023), onde é aplicado na área de pesquisa inspirada na natureza e sua aplicação na engenharia civil e estrutural voltada para a forma, o formato e o material inspirados na natureza, não para a filosofia do projeto estrutural, o estudo demonstra algumas estratégias de projeto bi inspiradas inovadoras para garantir a robustez de estruturas civis e infraestruturas.

No estudo de Nilson (2023) o DFMEA é analisado para comparar suas abordagens, baseado em modelo e baseado em processo, demonstrando o extenso campo de pesquisa em torno dessa metodologia que tem como intuito um produto de qualidade muito mais alta, elencado de forma preventiva as falhas no nível de componente até a perda de função no nível do sistema. Para DFSp, temos o trabalho de Crooks (2020) que utiliza a abordagem de colaboração multidisciplinar para identificar e corrigir decisões de design desafiadoras ou errôneas no início do processo de design e resultaram na capacidade da equipe de reduzir o tempo de resposta em estudos de trocas comerciais, aumentar a conscientização sobre oportunidades de redução de riscos e evitar custos com possíveis alterações de design e seus impactos na fase geral de sustentação.

Em se tratando de DFF, Ali *et al.* (2022) enfatiza ainda, fazendo uma aplicação em contexto químico, que o índice de flexibilidade pode orientar de forma eficaz o design de processos para garantir a viabilidade em aplicações práticas. Com a utilização da modularidade, que se refere à divisão de um sistema em partes menores, o DFMod demonstrado por Gravina da Rocha *et al.* (2020) examina os fundamentos básicos da modularidade de produtos e como esses fundamentos podem ser adaptados à construção e suas especificidades (por exemplo, produtos únicos entregues por cadeias de suprimentos temporárias) para criar um modelo de design de edifícios de forma modular.

Com o DFMin é possível reduzir o tamanho de elementos para otimização de projeto, como em Duca *et al.* (2019) onde apresenta-se uma metodologia desenvolvida e aplicada na etapa de modelagem de elementos finitos (FEM) para apoiar a caracterização virtual de dispositivos durante a miniaturização de uma embalagem de sensores MEMS (*Microelectromechanical Systems*) na fase de design. No DFSC, o estudo de Paudyal *et al.* (2021) trata de uma revisão qualitativa da integração da cadeia de suprimentos no processo de design com um modelo quantitativo das diferenças entre dois tipos diferentes de design: um dos tipos de design aborda uma situação em que a cadeia de suprimentos não está integrada ao processo de design, enquanto o outro tipo de design aborda uma situação em que a cadeia de suprimentos é integrada ao processo de design.

Os DFL, DFRL, DFCL, DFEOL, DFR, DFRu, DFRem, DFSt, DFE, DFMC e DFWMR, e DFCRR podem ser agrupados pois tratam de um tópico central semelhante, o meio ambiente e reutilização. Na questão de logística e logística reversa (DFL e DFRL) temos trabalhos voltados à forma de distribuição de itens para um produto e como esses itens são retornados, é destacado ainda que o fechamento do ciclo da cadeia de suprimentos por meio da logística reversa é relevante e que existem diversos mercados secundários nos quais as empresas podem liquidar equipamentos recuperados, usados e testados como funcionais e com preços razoáveis (Khor, Ramayah e Reza Panjeh Fouladgaran, 2020).

No que diz respeito ao ciclo de vida e fim do ciclo de vida (DFCL e DFEOL), também é tratado questões como ecodesign e reciclagem, como é demonstrado no trabalho de Diakun *et al.* (2020) onde é proposto uma ferramenta de análise para o ciclo de vida com supervisão contínua (online) dos parâmetros de reciclagem, suporte à comparação online de várias versões do produto, prompts e sugestões automatizados com o objetivo de melhorar os parâmetros de reciclagem, ausência de necessidade de implementação manual de dados, análise com base em dados adquiridos de várias fontes.

No que se diz respeito a DFR, DFRu, DFRem, é possível encontrar trabalhos voltados a: propostas de uma metodologia de design para reciclagem que permite identificar as características do produto que têm menor desempenho (em relação à reciclagem) e propõe diretrizes de design mais precisas para melhorá-las; estudo de como a economia circular depende muito do design logo nas primeiras etapas do ciclo de vida do produto, por exemplo, o design para desmontagem de componentes e a segregação de materiais diferentes para facilitar a substituição de componentes com defeito e aumentar as possibilidades de reciclagem; investigação do efeito do design original do produto na recuperação e reutilização de produtos compostos como por exemplo utilizando as pás de turbinas eólicas como material de estudo de caso para reutilizar como meio de formação para uma mesa de piquenique (Joustra, Flipsen e Balkenende, 2021; Leal et al., 2020; Shahbazi, Johansen e Sundin, 2021).

Para questões gerais de sustentabilidade (DFSt, DFE, DFMC, DFWMR e DFCRR), tem-se trabalhos com questões levantadas quanto à mudança da gestão ambiental corporativa que trouxe seu foco de tecnologia renovável e redução de emissões que afetem o meio ambiente e a saúde das pessoas. São desenvolvidos modelos de gestão do conhecimento baseado em ontologia para fornecer um vocabulário formal e compartilhado para o domínio do desenvolvimento de produtos, bem como o uso de um modelo colaborativo e integrado para projetar produtos considerando diferentes questões ambientais e também demonstradas revisões que implicam que abrangem o amplo espectro do desenvolvimento de produtos de biocompósitos envolvendo o design de técnicas sustentáveis e outras técnicas de engenharia simultâneas (ASYRAF et al., 2022; BENABDELLAH et al., 2021).

Para DFSandT é possível encontrar trabalhos como de Saderová (2018) onde recursos para design impactam o armazenamento do setor de almoxarifado e a distribuição dos materiais que geram menos perdas por falta de abastecimento e podem ser otimizados para melhor aproveitamento de espaço.

Com o DFMac, é possível exemplificar a aplicação com trabalhos como o de Nicolantonio *et al.* (2020), que explora o papel da impressão 3D para produtos de joalheria personalizáveis para produção em massa, enfatizando o design como meio para relembrar o artesanato contemporâneo, no qual cada peça expressa sua própria beleza através de uma singularidade, destacando o conceito de customização.

Para o DFP, Barbosa *et al.* (2021) estuda o impacto de longo prazo da discriminação de aquisições na estrutura de mercado e na competição futura em setores nos quais o aprendizado por meio da prática torna as empresas mais eficientes ao longo do tempo, em sua investigação considera um modelo de dois períodos de design de aquisição no qual dois tipos de empresas

competem pela prestação de bens públicos: empresas locais e globais, demonstrando a análise que existe nesse campo.

Com o DFQ, Saleh *et al.* (2019) elenca 4 aspectos relevantes para o Design para Qualidade: Estética, Ergonomia, Cor e Segurança e esses requisitos de design são vistos como de alta importância para realizar o desenvolvimento de produtos de qualidade desde o início, com a ideia inicial atrelada à produção de um design de produto de qualidade.

Lee *et al.* (2019) trabalha com o DFC onde foi proposto um método para estimar os custos de componentes para a fabricação, enfatizando que o processo de estimativa para um componente pode servir como parâmetro identificado nos elementos de custo a serem usados para ajustar o design e negociar com fornecedores.

Para DFSv, Gobbo Junior *et al.* (2021) propuseram uma solução de um método de levantamento dos requisitos para alimentação de um banco de dados, criação de diagramas e monitoramento dentro do sistema CAD por meio de ferramentas adicionais desenvolvidas para preservar o espaço necessário para o uso das ferramentas necessárias para o serviço, podendo ser uma alternativa para os designers orientarem seus projetos para a facilidade de serviço.

Com o DFReL, Ahn *et al.* (2019) traz o estudo no campo de problemas térmicos que são estimados na fase de design para atingir a meta de confiabilidade para aplicações de alta potência e devem ser considerados para atender às metas de aplicação automotiva.

Para o DFEC, Prabhuram *et al.* (2019) sugere uma ideia para projetar uma chaminé de fundição para um subproduto de formato desejado durante a solidificação, de modo que a energia gasta ao fundir novamente esses componentes seja reduzida, pelo método de moldagem em areia verde, o resultado é alcançado com uma redução de 23,54%.

Escoto *et al.* (2020) utilizam o DFD em um estudo de caso para o redesign de uma carreta elevatória tipo tesoura de carregamento onde reduziu-se as partes de 17 para 12, os componentes de 75 para 40 e o tempo de desmontagem de 250 para 130, levando em consideração a seleção de materiais, fixadores e conexões e Estrutura do produto e design de componentes.

O DFpk é trabalho no estudo de Schlemmer *et al.* (2016) onde é feito um redesign de embalagem de uma empresa de móveis de madeira e se propôs analisar e desenvolver através do reaproveitamento de embalagem, o redesign dos produtos impressos nas caixas de papelão.

Por fim, o trabalho relacionado ao último DfX apresentado, DFSR que é tratado no estudo de Kooling *et al.* (2022) onde são identificados os impulsionadores, as barreiras e as boas práticas sustentáveis existentes na indústria de cosméticos sob a perspectiva da Responsabilidade Social Corporativa (RSC), fazendo a relação das descobertas com a etapa do

ciclo de vida dos cosméticos e apresentando uma análise da incorporação dos princípios do Design para a Sustentabilidade (DfS) nessa indústria.

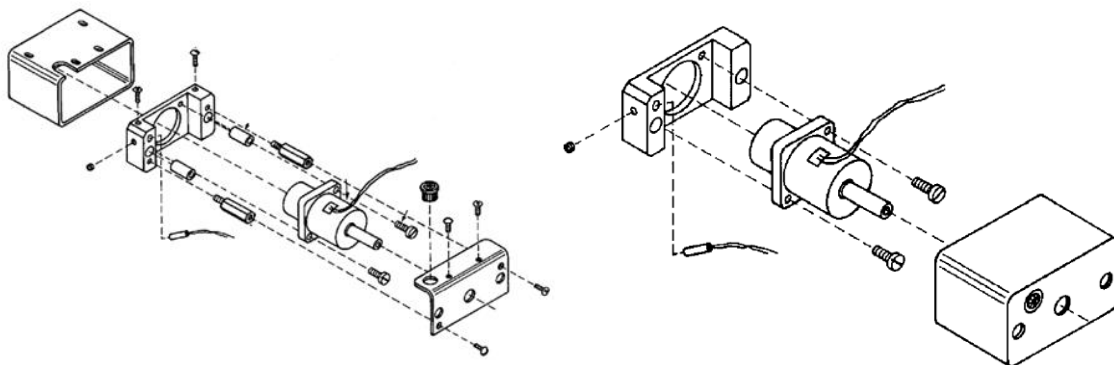
Para este trabalho, é importante compreender os aspectos e aplicações dos DfX, principalmente do DFMA e as técnicas que o rodeiam para embasar a aplicação realizada no que diz respeito a conceitos, guias, procedimentos utilizados e trabalhos já existentes sobre o tema.

Conforme é visto no trabalho de Boothroyd *et al.* (2002), o design é o primeiro passo da fabricação de um produto, é a etapa onde são feitos rascunhos dos desenhos de peças e partes para maior detalhamento em folhas de desenho e CAD (*Computer Aided Design*) e após isso, esse detalhamento é passado aos engenheiros de manufatura e montagem, que por necessidade podem solicitar alterações de design por problemas na etapa de montagem, fazendo com que atrase e encareça o projeto. Para auxiliar nesse processo, existe a metodologia DFMA que busca guiar o projeto de design de produtos e possui critérios a serem examinados, estes estão listados abaixo:

- Durante o funcionamento do produto, a peça se move em relação a todas as outras já montadas? Apenas movimentos grosseiros devem ser considerados, pequenos movimentos podem ser acomodados por elementos elásticos integrais.
- A peça deve ser de um material diferente de outras as outras peças já montadas ou deve ser diferente? Somente razões relacionadas às propriedades dos materiais são aceitáveis.
- A peça deve ser separada de todas as outras peças já montadas porque a montagem ou desmontagem de outras peças seria impossível?

Podemos ver a aplicação desses critérios claramente nos exemplos ilustrativos das figuras abaixo:

Figura 8 – Design inicial de um motor e Redesign aplicando o DFMA.

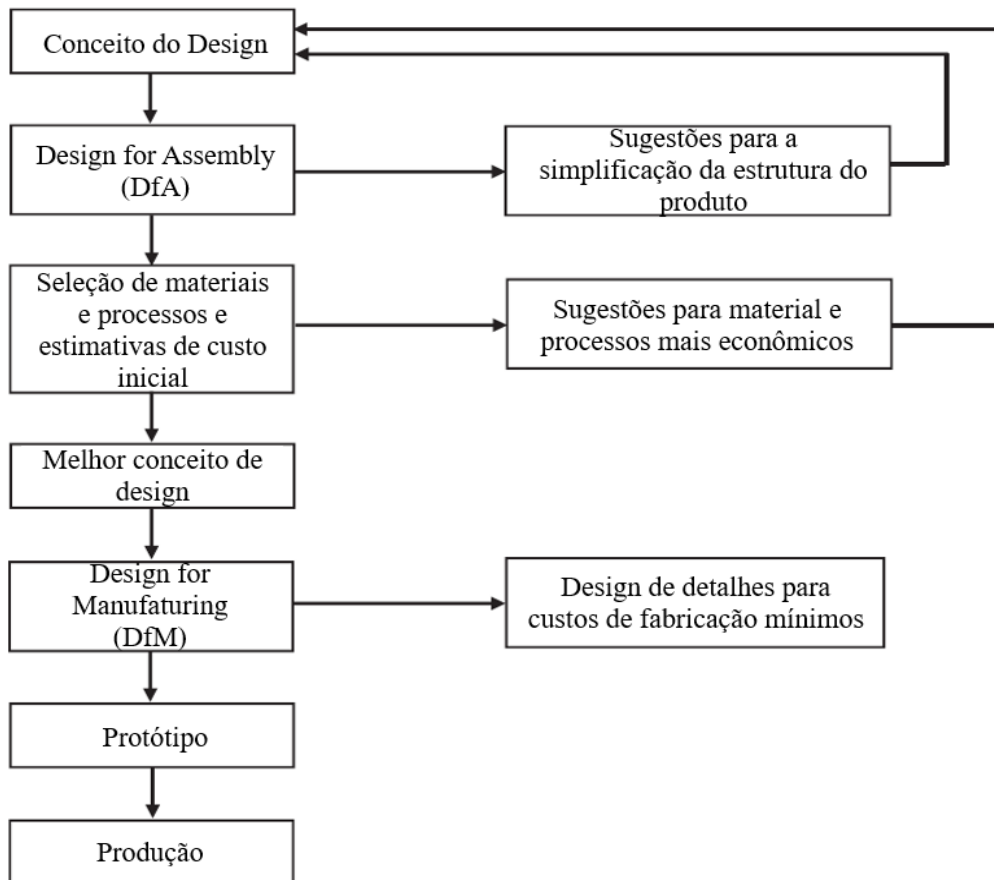


Fonte: Adaptado de Boothroyd *et al.* (2002).

No trabalho de Tan *et al.* (2020) podemos checar o histórico dessa metodologia, conforme os autores, o DfMA teve origem nos processos de produção de armas desenvolvidos pela Ford e Chrysler durante a Segunda Guerra Mundial. De uma forma mais formal, começou-se a citar DfM - *Design for Manufacturing* e DfA - *Design for Assembly*, que se trata da combinação que integra o DfMA, no final dos anos 1960. Além disso, os autores citam que desde a adoção na manufatura, o DfMA ajudou muitas empresas a aumentarem seus lucros por meio de *design* otimizado com direcionamentos concretos para ajudar os designers a reduzir as dificuldades na fabricação e montagem de um produto.

Gao *et al.* (2020) enfatiza que existe uma sequência de passos para a aplicação da metodologia, o DfA deve ser considerado primeiramente, levando a uma simplificação da estrutura do produto. Após isso, temos a seleção de materiais e processos com estimativas de custos iniciais. Com os materiais escolhidos, uma análise de DfM é auxiliada com orientações para padronização, projeto e montagem de componentes para reduzir o custo total de fabricação. Esses passos podem ser visualizados na figura abaixo.

Figura 9 – Passos do procedimento de aplicação do DFMA.



Fonte: Adaptado de Boothroyd (2005).

Considerando todas as implicações para criar guias de direcionamentos para aplicação da metodologia, Lu *et al.* (2021) demonstra uma tabela com guias gerais com 13 aspectos que rodeiam a metodologia e podem servir como embasamento para critérios, encorajando a aplicação, podemos verificar todos esses pontos apresentados na tabela abaixo.

Quadro 3 – Guias gerais de aplicação do DFMA.

Item	Guias	Benefícios
1	Design à prova de erros	Evita retrabalho desnecessário, melhora a qualidade e reduz tempo e custos
2	Design para facilitar fabricação	Reduz tempo e custos eliminando partes e ferramentas complexas
3	Design para manuseio e orientação de partes simples	Reduz tempo e custos evitando adição de manuseio sem valor agregado
4	Design com técnicas de montagem pré-determinadas	Reduz tempo e custos na montagem
5	Considerar design modular	Reduz tempo e custos simplificando o design e a montagem
6	Considerar design para montagem mecânica/automatizada	Melhora a eficiência da montagem, qualidade e segurança
7	Usar componentes padrões e de prateleira	Reduz tempo de compra e custos
8	Usar os materiais mais similares possível	Reduz tempo com menos processos de fabricação e simplifica junção
9	Usar materiais mais sustentáveis possível	Reduz danos ao meio ambiente
10	Minimizar componentes pré-moldados	Reduz tempo e custos com design simplificado, fabricação e montagem
11	Minimizar conectores	Reduz tempo e custos com design simplificado, fabricação, montagem, reparo e manutenção
12	Minimizar o uso de partes frágeis	Reduz custos com menos partes com falha, mais fácil de manusear e montar
13	Não especificar estritamente as tolerâncias ou acabamento de superfície	Reduz custos e facilita a fabricação

Fonte: Lu *et al.* (2021).

No estudo de Alfaify *et al.* (2020) podemos verificar também os benefícios de aplicação do DFMA com outras metodologias, especificamente com a Manufatura Aditiva (MA), onde os autores estabelecem que a combinação tem como objetivo: fornecer ferramentas, técnicas e diretrizes para adaptar o projeto com um determinado conjunto de restrições de fabricação final; medir e compreender o impacto do processo de design no sistema de manufatura para melhorar a qualidade do produto; e determinar a relação entre projeto e fabricação e sua impacto sobre

designers e práticas. Deka *et al.* (2019) também destaca que a manufatura aditiva pode desempenhar um papel importante para o DFMA no que se diz respeito a aumento de produtividade e produzir peças complexas com funcionalidades mecânicas desejadas. No âmbito nacional, destaca-se também o trabalho de Batalha(2012), que trata tanto dessa abordagem quanto do DFX. Outro trabalho que também trata do assunto é o de Haruna *et al.* (2020) que afirma que metodologia de design convencional DTM - *Design Theory and Methodology* em termos de design para fabricação (DFM), design para montagem (DFA) e design para desempenho (DFP) não está não está qualificado para abraçar essas novas oportunidades, o que intensifica a necessidade de da utilização da MA para obter um design otimizado.

2.4 DESIGN THINKING APLICADO À ENGENHARIA DE PRODUTO

O *Design Thinking* – DT pode ser definido como uma metodologia que permeia todo o espectro de das atividades associada à inovação com um foco no ser humano, ou seja, a inovação é criada com base na observação ou contato com humanos para descobrir o que buscam em suas vidas e o que eles gostam no âmbito de desenvolvimento de produtos e a forma com que são embalados, comercializado e vendidos. A metodologia está amplamente ligada a forma de designers trabalharem, enfatizando aspectos cognitivos desse processo. Apesar de se ter que a metodologia existia empiricamente há décadas, acredita-se ter sido creditada por Peter Rowe em 1987 no livro *Design Thinking* e o trabalho de consultoria de design da IDEO e a Escola de Design da Universidade de Stanford. (Brown e Green, 2018; Brown, 2008).

Apesar de ter várias citações por designers da década de 90, a responsabilidade por popularizar o termo “*Design Thinking*” pode ser dada a Tom Brown que o demonstra como uma forma de integrar as necessidades do cliente em um processo iterativo de rápido desenvolvimento de múltiplas soluções com interações e feedbacks. Dessa forma, a DT tem sido aplicada em diferentes setores, no empresarial, busca inovar e trazer soluções de uma forma mais ágil ao mercado; em organizações sociais e de saúde, utilizam para desenvolver empatia com os clientes e criar soluções de forma colaborativa; no setor industrial, buscam entender profundamente as necessidades dos clientes, a fim de desenvolver soluções ágeis visando sua experiência (Lermen et al., 2023)

Sobre o processo envolvido na aplicação da metodologia, diversos autores demonstram o que seriam os estágios de aplicação. Rösch *et al.* (2023) traz uma sumarização de algumas estruturas do processo de *Design Thinking* na literatura, demonstradas no quadro abaixo, que

apesar de ter números de estágios diferentes, tratam de apenas subdivisões daquelas que possuem menor quantidade de estágios.

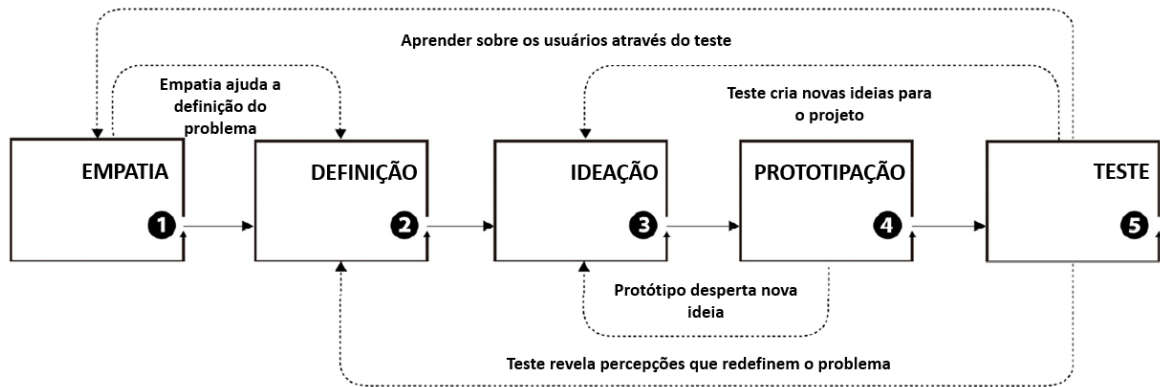
Quadro 4 – Estágios do processo de *Design Thinking*.

Autores	Estágios do processo					
Beckman and Barry (2007)	Observação e Percepção	Formulação e Reformulação	Imaginação e Design	Realização e experimento		
Beverland <i>et al.</i> (2015)	Desestabilização	Definição e Desenvolvimento	Transformação			
Brown (2008)	Inspiração	Ideação	Implementação			
Glen <i>et al.</i> (2015)	Identificar problema	Observação	Visualização	Ideação	Prototipagem e teste	Viabilidade de teste
Da Silva <i>et al.</i> (2020)	Entender	Observar	Definir	Idealizar	Prototipagem	Teste
Shapira <i>et al.</i> (2017)	Descobrir	Interpretação	Ideação	Experimentação	Evolução	
Liedtka (2015)	Coleta de dados	Geração da ideia	Teste			

Fonte: Adaptado de Rösch *et al.* (2023).

Apesar da gama de opções que se tem de etapas de *Design Thinking* a serem utilizadas, pode-se dizer que a possui a maior influência é a proposta pela Universidade de Stanford e a empresa IDEO, demonstrada na figura abaixo:

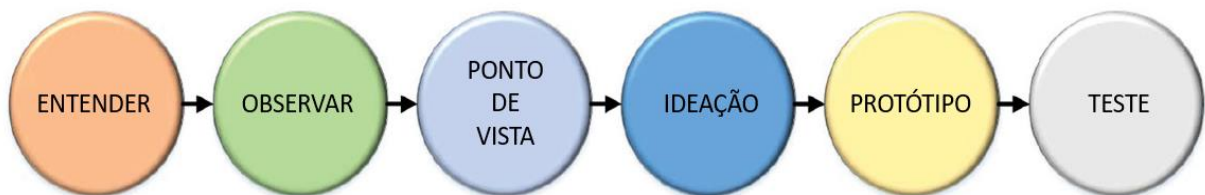
Figura 10 – Etapas do *Design Thinking* - Universidade de Stanford.



Fonte: Adaptado de Liu *et al.* (2023).

Outro modelo que vêm sendo amplamente utilizado é demonstrado no trabalho de Wang *et al.* (2023), conceituando-se de forma bem semelhante ao representado anteriormente, porém, constituído de 6 etapas, e geralmente é estabelecido com o utilizado em desenvolvimento de novos produtos, representado na figura abaixo.

Figura 11 – Procedimento de *Design Thinking* para desenvolvimento de novos produtos.



Fonte: Adaptado de Wang *et al.* (2023).

Lermen *et al.* (2023) destaca que o processo se inicia com a necessidade de compreender profundamente a problemática em questão, o que se consegue mediante a condução de pesquisa exhaustiva e a realização de entrevistas. Subsequentemente, procede-se à etapa de coleta de percepções, na qual se mergulha no universo do cliente. Para atingir tal objetivo, empregam-se diversas ferramentas, tais como métodos etnográficos, auto documentação e a elaboração de mapas da jornada do cliente.

Uma vez em posse dos dados obtidos, procede-se à definição de perspectivas que possam guiar a formulação de soluções. Nesta fase, empregam-se técnicas criativas, como *brainstorming*, *brainwriting* e cocriação, a fim de estimular a geração de ideias. Essas técnicas são habilmente combinadas e integradas, culminando na quarta etapa, que é a fase de ideação, na qual as ideias mais promissoras emergem. Posteriormente, recorre-se à criação de protótipos para conferir forma tangível às soluções, possibilitando a realização de testes de hipóteses de maneira eficaz. Por fim, a interação do cliente com os protótipos desempenha um papel crucial

na obtenção de feedback valioso sobre como eles reagem à solução desenvolvida. Esse feedback é essencial para orientar melhorias contínuas, garantindo que as necessidades do cliente sejam atendidas de maneira eficiente.

Os benefícios de utilizar o DT em desenvolvimento de novos produtos são inúmeros, como efeito positivo na geração de ideias, técnicas de prototipagem mais robustas e a redução de vieses cognitivos que prejudicam a geração de ideias. Apesar das vantagens, apresenta também barreiras em questão tanto de ser visto como um *mindset* ao invés de uma abordagem de passo a passo quanto em relação a sua aplicação: barreira da conformidade (simplificando, a incapacidade de olhar além do que funcionou no passado), a barreira de mentalidade (falta de consciência, abertura ou necessidade de novos conhecimentos e formas de trabalhar), a barreira de risco (clima avesso ao risco e, portanto, relutância em experimentar algo novo), a barreira nascente (falta de criatividade ou visão de mercado e previsão) e a barreira de infraestrutura (falta de infraestrutura relevante/separação das operações diárias) (Eisenbart *et al.*, 2022; Paula, De, Cormican e Dobrigkeit, 2022).

Apesar das barreiras destacadas, existem diversos trabalhos utilizando a metodologia para o desenvolvimento de novos produtos como o de Chatpun *et al.* (2022) onde a DT foi utilizada para a criação de um dispositivo para endoscopia sem fio, utilizando 5 etapas para o desenvolvimento. Na etapa de empatia, realizou entrevistas com médicos e enfermeiras, identificando que as dores consistiam em a necessidade de um espaço grande e uma configuração sofisticada, a utilização de dispositivos separados, a presença de cabos inconvenientes e um custo elevado; na segunda etapa de definição, definiram que trabalhariam nas dores levantadas; na terceira etapa de ideação, realizaram brainstorm, realizando desenhos de rascunhos para a solução; na fase de prototipagem, utilizaram uma unidade de captação de imagem, a carcaça dessa unidade feita com impressão 3D, bateria compacta e lâmpada LED; por fim, na fase de testes, realizaram a aplicação do protótipo e ajustaram de acordo com os feedbacks, abaixo é demonstrado o resultado do trabalho.

Figura 12 – Aplicação de DT em dispositivo de endoscopia.
(a) Protótipo 1ª geração. (b) Protótipo 2ª geração. (c) Protótipo final.

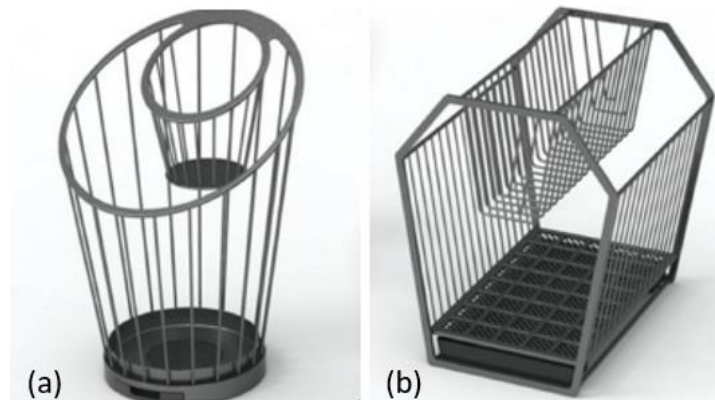


Fonte: Chatpun *et al.* (2022).

Já no trabalho de Gao *et al.* (2021) o DT é aplicado para desenvolver um porta guarda-chuvas, estudando os aspectos dos produtos desenvolvidos no mercado e adequando as características para a necessidade e valor visto pelos usuários, como resultado, temos os designs demonstrado na figura abaixo:

Figura 13 – Designs de porta guarda-chuva.

(a) Design 1. (b) Design 2.

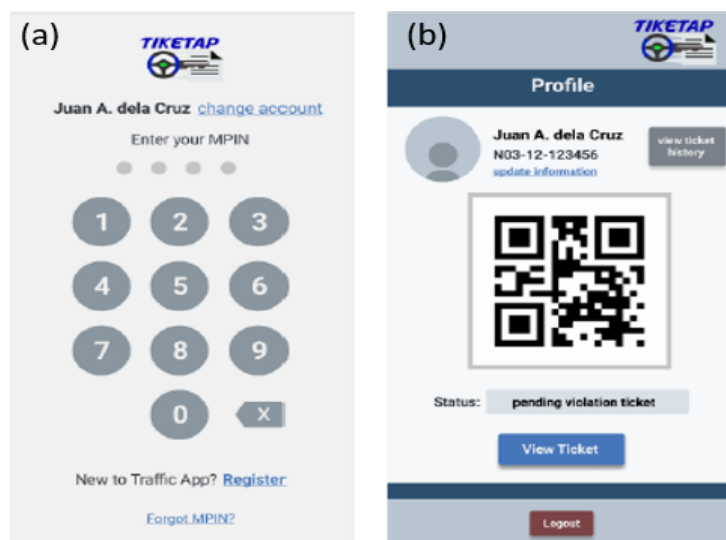


Fonte: Gao *et al.* (2021).

Outro exemplo de aplicação, seria o desenvolvimento de um aplicativo para multas de trânsito em Baldoz *et al.* (2021), onde foram feitas entrevistas com usuários e agentes de trânsito, criação de personas com mapa de empatia e levantamento de dores para a aplicação da solução, como resultado obteve-se um aplicativo com QR Code que facilitava a agilidade do atendimento e processo relacionado a multas de trânsito, conforme interface demonstrada abaixo.

Figura 14 – Interface aplicativo criado com DT.

(a) Tela de entrada. (b) Tela com QR Code.



Fonte: Baldoz *et al.* (2021).

2.5 TECNOLOGIAS DE MANUFATURA ADITIVA

Há uma necessidade otimização das plataformas robóticas existentes e descoberta de novos métodos para criar e aplicar instrumentos de robóticas inovadores, como garras, mecanismos novos, etc. Recentemente, as tecnologias de *Additive Manufacturing* (AM) têm sido bastante recorridas no meio da robótica e biomedicina pela viabilidade de: empregar materiais flexíveis, criar estruturas complexas facilmente, usar mais materiais no mesmo ciclo de fabricação e fabricar estruturas inteligentes (Kladovasilakis *et al.*, 2022; Stano *et al.*, 2023).

Conforme a Alfattni (2022), em 1986, Charles Hull apresentou o conceito de Manufatura Aditiva também conhecida como Impressão 3D, que se trata de agrupamento de técnicas avançadas de fabricação que produz itens físicos tridimensionais a partir de um modelo CAD 3D, utilizando um processo aditivo de impressão linha por linha, ponto por ponto ou camada por camada. Em seu trabalho, o autor também demonstra de maneira bem assertiva os tipos de manufatura aditiva que são distinguidos conforme figura abaixo.

Figura 15 - Tipos de Manufatura Aditiva.



Fonte: Adaptado de (Alfattni, 2022).

Na indústria, a MA também têm ganhado bastante espaço principalmente no que diz respeito a prototipagem rápida, fabricação rápida, personalização em massa, produção em massa, criação de formas audaciosas, sem limites de criatividade, e com o potencial de realizar uma revolução em comparação aos métodos tradicionais de fabricação, isso já é visto com o resultado do relatório de 2023 da *Wohlers*, em que o crescimento global em produtos e serviços de MA é estimado em 18,3% e crescimento significativo de materiais, software, serviços de impressão 3D e hardware, com uma taxa de crescimento estimada em 23% em 2022 (Nicolau *et al.*, 2023; youbi El idrissi, El *et al.*, 2023).

Para entendimento pleno da temática é necessário que seja especificado um processo típico de Impressão 3D, sendo assim, segundo Grivet-Brancot *et al.* (2022), primeiramente tem-

se modelo de design assistido por computador CAD 3D que seja possível realizar a exportação do arquivo em extensão .STL por meio de um software de fatiamento que gera um *GCode*, que então é transferido para a impressora para a interpretação das camadas e realização do objeto final desejado, esse esquema é ilustrado na figura abaixo.

Figura 16 - Processo Típico de Impressão 3D.



Fonte: Adaptado de (Grivet-Brancot, Boffito e Ciardelli, 2022).

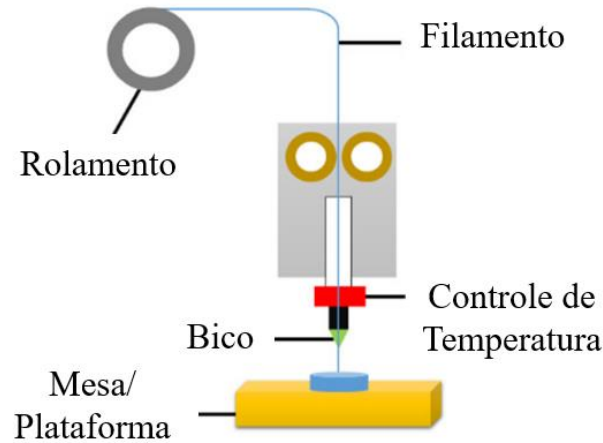
Mesmo sendo concebida visando a questão de prototipagem rápida, a Manufatura aditiva também possui vertente na produção em massa pela elevada versatilidade, redução do desperdício de material e capacidade de fabricar geometrias que de outra forma seriam impossíveis de obter. A partir disso, diferentes tecnologias de manufatura aditiva surgiram para processar diversos materiais como polímeros, metais, cerâmicas e concreto, as mais conhecidas, também citadas anteriormente, são: *Fused Deposition Modeling* (FDM), *Powder Bed Fusion* (PBF), *Stereolithography* (SLA), *Direct Energy Deposition* (DED) e *Laminated Object Manufacturing* (LOM) (Martini *et al.*, 2022).

Para o propósito desse projeto, a tecnologia utilizada será centrada em FDM que utiliza filamento termoplástico flexível injetado através de um bico aquecido. Os materiais termoplásticos e materiais termoplásticos reforçados de filamentos utilizados na FDM incluem *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS), *Polylactic Acid* (PLA), *Polycarbonate*, *Unfilled Polyetherimide* (PEI), *Polyether Ether Ketone* (PEEK), *Polyethylene Terephthalate Glycol* (PETG) e termoplásticos reforçados, como o *Thermoplastic Polyurethane* (TPU) (TURA; LEMU; MAMO, 2022).

O processamento de impressão utilizando a técnica FDM se dá com o material de uma certa espessura enrolado em um carretel de peso/tamanho específico é movido com a ajuda de rolagens que auxiliam no processo de impulsionar o material que é direcionado pelo bico com uma unidade de controle de temperatura, temperatura tal que deve possuir configurações

tanto para essa unidade de controle quanto para a mesa que serve de plataforma para impressão (Ulkir, 2023), esse esquema pode ser visto na figura 17.


Figura 17 - Impressão com FDM.




Fonte: Adaptado de (Ulkir, 2023).

Para que seja possível compreender as diferentes aplicações da impressão 3D no que diz respeito a tecnologia FDM utilizada, também é importante realizar a demonstração das principais propriedades dos materiais que podem ser utilizados. Dessa forma, conforme o trabalho Kantaros *et al.* (2023), que possui um foco maior na junção de filamentos bases com materiais de diversas propriedades para diferentes aplicações tanto de forma estética quanto funcional demonstrando as vantagens e desvantagens, foi possível realizar um levantamento aprofundado dos diferentes tipos de materiais possíveis de aplicação voltados para o objetivo do projeto que consiste na utilização da tecnologia FDM, de acordo com o quadro abaixo.

Quadro 5 - Exemplos Materiais FDM.

Material	Descrição	Exemplo
PLA	Material termoplástico capaz de passar por biodegradação, com facilidade de impressão, baixo limiar de fusão e mínima suscetibilidade a deformações e encolhimento.	

ABS	<p>Polímero termoplástico conhecido por sua robustez, maleabilidade e capacidade de resistir a impactos, com bom custo-benefício, possui boa resistência térmica e química, frequentemente empregado em diversos setores industriais que exigem robustez e resistência.</p>	
PETG	<p>Material termoplástico que possui boa resistência e durabilidade, com facilidade de impressão e boa resistência química e mecânica, é seguro para contato com alimentos e produz um acabamento brilhante.</p>	
PLA com Madeira	<p>Material composto que combina o termoplástico PLA com fibras ou partículas de madeira, para aplicações onde se deseja a aparência e a sensação da madeira, mas também personalização e designs complexos, porém as dificuldades de utilização se encontram na adesão de camadas no momento da impressão.</p>	
Filamentos com Metal	<p>São compostos por um material de substrato, como PLA ou ABS, com partículas metálicas finamente moídas, aumentando a resistência, rigidez e durabilidade. Requer robustez nos parâmetros de impressão devido à alta densidade e condutividade térmica apresentada pelos metais e pode precisar de um pós-processamento de superfície.</p>	

Filamentos com fibra de Carbono	São compostos de fibra de carbono combinada com um material de base, como PLA ou ABS, com filamentos ou partículas de fibra de carbono, possui excepcional relação resistência-peso. Devido à natureza abrasiva das fibras de carbono, bicos e extrusoras especiais são recomendados.	
Filamentos com vidro	São formados por fibras de vidro com uma base, geralmente PLA ou ABS, aumentando a rigidez e a resistência, porém aumenta também o desgaste do bico extrusor, sendo necessária a realização de manutenções frequentes.	
Filamentos condutivos	Esses filamentos possuem aditivos condutivos, como nanotubos de carbono ou grafeno, em uma matriz polimérica base, permitindo que os objetos impressos conduzam eletricidade. Necessária a otimização dos parâmetros de impressão, como temperatura da ponta e velocidade de extrusão.	
TPU	Material flexível e elástico que é comumente utilizado em aplicações que requerem flexibilidade e resistência a impactos, como capas de celular, brinquedos e solas de sapato, apresenta resistência a óleo, graxa e abrasão, porém é preciso otimizar a adesão da base da impressora e das estruturas de suporte para mitigar o risco de deformação ou empenamento.	

Fialmento com cerâmica	São compostos por uma matriz de polímero termoplástico com partículas cerâmicas de tamanho reduzido. Oferece benefícios como excepcional resistência mecânica, propriedades de isolamento elétrico e resistência a altas temperaturas. As desvantagens se encontram na baixa flexibilidade, baixa resistência e abrasividade.	
Filamentos Magnéticos	São compostos por um polímero termoplástico com partículas magnéticas, incluindo, mas não se limitando a ferro, ferrita ou neodímio, facilitando sua interação com campos magnético, porém a presença de partículas magnéticas pode afetar as propriedades de fluxo e extrusão do filamento, exigindo ajustes nos parâmetros de impressão.	
Filamentos que brilham no escuro	São formados por materiais fosforescentes com PLA ou ABS, os pigmentos têm a capacidade de capturar fótons ao serem expostos a fontes de luz e, posteriormente, armazenar a energia absorvida. Requer um aumento moderado na temperatura em comparação com filamentos padrão e modificações na velocidade de impressão e altura da camada.	
Filamentos com pedra	Materiais compostos por PLA misturado com pedra em pó, proporcionando uma aparência fosca e áspera que se assemelha de perto à pedra autêntica, porém possui desvantagens como a fragilidade, pouca resistência, flexibilidade e abrasividade, desgastando as pontas de impressão devido à sua dureza e aspereza.	

Fonte: (Kantaros et al., 2023; Tartanian, 2012; Thomas, 2012; Walheim, 2017).

3. METODOLOGIA

Nesta seção, são apresentadas as técnicas, procedimentos e abordagens que nortearão as atividades relacionadas a esta pesquisa, para que se consiga assim, cumprir com o objetivo geral e os objetivos específicos supracitados. Deste modo, apresentam-se os tópicos relacionados: natureza da pesquisa; forma de abordagem do problema, classificação quanto aos objetivos; classificação quanto aos procedimentos; universo e amostra da pesquisa; procedimentos para a coleta de dados; procedimentos para a análise de dados e etapas da pesquisa.

3.1 NATUREZA DA PESQUISA

A presente pesquisa possui natureza aplicada pois busca gerar conhecimento e aplicação prática para o avanço de estudos na área por meio da modelagem 3D e prototipagem, materializando o desenvolvimento teórico de um produto com aplicações de ferramenta DFMA.

3.2 FORMA DE ABORDAGEM DO PROBLEMA

Possui abordagem quantitativa pois pretende-se traduzir em números a comparação de aspectos entre os trabalhos existentes e publicados sobre a temática para um melhor entendimento quanto ao impacto do projeto e atendimento dos objetivos.

3.3 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA QUANTO AOS PROCEDIMENTOS

Temos a categorização exploratória pois busca-se por meio de simulações e experimentações, propor um novo modelo como melhoria na área de projeto de produto.

3.4 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA QUANTO AOS PROCEDIMENTOS

Quanto ao método, temos a pesquisa experimental por se tratar de uma obtenção de um protótipo tecnológico por meio de descoberta da aplicação de técnicas e métodos da Engenharia de Produto.

3.5 UNIVERSO E AMOSTRA DA PESQUISA

Neste estudo, o universo da pesquisa são trabalhos coletados em plataformas indexadas para realização do comparativo de propostas de desenvolvimento do projeto. Contando com 3 trabalhos influentes selecionados para que sejam estudados de forma detalhada a fim de confrontar estudos existentes realizados na mesma temática.

3.6 PROCEDIMENTOS PARA A COLETA DE DADOS

O procedimento de coleta de dados se dá por pesquisa bibliográfica. Dessa forma, será pesquisado obras e publicações científicas que tratam principalmente de desenvolvimento de robôs voltados à telepresença, investigando a metodologia utilizada para tal com a finalidade de comparar os trabalhos com o que se é proposto.

A pesquisa se deu pela base de dados indexada Web of Science com as palavras-chave “*Telepresence Robot Development*”, “*Robot Developing*” e “*Telepresence Robot design*”.

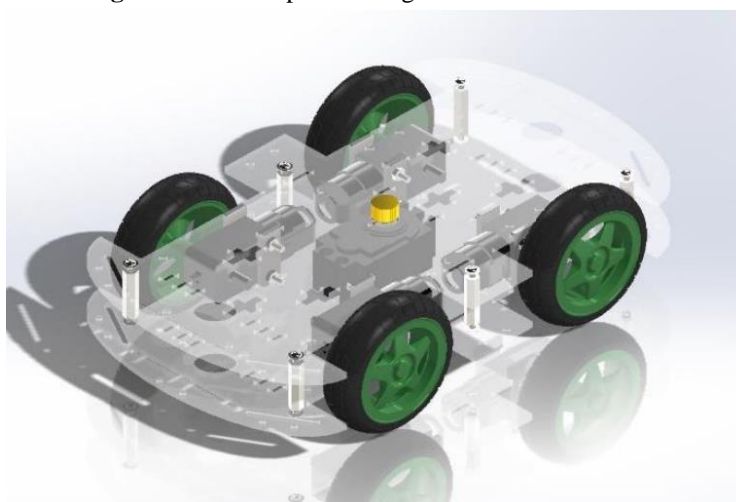
3.7 PROCEDIMENTOS PARA A ANÁLISE DOS DADOS

Para realizar a análise, primeiramente, buscou-se realizar o desenvolvimento do conceito e detalhamento do projeto. Propondo, além do protótipo, uma ferramenta utilizando conceitos DFMA que se adaptem melhor ao desenvolvimento de robôs de telepresença, realizando um estudo comparativo com a literatura existente.

A partir da idealização e planejamento do projeto combinando os conceitos de DFMA, para a parte técnica da elaboração busca-se utilizar os seguintes elementos:

- Softwares de Modelagem CAD 3D como o SolidWorks ou SolidEdge como demonstra a aplicação na imagem abaixo.

Figura 18 – Exemplo de design em CAD de um robô.



Fonte: Azeta *et al.* (2021).

- Manufatura aditiva por meio de Impressão 3D para prototipagem da aplicação de forma prática conforme exemplo abaixo de braço mecânico.

Figura 19 – Exemplo de protótipo com Impressão 3D.



Fonte: Aburaia *et al.* (2015).

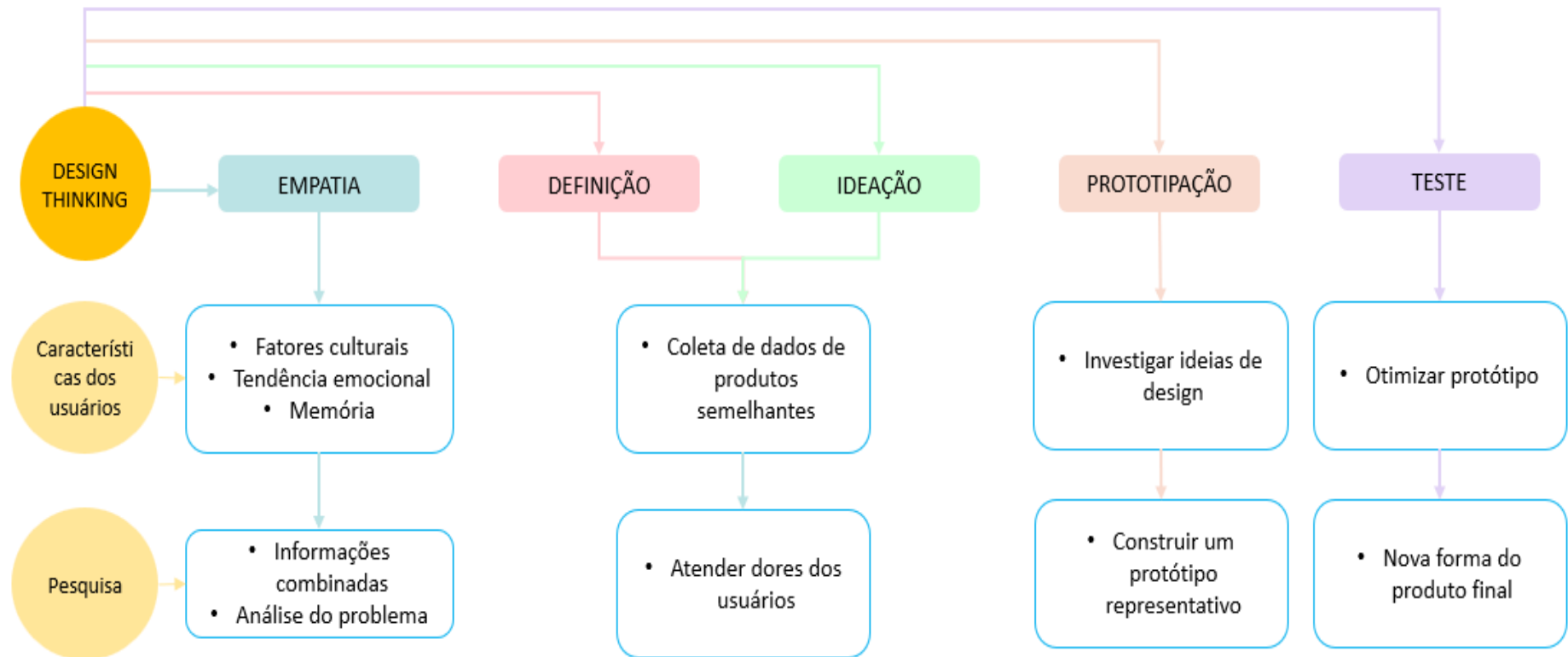
3.8 ETAPAS DA PESQUISA

Na elaboração do Desenvolvimento do Produto buscou-se seguir o processo moldado aos conceitos de DFMA como processo de apoio enquadrado em todas as etapas do *Design Thinking* aplicado à Engenharia de produto e desenvolvimento.

Na fase de empatia, busca-se a obtenção de compreensão pessoal dos usuários para os quais uma solução está sendo projetada; na fase de Definição, a Determinação do desafio/problema específico que precisa ser abordado; na fase de Ideação, a exploração de múltiplas soluções para os usuários, gerando primeiro ideias e depois avaliando as ideias e sua viabilidade como soluções; na fase de Prototipação, a criação de formas físicas simplificadas de soluções para que se possa interagir e experimentar para testar a funcionalidade e , por fim, na fase de Teste, obtenção de feedback sobre soluções de protótipos mais robustas para aumentar a empatia dos usuários e determinar necessidade de alterações.

O framework utilizado como fundamento para as 5 etapas do desenvolvimento baseia-se no trabalho de Gong *et al.* (2022) que utiliza a combinação do *Design Thinking* com a Engenharia Kansei que é uma tecnologia de desenvolvimento de produto voltada para o sentimento de um consumidor traduzido em elementos do design físico do produto, porém, neste projeto, apenas o que é correlato ao *Design Thinking* será trabalhado, seguindo o que se demonstra na figura abaixo.

Figura 20 – Framework para utilização do *Design Thinking*.



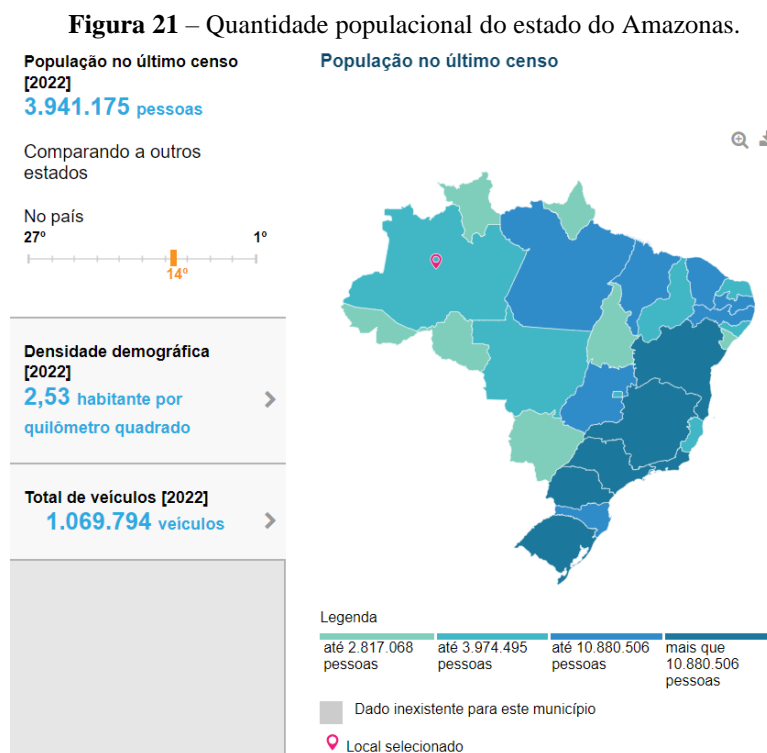
Fonte: Adaptado de Gong *et al.* (2022).

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 FASE DE EMPATIA

Na fase de empatia, a pesquisa *Desk* utilizada em livros e artigos se dá para obter informações de outras fontes que não os usuários, principalmente identificando tendências na região amazônica, elencando as características do usuário alvo.

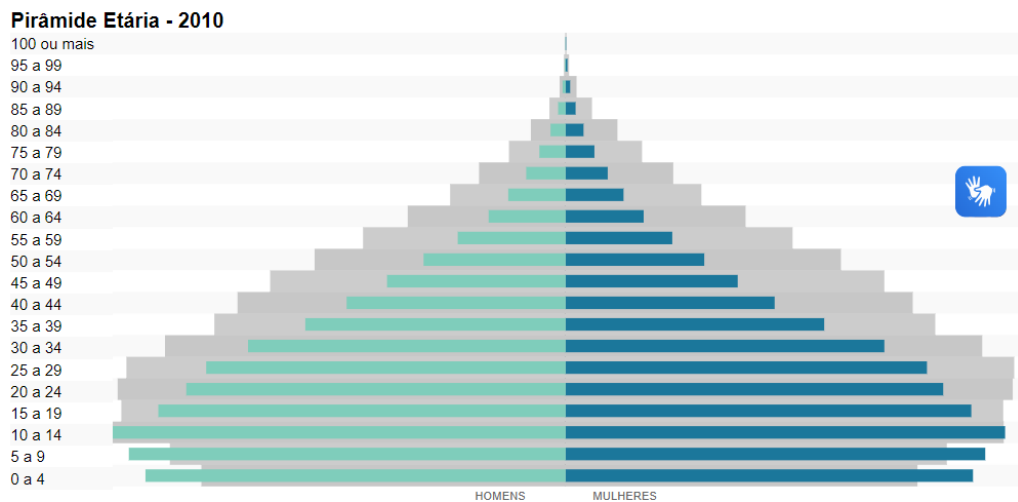
Para elencar aspectos gerais da população regional, delimitou-se ao estudo dos habitantes do estado do Amazonas, e como fonte de dados utilizou-se o IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2023) para compreender de forma mais aprofundada suas características mais relevantes para entendimento do público alvo. Na imagem abaixo temos a quantidade populacional do estado.



Fonte: IBGE (2023).

A quantidade populacional do estado do Amazonas em 2022 alcançou a quantidade de 3.941.175 pessoas, se tornando o 14° estado com maior população entre os 27 estados do Brasil, isso demonstra que nacionalmente, apesar da extensa área terrestre, está na metade da escala entre os países. Em relação a característica de gênero, na figura abaixo é possível observar que temos uma semelhança entre a quantidade de homens e mulheres em cada intervalo de idade e que as faixas etárias que possuem maior concentração de quantidade são de 0 a 4 anos, de 5 a 9 anos e de 10 a 14 anos, sendo essa última a mais representativa.

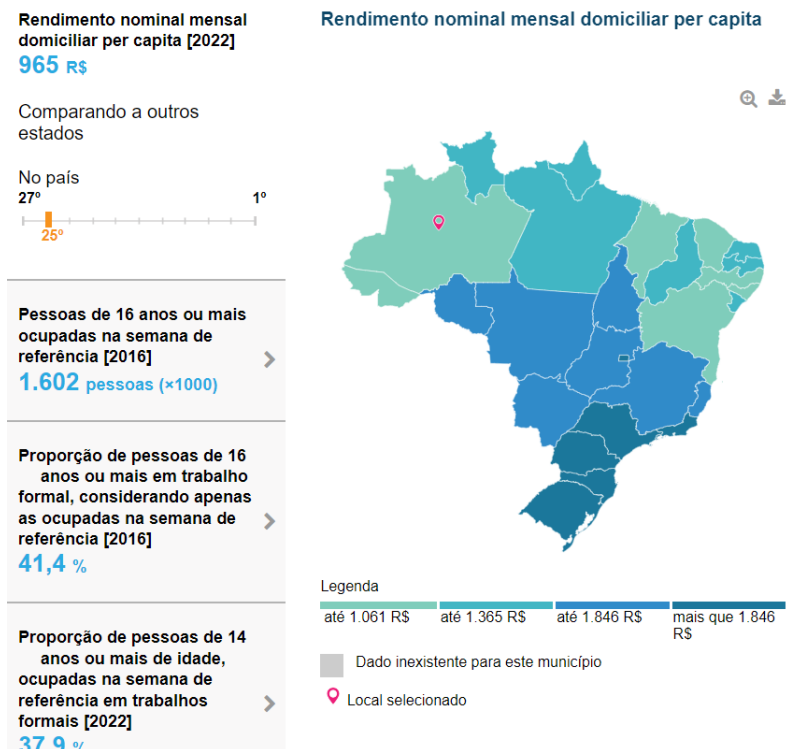
Figura 22 – Faixa etária e gênero no Amazonas.



Fonte: IBGE (2023).

Em relação a questões monetárias, o rendimento mensal domiciliar per capita do estado do Amazonas consistiu em R\$965 reais com dados de 2022, podendo ser interpretado como coerente em relação à concentração da faixa etária de crianças e adolescentes que em 2022 também, consistiu em 37,9% de pessoas com 14 anos de idade ou mais com alguma ocupação com geração de renda, como visto anteriormente, porém, mesmo assim, ocupa apenas o 25º lugar de rendimento mensal em relação ao país.

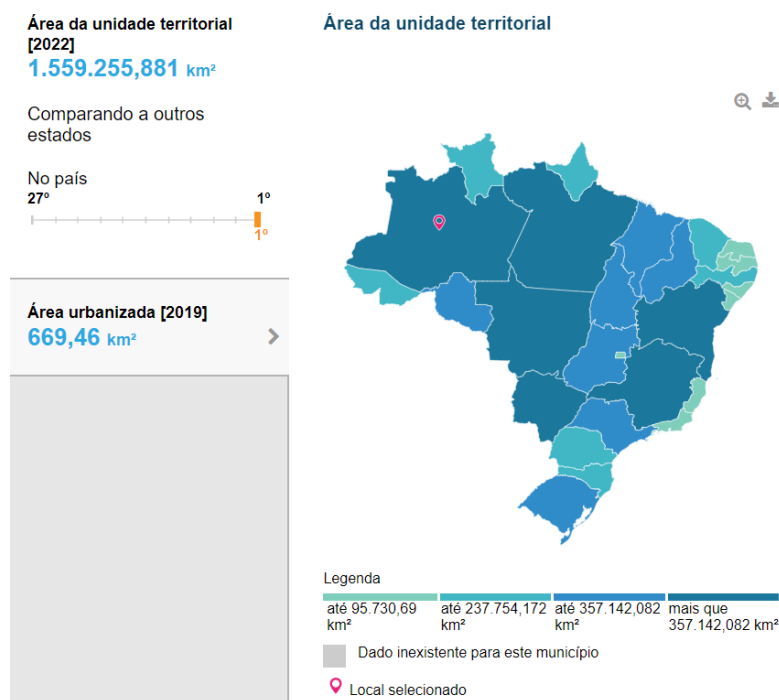
Figura 23 – Rendimento mensal per capita no Amazonas.



Fonte: IBGE (2023).

O dado demonstrado anteriormente representa um contraste quando comparado ao lugar na escala nacional de área da unidade territorial do Amazonas, que com dados de 2022 estabeleceu-se em 1.559.255.881 Km², obtendo o 1º lugar em extensão territorial do país.

Figura 24 – Área da unidade territorial do Amazonas.



Fonte: IBGE (2023).

A vasta extensão territorial do Amazonas, evidencia as dificuldades de transporte que podem existir dentro do próprio estado. Os povos tradicionais da Amazônia são diversificados e podem ser conhecidos como os nativos (índios), caboclos, ribeirinhos, quilombolas e os seringueiros, com conhecimento em cultivo e preservação de animais e vegetação. Vivendo em área rural, em 2010, essa população representava 20,1% da população do estado do Amazonas. A rotina da população é afetada pela mudança de nível das águas (cheias e vazantes) impõe restrições em diversos aspectos, como a economia focada em pesca e extrativismo vegetal e na cultura possuindo forte herança dos povos indígenas, com hábitos alimentares diferenciados, uso de plantas medicinais e agricultura de subsistência.

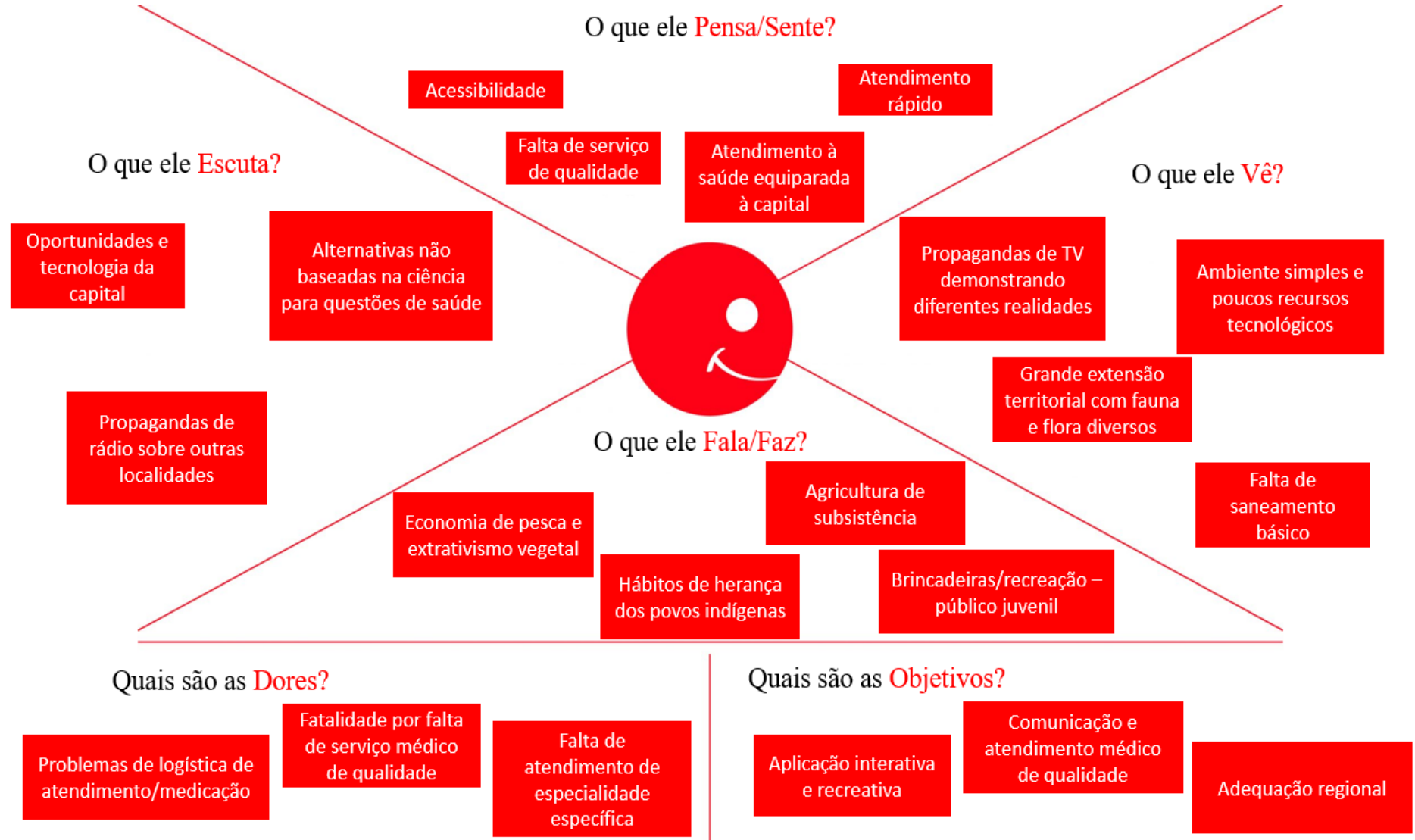
Essas comunidades ribeirinhas sofrem da ausência do acesso rodoviário e problemas de logísticas, como por exemplo, as Secretarias de Saúde demoram cerca de até três dias para dar atendimento nas localidades mais distantes, o que pode ser um desafio em relação a estados graves de saúde. A atenção à saúde desses povos é realizada através do trabalho fornecido pelas Equipes de Saúde das Famílias Ribeirinhas (ESFR), além do custeio das Unidades Básicas de Saúde Fluviais (UBSF) (Gama et al., 2018; Gonçalves e Domingos, 2019).

4.2 FASE DE DEFINIÇÃO

Para a fase de Definição será utilizado o Mapa de Empatia, o conceito de empatia pode ser descrito na capacidade de entender e compartilhar os sentimentos do outro, o Mapa de empatia foi desenvolvido em um ambiente corporativo para compreender os perfis de clientes, sendo uma ferramenta para entender a perspectiva do outro como se fosse a sua própria. É um método que busca criar uma persona para representar o usuário alvo e engloba não só o fator demográfico, mas também fatores ambientais e emocionais. Em resumo, é um mapa com configuração dividida em seis seções nas quais os desejos e demandas dos usuários são escritos, com quatro dessas seções consistindo em itens únicos ("Escutar", "Ver", "Dores" e "Objetivos"), e duas seções contêm itens duplos ("Pensar e Sentir", "Falar e Fazer"). Obtendo um total de 8 itens (Cairns et al., 2021; Ferreira, Conte e Barbosa, 2015; Melo et al., 2020).

Temos a parte superior com o tópico sobre o que o usuário pensa e sente para levantar os pontos sobre o que ele realmente quer e o que não quer, quais as maiores preocupações e aspirações; na parte lateral direita temos o que o usuário escuta, como o ambiente o influencia, o que os amigos, vizinhos e familiares dizem e o que a mídia diz; na parte lateral esquerda temos o que ele vê, como percebe as opções, o que as pessoas estão fazendo ao redor e o que aparece na mídia; na parte inferior temos o que ele fala e faz, com o estilo, a história pelo qual o usuário passou e o que quer mostrar aos outros; na base esquerda temos suas dores, com o que seria muito ruim se acontecesse, quais são os obstáculos e, por fim, na base direita temos os objetivos com qual o projeto ideal, o que é extremamente desejável. Adequando-se a essa estrutura, temos o mapa aplicado para o projeto na figura abaixo.

Figura 25 – Mapa de empatia.



Fonte: Autoria Própria (2024).

4.3 FASE DE IDEACÃO

Na fase de ideação, busca-se utilizar o brainstorm das principais características para o robô a ser desenvolvido, selecionando os principais rascunhos e atributos que preenchem as lacunas de dores da persona construída na etapa anterior, para isso, foi elaborado um Mapa Mental com esses principais aspectos, segundo Guelton (2023) mapas e gráficos podem operar simultaneamente ou separadamente e fornecendo estruturas organizacionais para informações complexas, oferecer padrões organizacionais fundamentais que nos possibilitam navegar em espaços físicos, sociais e conceituais. A partir da imagem abaixo é possível elencar de forma estrutural e concreto dos rascunhos do aspecto físico do robô de telepresença projetado.

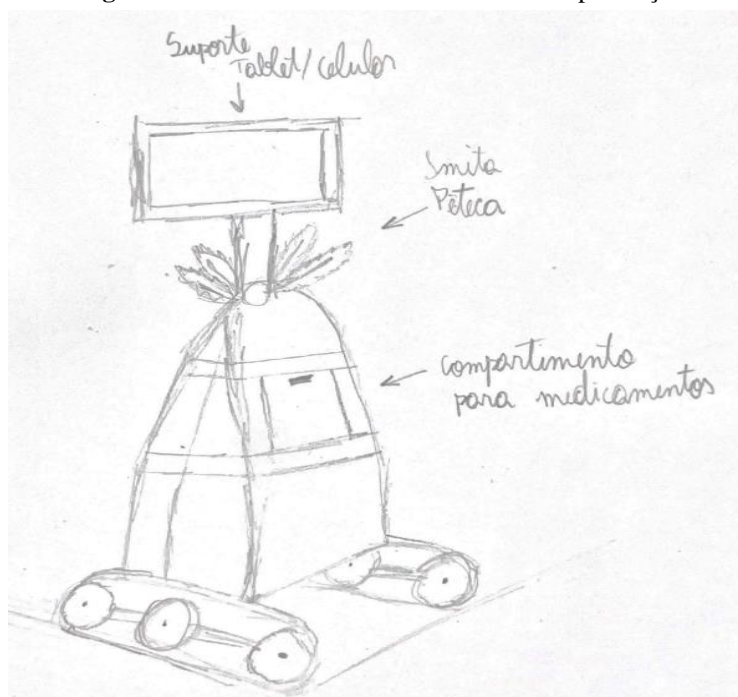
Figura 26 – Mapa mental - *Brainstorm* características.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Tendo em vista os aspectos elencados nas ferramentas anteriores, foi possível obter uma visão mais objetiva sobre a forma física do que se deseja propor. Para isso, foi feita a combinação de todas as características importantes em respeito ao público-alvo, mobilidade, simplicidade e o âmbito de aplicação regional e esse conjunto concebeu a forma física do projeto que se deseja propor, na imagem abaixo é possível visualizar o primeiro rascunho.

Figura 27 – Primeiro Rascunho Robô de Telepresença.



Fonte: Autoria Própria (2024).

A intenção foi assemelhar a forma física do brinquedo “Peteca” que faz parte de uma brincadeira que possui o intuito de manter o objeto no ar o maior tempo possível fazendo trocas entre os participantes. Esse intuito se dá pela finalidade do projeto de voltar-se ao público juvenil regional.

Conforme a Santos (2020), a Peteca surgiu desde antes os colonizadores chegarem no Brasil e possui raiz indígena, tradicionalmente apresentam penas, com enchimentos e envoltórios de palha, como pode ser visto na imagem abaixo.

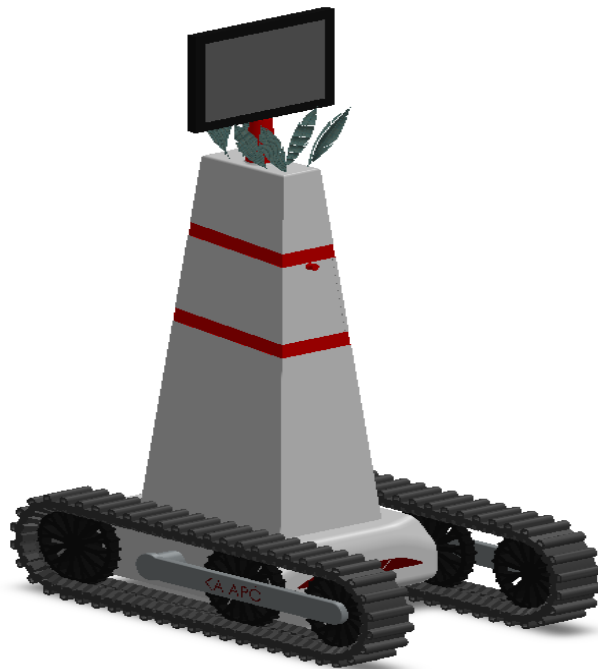
Figura 28 – Peteca Indígena.



Fonte: Repositório Institucional UFSC (2023).

Tendo esses aspectos em vista, fez-se a modelagem 3D utilizando o programa *SolidWorks*, que ajuda na no esboço de produtos ou peças de forma complexa, com dimensionamento e outras análises experimentais (Arora et al., 2021). Denominou-se o projeto de “Kaiapó” que vem da língua indígena Tupi-Guarani e significa “vida”, fazendo menção ao objetivo do trabalho desenvolvido.

Figura 29 – Robô de telepresença Kaiapó.

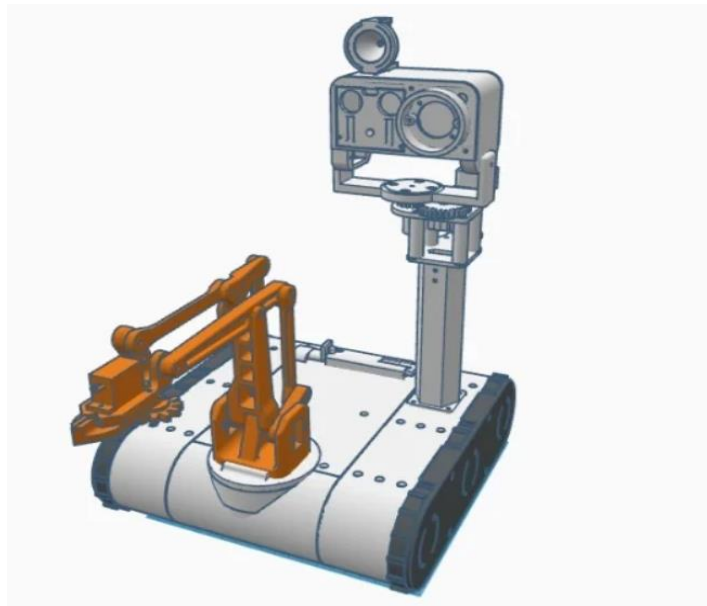


Fonte: Autoria Própria (2024).

4.4 FASE DE PROTOTIPAÇÃO

Na prototipação, utilizando a modelagem 3D combinada com a manufatura aditiva para produção e montagem de peças e partes. Para o desenvolvimento de toda a estrutura tomou-se como base o projeto disponibilizado no fórum do site *Ultimaker Thingiverse* chamado *Arduino robot tank* feito pelo usuário Valsorimkubin (2017) demonstrado na figura 26, porém, para se adequar aos aspectos pretendidos nesse projeto, foram feitas as adaptações necessárias.


Figura 30 – Arduino *Robot Tank*.

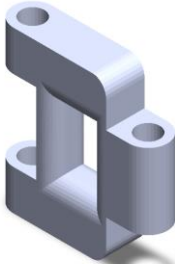
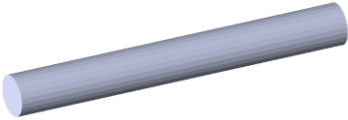
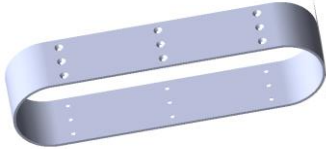





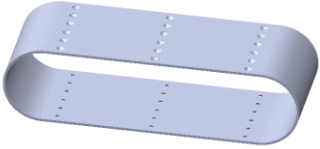
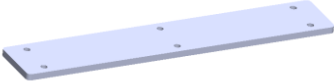
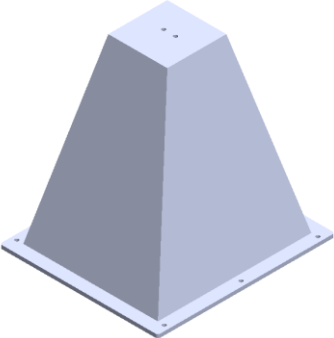

Fonte: Valsorimkubin (2017).

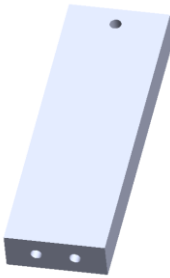
Para que se tenha uma noção ampla do detalhamento e da quantidade de peças e partes que foram englobadas na fase de prototipação, o quadro abaixo demonstra essas informações de forma simples e dinâmica.

Quadro 6 - Peças e Partes Versão 1.0.

ITEM	DESCRIÇÃO	IMAGEM	QUANTIDADE
1	Parafuso Phillips M3,5 x 12mm		45

2	Estrutura da esteira		68
3	Pino de ligação esteira		70
4	Suporte lateral		2
5	Suporte roda tipo 1		2
6	Suporte roda tipo 2		2

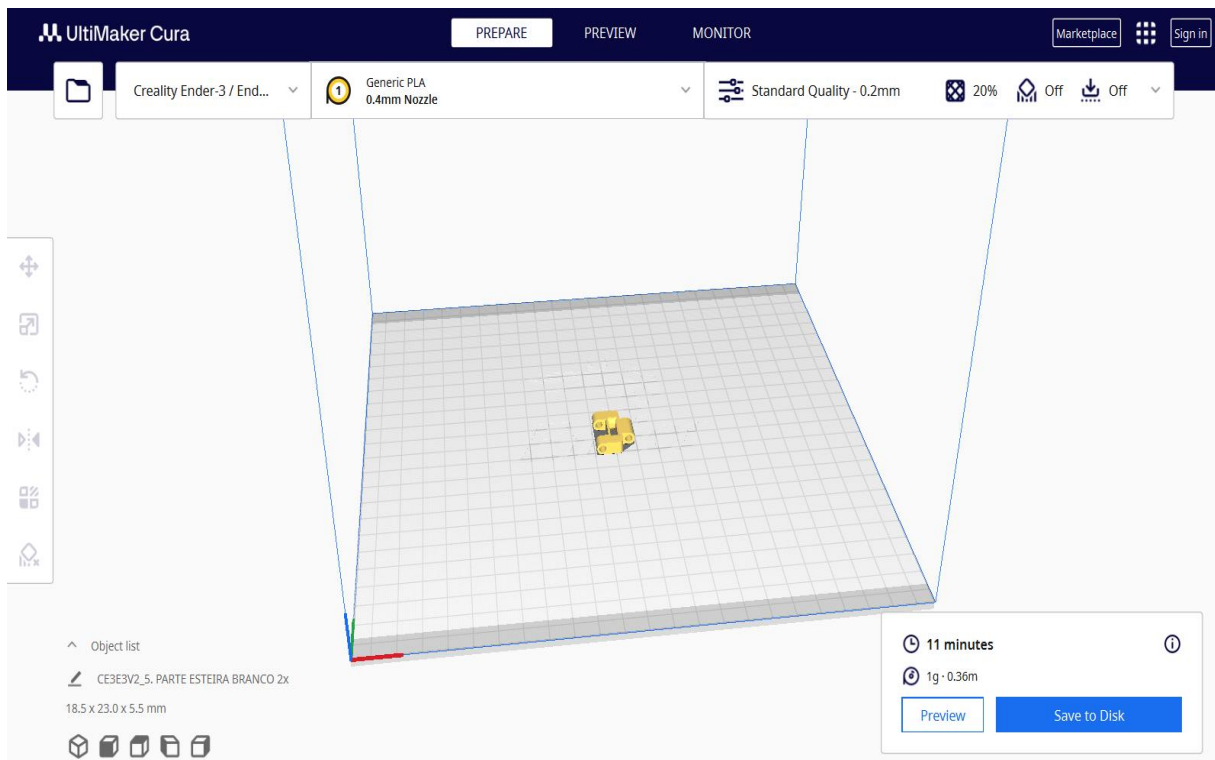
7	Roda		6
8	Peça Central		1
9	Conexão parte central e laterais		4
10	Parte Superior de Apoio		1
11	Suporte para dispositivo de comunicação		1

12	Conexão suporte de dispositivo de conexão e parte superior de apoio		1
TOTAL			203

Fonte: Autoria Própria (2024).

Para a modelagem 3D utilizou-se o software *SolidWorks* onde foram desenhadas as peças necessárias para a montagem da estrutura (com exceção dos parafusos e do suporte do dispositivo). No software, os arquivos foram salvos na extensão (.STL) para que fosse possível utilizar um programa de fatiamento que viabilizasse a impressão 3D das peças, o fatiamento foi realizado no software *Ultimaker Cura*, onde é possível transformar a extensão mencionada em *GCode*, possibilitando a impressão, na imagem é possível visualizar a interface utilizada.

Figura 31 - Interface *Ultimaker Cura*.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Foi utilizada a impressora *Ender 3*, com as configurações para o material de filamento PLA (Biopolímero ácido polilático), esse polímero foi utilizado para a prototipação levando

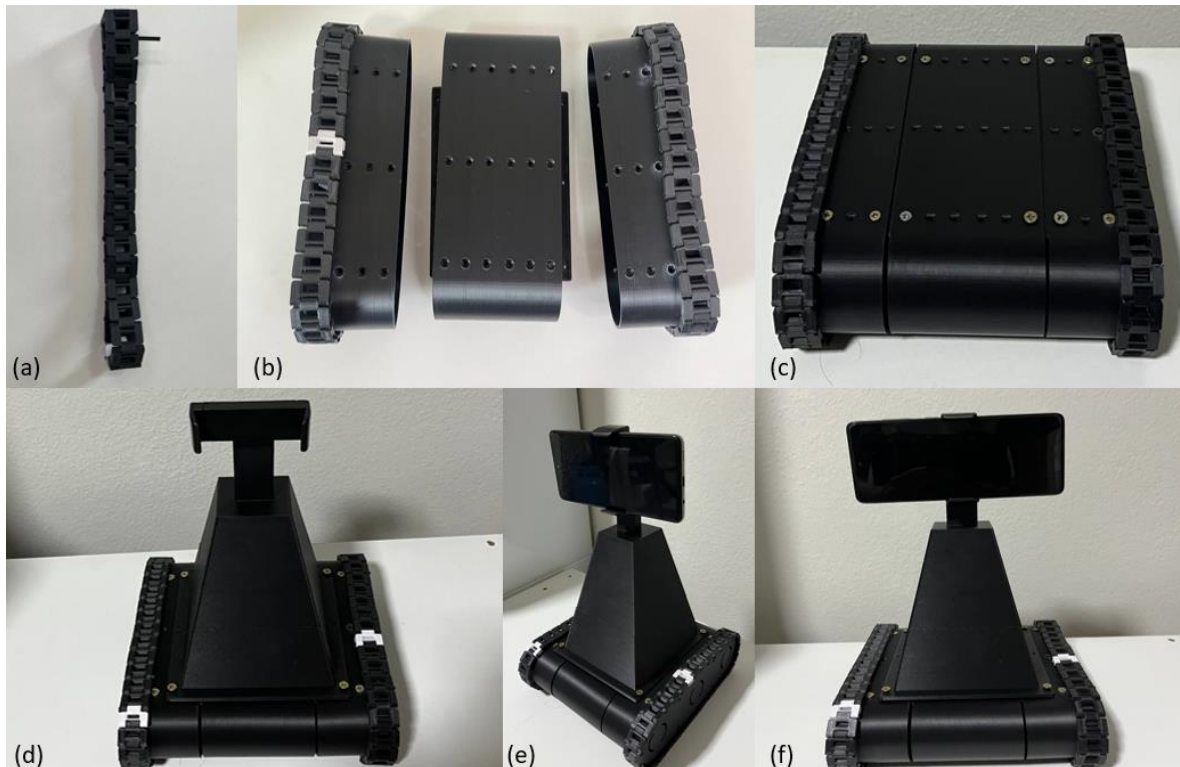
em conta suas características de baixo custo, melhor detalhamento e maior facilidade de manuseio e impressão.

Na figura 32 é possível demonstrar as partes e peças e a montagem por etapas da versão do robô.

Figura 32 - Partes e Etapas versão protótipo 1.0.

(a) Correia da esteira; (b) Parte inferior desmontada.

(c) Parte Inferior Montada; (d) Protótipo montado com todas as partes; (e) Visão lateral protótipo com dispositivo; (f) Visão Frontal protótipo com dispositivo.



Fonte: Autoria Própria (2024).

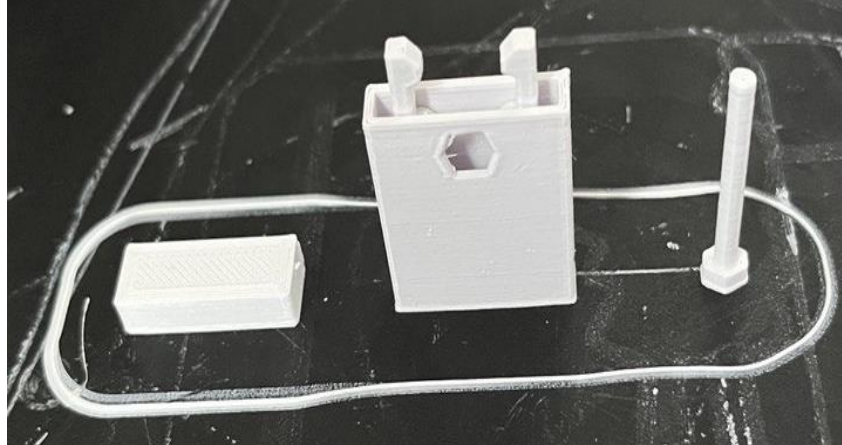
4.5 FASE DE TESTE

Conforme demonstrado na fase de prototipação, realizando o teste de montagem do projeto, a quantidade total de 203 partes assim como de 12 tipos de peças do robô demonstrado abre margem para otimização. Com isso, aplicando os conceitos de DFMA, foi elaborada uma versão 2.0 do robô preenchendo as lacunas de melhorias analisadas após a montagem da primeira versão.

O primeiro ponto foi realizar a troca do material das peças e partes com o objetivo de obter mais robustez e resistência para o material ABS. Após isso, foi considerado realizar uma modificação do mecanismo de junção de peças para encaixe ao invés de parafusos, facilitando o processo de montagem, para isso, foram desenvolvidas 3 peças de teste para o mecanismo,

conforme demonstrado na imagem 33, uma peça fêmea, uma peça macho e a chave responsável pelo destravamento da junção.

Figura 33 - Peças teste mecanismo de trava.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Ao realizar o travamento das peças teste e considerar a modificação nas peças que integrarão a versão 2 do robô, foi elencada a possibilidade de dificuldades na manutenção e troca de peças e partes caso acontecesse algum problema no mecanismo de junção, pois seria necessário realizar a troca de peças inteiras, resultando em um custo alto para reposição, por isso, a opção foi deixada em espera e seguiu-se com a ideia convencional de junção com parafusos, porém trabalhando em sua redução e maior resistência.

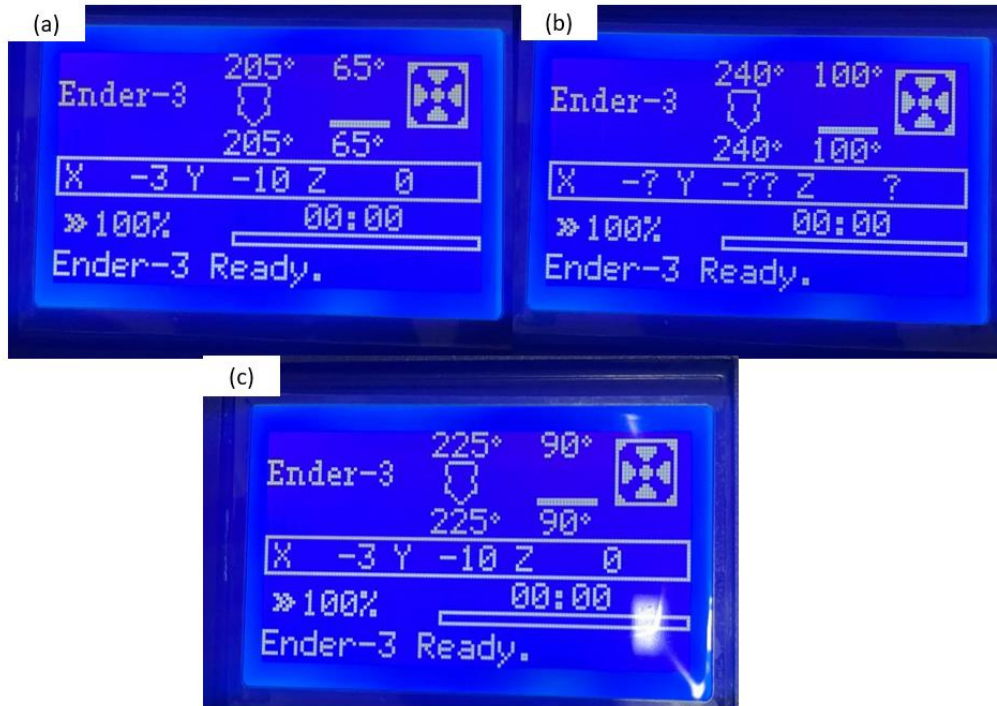
O segundo ponto seria reduzir o tipo de peça que possuía mais quantidade que seriam as partes da esteira, para isso, foi considerado um outro tipo de filamento para a impressão dessa parte, que fosse mais flexível, como o TPU. Para título de configurações de parâmetros da máquina de impressão 3D, para a impressão do primeiro protótipo foi utilizado o material PLA, já para o segundo, procurando mais robustez e resistência do material, em algumas peças utilizou-se o ABS para se obter uma maior resistência, como foi o caso das peças laterais de apoio da roda e da roda, juntamente com o TPU também para a estrutura da esteira. Para as diferenças de configuração na impressora temos a temperatura do bico extrusor e da mesa, respectivamente, conforme quadro e imagem abaixo.

QUADRO 7 - Detalhamento das temperaturas de impressão.

Tipo de Filamento	Temperatura do bico extrusor (°C)	Temperatura da mesa (°C)
PLA	205	65
TPU	240	100
ABS	225	90

Fonte: Autoria Própria (2024).

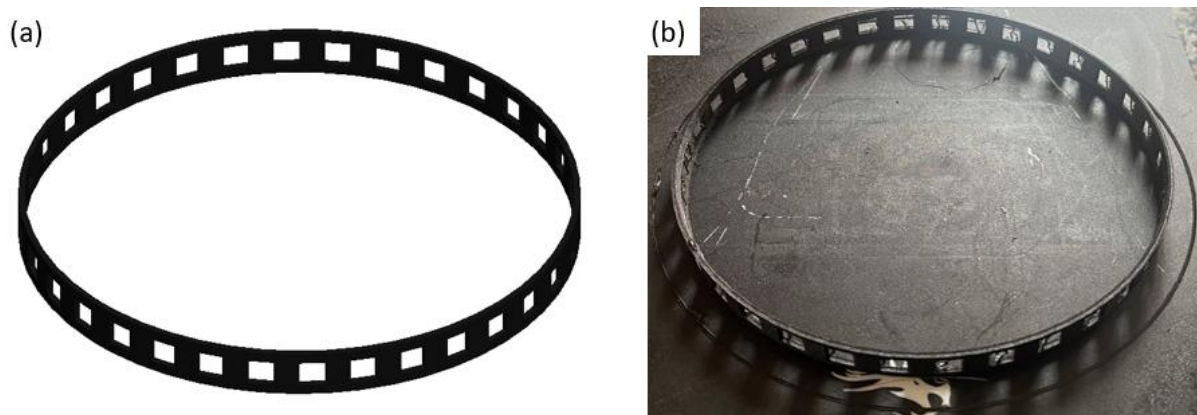
Figura 34 - Configuração da impressora.
(a) Filamento PLA; (b) Filamento TPU; (c) Filamento ABS.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Com o intuito da substituição da sistemática da esteira, foi modelada uma nova estrutura levando em consideração que a impressão será realizada com filamento de TPU. Com a utilização desse material maleável, foi possível realizar a redução da maior parte de peças do projeto e essa nova estrutura é possível de ser visualizada logo abaixo.


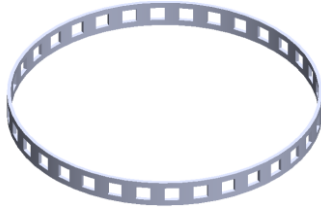
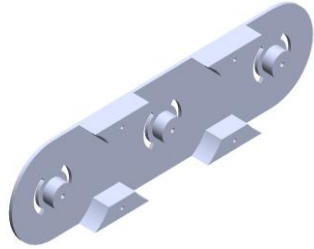
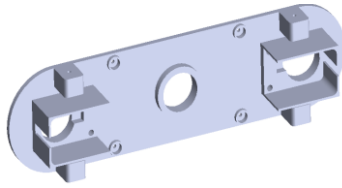

Figura 35 - Mecanismo esteira TPU.
(a) Modelagem 3D. (b) Objeto final impresso.


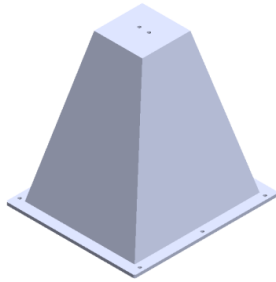

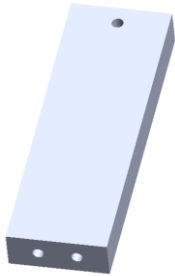



Fonte: Autoria Própria (2024).

Com a concretização da estrutura da correia, temos o resultado comparativo com a primeira versão do robô, que teve como quantidade de peças e tipo conforme o quadro abaixo:

Quadro 8 - Peças e Partes Versão 2.0.

ITEM	DESCRIÇÃO	IMAGEM	QUANTIDADE
1	Parafuso Phillips M3,5 x 12mm		26
2	Estrutura da esteira		2
3	Suporte roda tipo 1		1
4	Suporte roda tipo 2		1
5	Roda		6

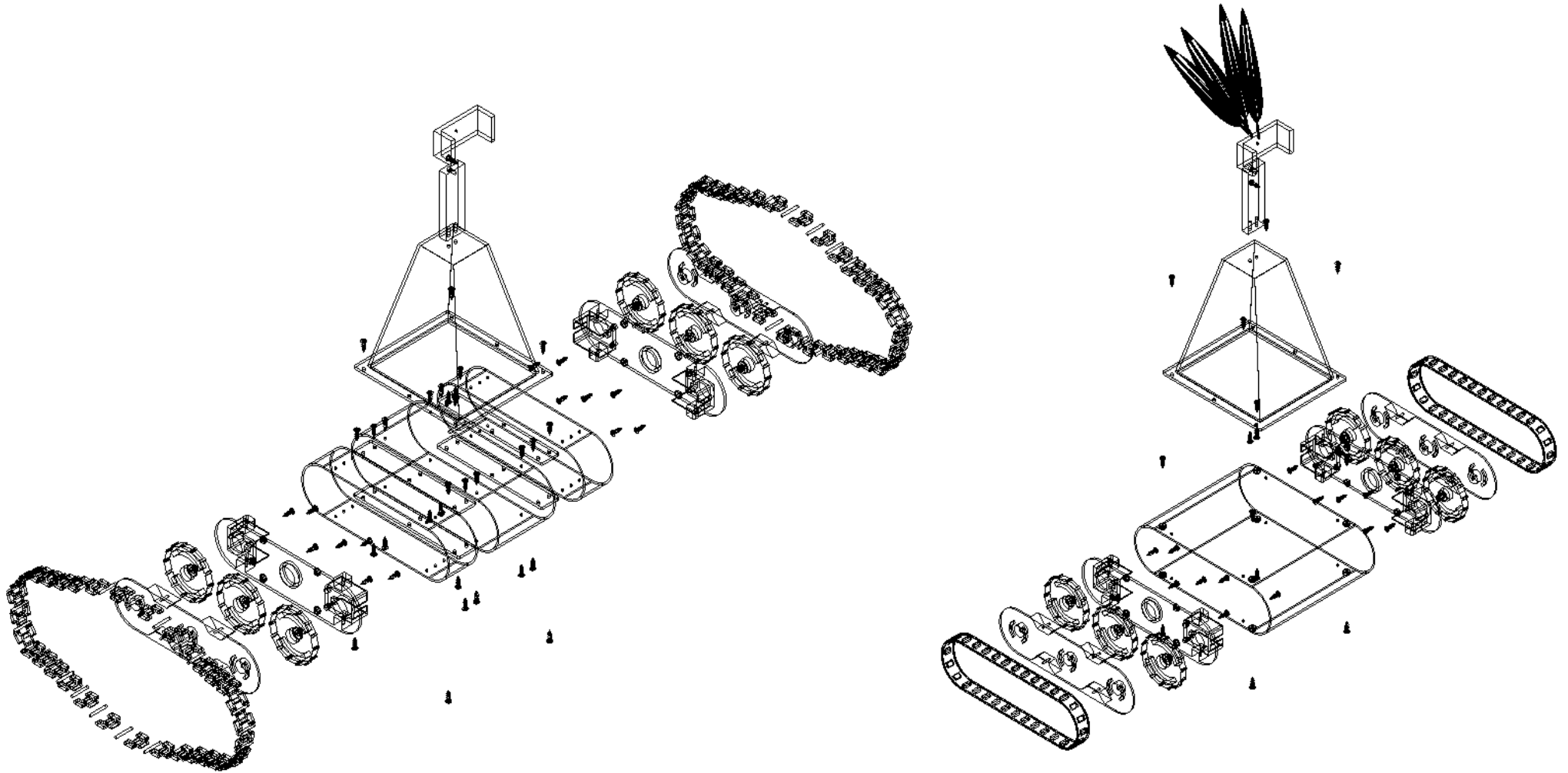
6	Peça Central		1
7	Parte Superior de Apoio		1
8	Suporte para dispositivo de comunicação		1
9	Conexão suporte de dispositivo de conexão e parte superior de apoio		1
10	Penas de decoração		4
TOTAL			44

Fonte: Autoria Própria (2024).

Realizando a comparação, vimos que o número de peças reduziu de 203 para 44, resultando em uma redução de aproximadamente 78% na quantidade total, e os tipos de peça

também reduziram de 12 para 10, com o adendo que na segunda versão foi possível incluir as penas decorativas que se adequam ao propósito da persona estudada neste projeto. Esse impacto na simplificação do projeto utilizando conceitos de DFMA também pode ser visto no esquema visual abaixo, onde é evidente a mudança do aspecto mais visualmente carregado do projeto.

Figura 36 - Comparação de versão da proposta antes e depois do DFMA|.



Fonte: Autoria Própria (2024).

As imagens finais do projeto em comparação com a versão 1.0 do projeto proposto também se encontram abaixo, demonstrando o acabamento de superfície do ABS, PLA e TPU.

Figura 37 - Protótipo robô de telepresença proposto V2.



Fonte: Autoria Própria (2024).

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS




Seguindo o que se é exposto na metodologia, ao comparar a proposta produzida nesse trabalho com 3 literaturas existentes que possuíam mais citações nesse campo com uma proposta semelhante ao que é visto neste trabalho, no Quadro 8 apresentamos os trabalhos elencados. Antes de realizar o início do processo comparativo bibliográfico, destaca-se que o presente trabalho se ateve estritamente a aspectos de característica mecânica, não incluindo peças eletrônicas que a viabilizassem o funcionamento completo do robô e os critérios utilizados foram baseados na estética externa, metodologia e abordagem utilizada nos trabalhos existentes.

Realizando uma análise estética, pode-se dizer que a literatura da esquerda na tabela se assemelha mais com o que se é proposto, (Tsai et al., 2007) chamam esse aspecto de elementos antropomórficos, que geram certa aparência amigável para que facilite a interação com humanos, no caso, foi utilizada uma aparência que se assemelha a de um animal de estimação, enquanto no presente projeto foi utilizado o brinquedo peteca, de acordo com a persona estudada. O trabalho não apresenta uma metodologia afirmada de construção, porém se aprofunda em elementos eletrônicos como placas, sensores e módulos.

Já quando comparado ao trabalho que se ilustra no centro do Quadro 8, o que temos de semelhante é a disposição de um primeiro protótipo e após, uma segunda versão implementando melhorias de design pois a primeira versão obtinha dificuldades de configuração e um custo muito elevado. Porém o trabalho também foca em princípios de estrutura eletrônica e traz também um aspecto antropomórfico ao acoplar uma miniatura de robô com características humanoides em seu centro.

No último trabalho, temos a proposta de um robô de telepresença que se assemelha ao projeto proposto no que diz respeito à estrutura de base, apesar de serem incorporadas 2 rodas em sua base, a característica mais simples e com menos elementos é vista como vantajosa na proposta, diferente dos outros trabalhos, o projeto não traz um foco nos elementos eletrônicos e sim nos cálculos de movimentos e cinética a partir da estruturação que se é proposta.

Quadro 9 - Robôs literatura base para comparação.

Imagem do Robô			
Autores	(Tsai et al., 2007)	(Sobrepera, Lee e Johnson, 2021)	(Mendieta et al., 2021)

Fonte: (Mendieta et al., 2021; Sobrepera, Lee e Johnson, 2021; Tsai et al., 2007)

Levando em consideração o que foi exposto, é possível destacar que os trabalhos escolhidos não possuem uma metodologia de design e desenvolvimento de produto destacada, aprofundando-se mais em aspectos de itens eletrônicos do que nas peças e partes que compõem a estrutura física e mecânica do projeto. Por isso, não se evidenciou menções em DFA, DFMA, dfX, demonstrando que não estavam englobados nos projetos, assim como a aplicação de uma metodologia de desenvolvimento como aqui foi aplicada o DT. Não foi possível também observar a contagem do número de peças a fim de realizar um comparativo geral da eficiência da proposta, porém, os trabalhos agregaram em uma visão do que já é existente de trabalhos no campo estudado e características a serem implementadas para uma maior robustez.

6 CONCLUSÃO

Com base nas análises apresentadas, foi possível evidenciar que o cruzamento da utilização de 3 ferramentas como o *Design Thinking*, DFMA e Manufatura Aditiva gera contribuições significantes para a Gestão da Produção e Operações, no que se diz respeito a ramificação de Engenharia de Produto.

A combinação fez com que o processo de desenvolvimento do projeto fosse mais ágil e adquirisse uma visão objetiva dos requisitos a serem estudados e alinhados para atingir o propósito definido da proposta de robô de telepresença. As fases do DT se combinaram com uma linha de raciocínio propícia para a finalidade do DFMA e o DFMA em si, combinado a modelagem, prototipagem, *design* e *redesign* fez com que fosse criada uma cadeia com metodologias que, com a proposta realizada de produto, é possível enxergar certa complementação entre partes.

A proposta de robô de telepresença foi concebida visando a persona estudada como público-alvo do que se buscava apresentar neste projeto, tal persona só foi possível de ser visualizada seguindo os preceitos e etapas do DT. Com a forma concebida, partiu-se para o DFMA, com a obtenção de duas versões aplicáveis de estrutura/peças/partes do robô de telepresença, demonstrando todas as lacunas e simplificação que o DFMA considera em seu conceito. Utilizando a Manufatura aditiva, obteve-se um protótipo rápido, tal metodologia conduz uma tranquilidade ao se trabalhar pois erros de modelagem, dimensionamento e estrutura podem prontamente serem corrigidos para que se retorne ao direcionamento desejado.

Como forma de demonstrar as diferentes formas de guiar a aplicação das metodologias, a possibilidade de trabalhar com diferentes mecanismos de junção na Manufatura Aditiva elencada foi de encontro com os preceitos de manutenção que o DFMA e DFX trazem em suas concepções.

Tendo em vista todos os postos mencionados no decorrer do trabalho, evidencia-se que a proposta apresenta espaço para aumento da robustez, principalmente em relação ao incorporar os elementos eletrônicos e de tecnologia da informação para testar a estrutura mecânica com seu pleno funcionamento e aplicação no cenário de impulsionar discussões acerca da conectividade na região amazônica.

7 IMPACTOS ACADÊMICOS, ECONÔMICOS E SOCIAIS

7.1 IMPACTOS ACADÊMICOS

A pesquisa apresentada levanta pontos de discussão importantes para a Engenharia de Produção, principalmente no que diz respeito ao campo da Engenharia de Produto, aplicando ferramentas mais inovadoras como o DFMA e o *Design Thinking*.

Como foi mencionado anteriormente, os trabalhos desenvolvidos acerca de desenvolvimento de robôs apresentam um foco nos itens eletrônicos de funcionamento, o presente trabalho se ateu ao número de peças e partes mecânicas para a construção de um robô de telepresença voltado para a área da saúde para a região amazônica, o que trouxe esse aspecto inovador para essa delimitação de temática.

Além disso, as metodologias DT e DFMA aliadas ao processo de prototipagem e ao uso da Manufatura Aditiva, oferecem uma gama de oportunidades para o desenvolvimento e teste de novos materiais que podem ser moldados a depender de sua finalidade e propósito de aplicação. Ao explorar esse campo de estudo, abre-se a possibilidade para desenvolvimento de novos filamentos utilizados na prototipagem de produtos inovadores, um exemplo disso seria a utilização de materiais reciclados, expandindo assim as fronteiras da inovação na indústria. Como impacto na área acadêmica podemos citar também as amplas oportunidades de futuros trabalhos que o projeto pode gerar, incluindo os aspectos de *software* e *hardware*, explorando pontos que ofertam interconectividade, Internet das Coisas, geração de patentes, publicações de artigos, exploração de outros tipos englobados no DFX, todos esses pontos expandem a pesquisa científica e ofertam ao meio acadêmico contribuições substanciais.

Dessa forma, a principal contribuição acadêmica desta pesquisa consiste na oportunidade de viabilizar o desenvolvimento de trabalhos com a aplicação das metodologias DFMA e DT, estreitando sua relação com a Engenharia de Produção que muitas das vezes é centralizada com maior foco na parte industrial, demonstrando, assim, a forte contribuição para a Engenharia de produto.

7.2 IMPACTOS ECONÔMICOS

O estudo buscou propor um robô que pudesse servir de incremento nos atendimentos voltados para a saúde na região amazônica. Os aspectos apresentados demonstram que com a aplicação do DFMA para a redução de peças também é possível se obter uma melhoria de design que reduz a quantidade de material utilizada, reduzindo os custos necessários para a fabricação e replicação do projeto.

Outro ponto importante também para a questão econômica, trata-se da etapa de planejamento e testes para desenvolvimento de novos produtos atrelada à prototipagem com a Manufatura Aditiva. O fato de utilizar-se do artifício de impressão 3D reduz o custo do desenvolvimento de produtos ao facilitar os testes e se antecipar aos erros antes da produção final.

Com isso, destaca-se que a principal contribuição econômica trata justamente dessa proposta que elenca uma melhoria da quantidade de material para trazer uma versão mais econômica de se produzir um robô de telepresença, com uma visão também da utilização de materiais de baixo custo e alta disponibilidade, mais apropriados para sua utilidade dependendo da peça de composição, o que pode impactar também no custo de fabricação e fornecimento. Por outro lado, também é possível ressaltar outros dois pontos de impactos econômicos provenientes do projeto, como a redução de custos por não necessitar de transporte e deslocamentos para atendimento médico e os possíveis ganhos oriundos de propriedade intelectual de patentes da solução proposta e de trabalhos futuros atrelados.

7.3 IMPACTOS SOCIAIS

As contribuições sociais do estudo se concentram na solução que é voltada para a região amazônica, que é uma região que apresenta dificuldades de acesso dependendo dos níveis dos rios para as comunidades mais remotas, outro agravante para a questão é a vazante dos rios na região, que com os impactos ambientais, vem atingindo níveis alarmantes dentro do estado. Esse cenário chega a isolar o acesso às comunidades em período de seca dos rios, agravando o acesso a serviços essenciais.

Devido a esse aspecto, a pesquisa não apenas melhora a eficiência no atendimento na região remota com o propósito do protótipo, mas também reduz o tempo de deslocamento, oferecendo uma solução mais inclusiva que pode ser implementada em áreas de difícil acesso. Esse ponto proporciona novas oportunidades para melhorar a qualidade do acesso a consultas e cuidados de saúde para pessoas que enfrentam desafios geográficos e de transporte.

Dessa forma, a presente proposta demonstra contribuições relevantes ao trabalhar com a temática regional, buscando integrar o acesso à comunicação e atendimento médico de especialidades as quais a comunidade que sofre com a dificuldade de acesso possa usufruir. Destaca-se também a possibilidade de impulsionar o desenvolvimento de mais estudos de Engenharia voltados para apresentar soluções para os problemas de acessibilidade e saúde da região amazônica.

REFERÊNCIAS

- ABURAI, M.; MARKL, E.; STUJA, K. **New concept for design and control of 4 axis robot using the additive manufacturing technology**Procedia Engineering. **Anais...Elsevier Ltd**, 2015
- ADJOUL, O.; BENFRIHA, K.; AOUSSAT, A. Design for maintenance: new algorithmic approach. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 27, n. 1, p. 129–143, 16 fev. 2021.
- AHN, J.-G.; CHEN, I.-R.; YEH, P.-C.; CHANG, J. Design-For-Reliability Flow in 7nm Products with Data Center and Automotive Applications. **IEE**, 2019.
- ALEIXO, N. C. R.; NETO, J. C. A. DA S.; PEREIRA, H. DOS S.; BARBOSA, D. E. S.; LORENZI, B. C. Pelos caminhos das águas: a mobilidade e evolução da COVID-19 no estado do Amazonas. **Confins**, n. 45, 9 maio 2020.
- ALFAIFY, A.; SALEH, M.; ABDULLAH, F. M.; AL-AHMARI, A. M. **Design for additive manufacturing: A systematic reviewSustainability (Switzerland)**MDPI, , 1 out. 2020.
- ALFATTNI, R. Comprehensive Study on Materials used in Different Types of Additive Manufacturing and their Applications. **International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences**, v. 7, n. 1, p. 92–114, 2022.
- ALI, S. M.; CHANG, C. T.; CHANG, J. S. Application of dynamic flexibility index for process design improvement. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 185, p. 368–376, 1 set. 2022.
- ALMEIDA, L.; MENEZES, P.; DIAS, J. Telepresence Social Robotics towards Co-Presence: A Review. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 12, n. 11, 1 jun. 2022.
- ALTALBE, A. A.; KHAN, M. N.; TAHIR, M. Design of a Telepresence Robot to Avoid Obstacles in IoT-Enabled Sustainable Healthcare Systems. **Sustainability (Switzerland)**, v. 15, n. 7, 1 abr. 2023.
- ALTALBE, A.; SHAHZAD, A.; KHAN, M. N. Parameterization and Design of Telepresence Robot to Avoid Obstacles. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 13, n. 4, 1 fev. 2023.
- ALVERSON, D. C.; KRUPINSKI, E. A.; ERPS, K. A.; ROWE, N. S.; WEINSTEIN, R. S. The Third National Telemedicine & Telehealth Service Provider Showcase Conference: Advancing Telehealth Partnerships. **Telemedicine and e-Health**, v. 25, n. 4, p. 332–340, 1 abr. 2019.

- AMJAD, A.; KORDEL, P.; FERNANDES, G. **A Review on Innovation in Healthcare Sector (Telehealth) through Artificial Intelligence Sustainability (Switzerland)** MDPI, , 1 abr. 2023.
- ARORA, A.; PATHAK, A.; JUNEJA, A.; SHAKKARWAL, P.; KUMAR, R. **Design & analysis of progressive die using SOLIDWORKS** Materials Today: Proceedings. **Anais...**Elsevier Ltd, 2021
- ASYRAF, M. R. M. *et al.* **Product Development of Natural Fibre-Composites for Various Applications: Design for Sustainability** Polymers MDPI, , 1 mar. 2022.
- ATILANO, L.; MARTINHO, A.; SILVA, M. A.; BAPTISTA, A. J. **Lean Design-for-X: Case study of a new design framework applied to an adaptive robot gripper development process** Procedia CIRP. **Anais...**Elsevier B.V., 2019
- AZETA, J.; BOLU, C. A.; OYAWALE, F. A. DESIGN AND SIMULATION OF A MOBILE ROBOT PLATFORM FOR NAVIGATION AND OBSTACLE DETECTION. **Engineering Review**, v. 42, n. 1, 2021.
- BALDOZ, M. A. M.; JABILLES, E. M. Y.; SEVA, R. R. **TIKETAP: Designing a Smartphone App for Traffic Violation Tickets Through Design Thinking Process** 2021 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, IEEM 2021. **Anais...**Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021
- BARBOSA, K.; BOYER, P. C. Discrimination in Dynamic Procurement Design with Learning-by-doing. **International Journal of Industrial Organization**, v. 77, 1 jun. 2021.
- BATALHA, G. F. **Design for X-design for excellence**. Gliwice: Open Access Library, 2012. v. 6
- BATMAZ, A. U.; MAIERO, J.; KRUIJFF, E.; RIECKE, B. E.; NEUSTAEDTER, C.; STUERZLINGER, W. How automatic speed control based on distance affects user behaviours in telepresence robot navigation within dense conference-like environments. **PLoS ONE**, v. 15, n. 11 November, 1 nov. 2020.
- BENABDELLAH, A. C.; BENGHABRIT, A.; BOUHADDOU, I.; BENGHABRIT, O. Design for relevance concurrent engineering approach: integration of IATF 16949 requirements and design for X techniques. **Research in Engineering Design**, v. 31, n. 3, p. 323–351, 1 jul. 2020.
- BENABDELLAH, A. C.; ZEKHNINI, K.; CHERRAFI, A.; GARZA-REYES, J. A.; KUMAR, A. Design for the environment: An ontology-based knowledge management model for green product development. **Business Strategy and the Environment**, v. 30, n. 8, p. 4037–4053, 1 dez. 2021.

- BOER, HENRIKE; BOER, HARRY. Design-for-variety and operational performance: The mediating role of internal, supplier and customer integration. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 30, n. 2, p. 438–461, 22 fev. 2019.
- BOOTHROYD, G. **Assembly Automation and Product Design**. 2. ed. [s.l.] CRC Press, 2005.
- BOOTHROYD, G.; KNIGHT, W. A.; DEWHURST, P. **Product design for manufacture and assembly**. 2. ed. [s.l.: s.n.].
- BRADWELL, H. L.; AGUIAR NOURY, G. E.; EDWARDS, K. J.; WINNINGTON, R.; THILL, S.; JONES, R. B. Design recommendations for socially assistive robots for health and social care based on a large scale analysis of stakeholder positions: Social robot design recommendations. **Health Policy and Technology**, v. 10, n. 3, 1 set. 2021.
- BROWN, A. H.; GREEN, T. D. Beyond teaching instructional design models: exploring the design process to advance professional development and expertise. **Journal of Computing in Higher Education**, v. 30, n. 1, p. 176–186, 1 abr. 2018.
- BROWN, T. **Design Thinking**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <www.hbr.org>.
- CAIRNS, P.; PINKER, I.; WARD, A.; WATSON, E.; LAIDLAW, A. Empathy maps in communication skills training. **Clinical Teacher**, v. 18, n. 2, p. 142–146, 1 abr. 2021.
- CARREIRA, M. F.; ANTONELLI, G. C.; DIANIN, A. H.; CULCHESK, A. S.; GERÔNIMO, B. M. Proposta de coleta dados utilizando robô de telepresença em sistema HealtCare do Hospital Universitário de Maringá. **Simpósio de Engenharia de Produção de Maringá/PR**, v. 1, 2018.
- CATAPAN, S. DE C.; CALVO, M. C. M. Teleconsulta: Uma Revisão Integrativa Da Interação Médico-Paciente Mediada Pela Tecnologia. **Revista Brasileira de Educação Médica**, v. 44, n. 1, p. 1–13, 2020.
- CHATPUN, S.; LIAWRUNGRUEANG, W.; PRUKPATTRANON, P.; WONGSIRI, S. **Innovative solution with applying design thinking process: A case study of wireless endoscope for carpal tunnel release**BMEiCON 2022 - 14th Biomedical Engineering International Conference. **Anais...Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.**, 2022
- CHE IBRAHIM, C. K. I.; MANU, P.; BELAYUTHAM, S.; MAHAMADU, A. M.; ANTWI-AFARI, M. F. **Design for safety (DfS) practice in construction engineering and management research: A review of current trends and future directions****Journal of Building Engineering**Elsevier Ltd, , 15 jul. 2022.

- CROOKS, K. A. **Reliability: Enablers for Sustainment through Supportability Focused Design Influence** 2020 Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS). [s.l.: s.n.].
- DAMASCENO, R. F.; CALDEIRA, A. P. Factors associated with the non-use of telehealth consultancy by physicians of the family health strategy. **Ciencia e Saude Coletiva**, v. 24, n. 8, p. 3089–3098, 2019.
- DEKA, A.; BEHDAD, S. **Part separation technique for assembly-based design in additive manufacturing using genetic algorithm** Elsevier B.V., 2019
- DELGADO, R.; YOU, B. J.; HAN, M.; CHOI, B. W. Integration of ROS and RT tasks using message pipe mechanism on Xenomai for telepresence robot. **Electronics Letters**, v. 55, n. 3, p. 127–128, 7 fev. 2019.
- DIAKUN, J.; DOSTATNI, E. End-of-life design aid in PLM environment using agent technology. **Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences**, v. 68, n. 2, p. 207–214, 2020.
- DUCA, R.; GHIDONI, M. O. Design for Package Miniaturization for a MEMS Pressure Sensor. **International Conference on Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems**, v. 20, 2019.
- EISENBART, B.; BOUWMAN, S.; VOORENDT, J.; MCKILLAGAN, S.; KUYS, B.; RANSCOMBE, C. Implementing design thinking to drive innovation in technical design. **International Journal of Design Creativity and Innovation**, v. 10, n. 3, p. 141–160, 2022.
- ESCOTO, P. A. O.; MUÑOZ, M. Á. Z. **DESIGN FOR DISASSEMBLY (DFD) AS STRATEGY FOR REDESIGN AND OPTIMIZATION OF PRODUCTS** IRF2020: 7th International Conference Integrity-Reliability-Failure. **Anais...2020** Disponível em: <https://paginas.fe.up.pt/~irf/Proceedings_IRF2020/-445->
- FEGERT, J. M.; VITIELLO, B.; PLENER, P. L.; CLEMENS, V. **Challenges and burden of the Coronavirus 2019 (COVID-19) pandemic for child and adolescent mental health: A narrative review to highlight clinical and research needs in the acute phase and the long return to normality** *Child and Adolescent Psychiatry and Mental Health* BioMed Central, , 12 maio 2020.
- FERREIRA, B.; CONTE, T.; BARBOSA, S. D. J. **Eliciting Requirements Using Personas and Empathy Map to Enhance the User Experience** Proceedings - 29th Brazilian Symposium on Software Engineering, SBES 2015. **Anais...Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.**, 11 nov. 2015

- FRIZZIERO, L.; LIVERANI, A.; NANNINI, L. Design for six sigma (DFSS) applied to a new eco-motorbike. **Machines**, v. 7, n. 3, 2019.
- GAJARAWALA, S. N.; PELKOWSKI, J. N. Telehealth Benefits and Barriers. **Journal for Nurse Practitioners**, v. 17, n. 2, p. 218–221, 1 fev. 2021.
- GAMA, A. S. M.; FERNANDES, T. G.; PARENTE, R. C. P.; SECOLI, S. R. Inquérito de saúde em comunidades ribeirinhas do Amazonas, Brasil. **Cadernos de Saude Publica**, v. 34, n. 2, 2018.
- GAO, C.; LIN, K. C.; WU, Z. Y. The strategy of universal-design thinking in architecturally innovative product development. **Processes**, v. 9, n. 12, 1 dez. 2021.
- GAO, S.; JIN, R.; LU, W. Design for manufacture and assembly in construction: a review. **Building Research and Information**, v. 48, n. 5, p. 538–550, 3 jul. 2020.
- GOBBO JUNIOR, O.; BORSATO, M. A Method to Support Design for Serviceability in the Early Stages of New Product Development. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 34, n. 1, p. 41–56, 2021.
- GONÇALVES, R. M.; DOMINGOS, I. M. Riverside population in Amazonas and inequality in access to health. **Revista de Estudos Constitucionais, Hermeneutica e Teoria do Direito**, v. 11, n. 1, p. 99–108, 2019.
- GONG, X.; GUO, Z.; XIE, Z. Using Kansei Engineering for the Design Thinking Framework: Bamboo Pen Holder Product Design. **Sustainability (Switzerland)**, v. 14, n. 17, 1 set. 2022.
- GRAVINA DA ROCHA, C.; GHOZ, H. B. C. EL; GUADANHIM, S. A model for implementing product modularity in buildings design. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 27, n. 3, p. 680–699, 25 mar. 2020.
- GRIVET-BRANCOT, A.; BOFFITO, M.; CIARDELLI, G. **Use of Polyesters in Fused Deposition Modeling for Biomedical Applications** Macromolecular Bioscience John Wiley and Sons Inc, , 1 out. 2022.
- GUELTON, B. “Mental maps”: Between memorial transcription and symbolic projection. **Frontiers in Psychology**, v. 14, 2023.
- HARKEY, L. C.; JUNG, S. M.; NEWTON, E. R.; PATTERSON, A. **Patient satisfaction with telehealth in rural settings: A systematic review** International Journal of Telerehabilitation University Library System, University of Pittsburgh, , 2020.
- HARUNA, A.; JIANG, P. **A Design for Additive Manufacturing Framework: Product Function Integration and Structure Simplification** IFAC-PapersOnLine. Anais...Elsevier B.V., 2020

IBGE. **Amazonas | Panorama.**

JOUSTRA, J.; FLIPSEN, B.; BALKENENDE, R. Structural reuse of high end composite products: A design case study on wind turbine blades. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 167, 1 abr. 2021.

KANTAROS, A.; SOULIS, E.; PETRESCU, F. I. T.; GANETSOS, T. Advanced Composite Materials Utilized in FDM/FFF 3D Printing Manufacturing Processes: The Case of Filled Filaments. **Materials**, v. 16, n. 18, 1 set. 2023.

KHOR, K.-S.; RAMAYAH, T.; REZA PANJEH FOULADGARAN, H. Managing eco-design for reverse logistics. **International Journal of Services and Operations Management, and International Journal of Productivity and Quality Management**, v. 26, n. 2, p. 125–146, 2020.

KIAKOJOURI, F.; BIAGI, V. DE; ABBRACCIARENTO, L. Design for Robustness: Bio-Inspired Perspectives in Structural Engineering. **Biomimetics**, v. 8, n. 1, 1 mar. 2023.

KLADOVASILAKIS, N.; SIDERIDIS, P.; TZETZIS, D.; PILIOUNIS, K.; KOSTAVELIS, I.; TZOVARAS, D. Design and Development of a Multi-Functional Bioinspired Soft Robotic Actuator via Additive Manufacturing. **Biomimetics**, v. 7, n. 3, 1 set. 2022.

KOCESKA, N.; KOCESKI, S.; ZOBEL, P. B.; TRAJKOVIK, V.; GARCIA, N. A telemedicine robot system for assisted and independent living. **Sensors (Switzerland)**, v. 19, n. 4, 2 fev. 2019.

KOLLING, C.; RIBEIRO, J. L. D.; MEDEIROS, J. F. DE. Performance of the cosmetics industry from the perspective of Corporate Social Responsibility and Design for Sustainability. **Sustainable Production and Consumption**, v. 30, p. 171–185, 1 mar. 2022.

LEAL, J. M.; POMPIDOU, S.; CHARBUILLET, C.; PERRY, N. Design for and from recycling: A circular ecodesign approach to improve the circular economy. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 23, p. 1–30, 1 dez. 2020.

LEE, M.; KULVATUNYOU, B. Design-for-Cost – An Approach for Distributed Manufacturing Cost Estimation. *Em*: AMERI, F.; STECKE, K. E.; CIEMINSKI, G. VON; KIRITSIS, D. (Eds.). . **Advances in Production Management Systems**. IFIP Advances in Information and Communication Technology. Cham: Springer International Publishing, 2019. v. 567p. 457–465.

LEOSTE, J.; HEIDMETS, M.; VIRKUS, S.; TALISAINEN, A.; REBANE, M.; KASUK, T.; TAMMEMÄE, K.; KANGUR, K.; KIKKAS, K.; MARMOR, K. Keeping distance with a telepresence robot: A pilot study. **Frontiers in Education**, v. 7, 13 jan. 2023.

- LERMEN, F. H.; MOURA, P. K. DE; BERTONI, V. B.; GRACIANO, P.; TORTORELLA, G. L. Does maturity level influence the use of Agile UX methods by digital startups? Evaluating design thinking, lean startup, and lean user experience. **Information and Software Technology**, v. 154, 1 fev. 2023.
- LIPPI, G.; HENRY, B. M.; BOVO, C.; SANCHIS-GOMAR, F. Health risks and potential remedies during prolonged lockdowns for coronavirus disease 2019 (COVID-19). **Diagnosis (Berlin, Germany)**, v. 7, n. 2, p. 85–90, 2020.
- LIU, C.; QIU, S.; ZHANG, X.; CHEN, Z. Research on Interdisciplinary Design Thinking and Methods Based on Programmable Mechanical Metamaterials. **Buildings**, v. 13, n. 4, 1 abr. 2023.
- LU, W.; TAN, T.; XU, J.; WANG, J.; CHEN, K.; GAO, S.; XUE, F. Design for manufacture and assembly (DfMA) in construction: the old and the new. **Architectural Engineering and Design Management**, v. 17, n. 1–2, p. 77–91, 2021.
- LYLINA, N.; WANG, C. H.; WUNDERLICH, H. J. A Complete Design-for-Test Scheme for Reconfigurable Scan Networks. **Journal of Electronic Testing: Theory and Applications (JETTA)**, v. 38, n. 6, p. 603–621, 1 dez. 2022.
- MAHTTA, D.; DAHER, M.; LEE, M. T.; SAYANI, S.; SHISHEHBOR, M.; VIRANI, S. S. PUBLIC HEALTH POLICY (SS VIRANI AND D MAHTTA, SECTION EDITORS) Promise and Perils of Telehealth in the Current Era. 2021.
- MAIDIN, N. A. *et al.* Reducing Product Cost by Implementing DFMA Methodology-Lucas Hull: A Case Study Reducing Product Cost by Implementing DFMA Methodology-Lucas Hull: A Case Study ARTICLE HISTORY ABSTRACT. **ESTEEM Academic Journal**, v. 14, p. 12–23, 2018.
- MALDONADO, J. M. S. DE V.; MARQUES, A. B.; CRUZ, A. Telemedicina: Desafios à sua difusão no Brasil. **Cadernos de Saude Publica**, v. 32, p. 1–12, 2016.
- MARTINEZ-HERNANDEZ, U.; SZOLLOSY, M.; BOORMAN, L. W.; KERDEGARI, H.; PRESCOTT, T. J. Towards a wearable interface for immersive telepresence in robotics. **Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering, LNICST**, v. 196, p. 65–73, 2017.
- MARTINI, M.; SCACCIA, M.; MARCHELLO, G.; ABIDI, H.; D'IMPERIO, M.; CANNELLA, F. **An Outline of Fused Deposition Modeling: System Models and Control Strategies** **Applied Sciences (Switzerland)** MDPI, , 1 jun. 2022.
- MELO, A. H. D. S.; RIVERO, L.; SANTOS, J. S. DOS; BARRETO, R. D. S. **EmpathyAut: An empathy map for people with autism** IHC 2020 - Proceedings of the 19th Brazilian

- Symposium on Human Factors in Computing Systems. **Anais...**Association for Computing Machinery, Inc, 26 out. 2020
- MENDIETA, M.; QUICHIMBO, P.; RIVERA, F.; TOIBERO, J. M.; MONTESDEOCA, J. **Mobile Robot for Telepresence Applications: Design, Construction, and Programming**2021 19th Workshop on Information Processing and Control, RPIC 2021. **Anais...**Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021
- MYODO, E.; XU, J.; TASAKA, K.; YANAGIHARA, H.; SAKAZAWA, S. Issues and solutions to informal communication in working from home using a telepresence robot. **ITE Transactions on Media Technology and Applications**, v. 6, n. 1, p. 30–45, 2018.
- NICOLANTONIO, M. DI; ROSSI, E.; STELLA, P. **Generative design for printable mass customization jewelry products**Advances in Intelligent Systems and Computing. **Anais...**Springer Verlag, 2020
- NICOLAU, A.; POP, M. A.; GEORGESCU, S. V.; COȘEREANU, C. Application of Additive Manufacturing Technology for Chair Parts Connections. **Applied Sciences**, v. 13, n. 21, p. 12044, 4 nov. 2023.
- NILSON, M. **Process-driven versus model-based reliability**Proceedings - Annual Reliability and Maintainability Symposium. **Anais...**Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2023
- OLIVEIRA, A. C. DE; LUCAS, T. C.; IQUIAPAZA, R. A. What Has the Covid-19 Pandemic Taught Us About Adopting Preventive Measures? **Texto & Contexto - Enfermagem**, v. 29, p. 1–15, 2020.
- ORLANDO, J. F.; BEARD, M.; KUMAR, S. Systematic review of patient and caregivers' satisfaction with telehealth videoconferencing as a mode of service delivery in managing patients' health. **PLoS ONE**, v. 14, n. 8, 1 ago. 2019.
- PAUDYAL, K.; MACKENZIE, C. **Incorporating Supply Chain Design into the Engineering Product Design Phase**2021 IEEE Systems and Information Engineering Design Symposium, SIEDS 2021. **Anais...**Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 30 abr. 2021
- PAULA, D. DE; CORMICAN, K.; DOBRIGKEIT, F. From Acquaintances to Partners in Innovation: An Analysis of 20 Years of Design Thinking's Contribution to New Product Development. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 69, n. 4, p. 1664–1677, 1 ago. 2022.
- PAULINO CAMPOS, M. C.; VENZEL, R.; PESSOA DE OLIVEIRA, L.; REIS, F.; OLIVEIRA DE AMORIM, R. L. Management of Traumatic Brain Injury at a Medium

- Complexity Hospital in a Remote Area of Amazonas, 2017–2019. **World Neurosurgery**, v. 148, p. e151–e154, 1 abr. 2021.
- PITA, I. M.; NAGÎ, G.; MERTICARU, V.; RÎPANU, M. I.; CUCO, M. **Analyses and redesign of a technological device for automated assembly, using Design for Manufacturing and Assembly approach**IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. **Anais...**Institute of Physics Publishing, 30 out. 2019
- PRABHURAM, K.; SUBRAMMANIYAN, V.; THENARASU, M. Design and Implementation of Product Embodied Riser for Energy Conservation in an Aluminum Casting Process. *Em: Advances in Materials and Manufacturing Engineering*. [s.l: s.n.]. p. 449–456.
- QUISPE-JULI, C.; VELA-ANTON, P.; MEZA-RORIGUES, M.; MOQUILLAZA-ALCÁNTARA, V. Covid-19: Uma Pandêmica Na Era Da Saúde Digital. **Health Sciences**, 2020.
- RANDALL, M. H.; WINCHESTER, D. E. **The New Role of Telehealth in Contemporary Medicine***Current Cardiology Reports*Springer, , 1 mar. 2022.
- RAÑÓ, A. C.; MOLDES, M. M.; SANCHO, B. B. Telemedicina: una nueva herramienta para la gestión del dolor. Resultados de su implementación en una estructura organizativa de gestión integral (EOXI). **Revista de la Sociedad Española del Dolor**, v. 27, n. 2, p. 97–103, 2020.
- REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL UFSC. **Peteca Indígena**.
- RIBEIRO, F. L. **Telepresença - Robô Vigilante**. [s.l: s.n.].
- RÖSCH, N.; TIBERIUS, V.; KRAUS, S. Design thinking for innovation: context factors, process, and outcomes. **European Journal of Innovation Management**, v. 26, n. 7, p. 160–176, 2023.
- ROXAS, C. L. C.; BAUTISTA, C. R.; CRUZ, O. G. DELA; CRUZ, R. L. C. DELA; PEDRO, J. P. Q. DE; DUNGCA, J. R.; LEJANO, B. A.; ONGPENG, J. M. C. **Design for Manufacturing and Assembly (DfMA) and Design for Deconstruction (DfD) in the Construction Industry: Challenges, Trends and Developments***Buildings*MDPI, , 1 maio 2023.
- SADEROVÁ, J. **Design of a Storage System for a part of the distribution warehouse by applying the logistics principles**CLC. **Anais...**2018
- SALEH, B.; RASUL, M. S.; AFANDI, H. M. A content analysis of quality product design based on CAD: Conceptual framework for Malaysian technical teacher training institutions. **Journal of Technical Education and Training**, v. 11, n. 2, p. 1–14, 2019.

- SAMAD, M. F. A.; YUSUF, K. **Application of design for manufacture and assembly (DFMA) method to passenger car door design** Proceedings of Innovative Research and Industrial Dialogue. **Anais...** Taylor and Francis Ltd., 3 mar. 2018
- SANTOS, R. M. DOS. **HISTÓRIA DA PETECA - CBP.**
- SCHLEMMER, A.; SILVEIRA, D. L. DA. REDESIGN DE EMBALAGEM: UM ESTUDO SOBRE PRODUTOS IMPRESSOS NAS CAIXAS DE PAPELÃO. **DAPesquisa**, v. 11, n. 15, p. 233–254, 3 maio 2016.
- SCHWARZ, M.; LENZ, C.; ROCHOW, A.; SCHREIBER, M.; BEHNKE, S. **NimbRo Avatar: Interactive Immersive Telepresence with Force-Feedback Telemanipulation** IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems. **Anais...** Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021
- SHAHBAZI, S.; JOHANSEN, K.; SUNDIN, E. Product design for automated remanufacturing—a case study of electric and electronic equipment in sweden. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 16, 2 ago. 2021.
- SHEN, Y.; GUO, D.; LONG, F.; MATEOS, L. A.; DING, H.; XIU, Z.; HELLMAN, R. B.; KING, A.; CHEN, S.; ZHANG, C.; TAN, H. Robots under COVID-19 Pandemic: A Comprehensive Survey. **IEEE Access**, v. 9, p. 1590–1615, 2021.
- SILVA, A. M. DA; FAUSTO, M. C. R.; GONÇALVES, M. J. F. Acessibilidade e disponibilidade de oferta para o cuidado ao hipertenso na atenção primária à saúde em município rural remoto, Amazonas, Brasil, 2019. **Cadernos de saude publica**, v. 39, n. 1, p. e00163722, 2023.
- SNOSWELL, C. L.; SMITH, A. C.; PAGE, M.; SCUFFHAM, P.; CAFFERY, L. J. Quantifying the Societal Benefits From Telehealth: Productivity and Reduced Travel. **Value in Health Regional Issues**, v. 28, p. 61–66, 1 mar. 2022.
- SOBREPERA, M. J.; LEE, V. G.; JOHNSON, M. J. The design of Lil’Flo, a socially assistive robot for upper extremity motor assessment and rehabilitation in the community via telepresence. **Journal of Rehabilitation and Assistive Technologies Engineering**, v. 8, p. 205566832110018, jan. 2021.
- STANO, G.; OVY, S. M. A. I.; EDWARDS, J. R.; CIANCHETTI, M.; PERCOCO, G.; TADESSE, Y. One-shot additive manufacturing of robotic finger with embedded sensing and actuation. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 124, n. 1–2, p. 467–485, 1 jan. 2023.
- TAN, T.; LU, W.; TAN, ; ; GANGYI; XUE, F.; CHEN, ; ; KE; XU, J.; WANG, J.; GAO, S. Construction-Oriented Design for Manufacture and Assembly Guidelines. 2020.

- TARTANIAN, A. **Toy Car with turning wheels**. Disponível em: <<https://www.thingiverse.com/thing:21214>>. Acesso em: 25 maio. 2024.
- THOMAS, H. **PLA Cube Gears for Replicator 2**. Disponível em: <<https://www.thingiverse.com/thing:38712/files>>. Acesso em: 25 maio. 2024.
- THOMAS, L. T.; LEE, C. M. Y.; MCCLELLAND, K.; NUNIS, G.; ROBINSON, S.; NORMAN, R. Health workforce perceptions on telehealth augmentation opportunities. **BMC Health Services Research**, v. 23, n. 1, 1 dez. 2023.
- TSAI, T. C.; HSU, Y. L.; MA, A. I.; KING, T.; WU, C. H. Developing a telepresence robot for interpersonal communication with the elderly in a home environment. **Telemedicine and e-Health**, v. 13, n. 4, p. 407–424, 1 ago. 2007.
- TULI, T. B.; TEREFE, T. O.; RASHID, M. M. U. Telepresence Mobile Robots Design and Control for Social Interaction. **International Journal of Social Robotics**, v. 13, n. 5, p. 877–886, 1 ago. 2021.
- TURA, A. D.; LEMU, H. G.; MAMO, H. B. Experimental Investigation and Prediction of Mechanical Properties in a Fused Deposition Modeling Process. **Crystals**, v. 12, n. 6, 1 jun. 2022.
- ULKIR, O. Energy-Consumption-Based Life Cycle Assessment of Additive-Manufactured Product with Different Types of Materials. **Polymers**, v. 15, n. 6, 1 mar. 2023.
- VALENTA, S.; HARVEY, J.; SEDERSTROM, E.; GLANVILLE, M.; WALSH, T.; FORD, D. Enterprise Adoption of Telehealth: An Academic Medical Center’s Experience Utilizing the Telehealth Service Implementation Model. **Telemedicine Reports**, v. 2, n. 1, p. 163–170, 1 jun. 2021.
- VALSORIMKUBIN. **Ardiuno robot tank by Valsorimkubin - Thingiverse**. Disponível em: <<https://www.thingiverse.com/thing:2597276/files>>. Acesso em: 1 abr. 2024.
- WALHEIM, S. **Logitech Driving Force GT replacement clamping piece**. Disponível em: <<https://www.thingiverse.com/thing:2332911>>. Acesso em: 25 maio. 2024.
- WANG, K. J.; CHEN, Y. H.; LEE, Y. C.; LIN, Z. Y. How is innovation empowered by design thinking for new product development? a case study in Taiwan. **Asian Journal of Technology Innovation**, 2023.
- WIJESOORIYA, N. R.; MISHRA, V.; BRAND, P. L. P.; RUBIN, B. K. **COVID-19 and telehealth, education, and research adaptations** *Paediatric Respiratory Reviews* W.B. Saunders Ltd, , 1 set. 2020.

WOSIK, J. *et al.* **Telehealth transformation: COVID-19 and the rise of virtual care***Journal of the American Medical Informatics Association* Oxford University Press, , 1 jun. 2020.

YOO, J. W.; PARK, J. S.; PARK, H. J. Understanding VR-Based Construction Safety Training Effectiveness: The Role of Telepresence, Risk Perception, and Training Satisfaction. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 13, n. 2, 1 jan. 2023.

YOUBI EL IDRISSE, M. A. EL; LAAOUINA, L.; JEGHAL, A.; TAIRI, H.; ZAKI, M. Modeling of Energy Consumption and Print Time for FDM 3D Printing Using Multilayer Perceptron Network. **Journal of Manufacturing and Materials Processing**, v. 7, n. 4, 1 ago. 2023.

ZANOTTO, B. S.; ETGES, A. P. B. DA S.; SIQUEIRA, A. C.; SILVA, R. S. DA; BASTOS, C.; ARAUJO, A. L. DE; MOREIRA, T. DE C.; MATTURRO, L.; POLANCZYK, C. A.; GONÇALVES, M. Economic evaluation of a telemedicine service to expand primary health care in Rio Grande do Sul: Teleoftalmo's microcosting analysis. **Ciencia e Saude Coletiva**, v. 25, n. 4, p. 1349–1360, 2020.

ZODER-MARTELL, K. A.; MARKELZ, A. M.; FLORESS, M. T.; SKRIBA, H. A.; SAYYAH, L. E. N. Technology to Facilitate Telehealth in Applied Behavior Analysis. **Behavior Analysis in Practice**, v. 13, n. 3, p. 596–603, set. 2020.